

# DISEÑO MECATRÓNICO DE UN PURIFICADOR DE AIRE

MELISSA CALLE MUÑOZ  
JOSÉ MIGUEL LÓPEZ BERMÚDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PEREIRA  
2015

# DISEÑO MECATRÓNICO DE UN PURIFICADOR DE AIRE

MELISSA CALLE MUÑOZ  
JÓSE MIGUEL LÓPEZ BERMÚDEZ

Trabajo de grado para optar a título de tecnólogo en Mecatrónica

Director

M.Sc HERNÁN QUINTERO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PEREIRA  
2015

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

En el proceso de la realización del proyecto contamos con la ayuda y colaboración de varias personas directa o indirectamente, a todas aquellas infinitos agradecimientos por brindarnos sus conocimientos y sabiduría en el transcurso de este proceso. A nuestros docentes y en especial a nuestro director, quienes fueron guía para el desarrollo personal y formación académica adquirida a lo largo de la carrera. A nuestros compañeros por acompañarnos en el proceso. A nuestras familias, por enseñarnos la importancia de la perseverancia para lograr alcanzar nuestros sueños para un futuro mejor.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>9</b>
<b>RESÚMEN</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>2 Información recolectada, Análisis de los sistemas de ventilación</b>	<b>13</b>
2.1. Antecedentes	13
2.2. Salas de Urgencias	14
2.2.1 <i>Virus</i>	15
2.2.2 <i>Bacterias</i>	15
2.2.3 <i>Hongos</i>	16
2.3. Factores principales para la proliferación de infecciones y enfermedades	16
2.4. Control de infecciones	17
2.5. Técnicas de control aerobiológico	18
2.5.1 <i>Ventilación</i>	18
2.5.2 <i>Filtrado de aire</i>	21
2.6. Filtros HEPA	24
2.6.1 <i>Características de los Filtros HEPA</i>	29
2.7. Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI)	31
2.7.1 <i>Comportamiento de los microorganismos frente a la UVGI</i>	33
2.7.2 <i>UVGI por irradiación del ducto de ventilación</i>	34
2.7.3 <i>Parámetros de diseño de los sistemas UVGI</i>	35
2.7.4 <i>Consideraciones acerca de las lámparas UV</i>	36
2.8. Control diferencial de presión	37
2.9. Carbón Activado	39
2.9.1 <i>Aplicación del carbón Activado</i>	40
2.9.1.1 <i>Condiciones operativas</i>	41
2.9.1.2 <i>Parámetros de operación</i>	41
<b>3. Descripción del funcionamiento del modelo propuesto</b>	<b>42</b>
3.1. Filtro de Aire	43
3.1.1 <i>Contaminantes Aplicables</i>	43
3.2 Purificador de aire	43
3.3 Selección de filtros	44
3.3.1 Filtro HEPA	44
3.3.2 Capacidad de flujo de Aire	45

3.3.3	Temperatura	45
3.3.4	Esterilización UV	46
3.3.5	Carbón Activado	47
3.4	Estado del arte filtros purificadores de aire en Hospitales	47
3.4.1	¿Cómo trabajan cada uno de los filtros?	47
<b>4</b>	<b><i>Diseño físico, etapas de filtrado</i></b>	<b>53</b>
4.1	Carcaza	53
4.2	Ventilador y Motor	53
4.3	Filtros	54
4.3.1	<i>Filtro de Carbono Activado</i>	54
4.3.2	<i>Filtros HEPA</i>	55
4.3.3	<i>Filtro Luz UV</i>	56
4.4	Bloque de Purificación	57
<b>5</b>	<b><i>Diseño Mecatrónico</i></b>	<b>59</b>
5.1	<i>Sistema de Control</i>	59
5.2	Diseño etapa de Control	59
5.2.1	Variables	60
5.2.2	Modelamiento del sistema	61
5.3	Circuito de potencia para el motor	64
<b>6</b>	<b><i>Ensamblaje del Diseño</i></b>	<b>67</b>
6.1	Filtros y su posición	67
6.1.1	Primer Filtro HEPA	67
6.1.2	Segundo filtro Carbón Activado	68
6.1.3	Tercer Filtro UV	68
6.1.4	Cuarto Filtro HEPA	68
<b>7</b>	<b><i>Análisis de costos y desarrollo del proyecto</i></b>	<b>69</b>
7.1	Presupuesto del proyecto	70
7.1.1	Costo total del sistema de gestión y supervisión del laboratorio de automatización (todos los valores en COP)	70
7.1.2	Costo de implementación y construcción aproximado	71
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>73</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1</b> Características de los Ventiladores Centrífugos	20
<b>Cuadro 2</b> Comparación de los tipos de Ventiladores centrífugo	21
<b>Cuadro 3</b> Clasificación AMCA	21
<b>Cuadro 4</b> Análisis comparativo entre filtros	24
<b>Cuadro 5</b> Costos software y propuesta de diseño	70

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Eficiencias de los filtros para ambientes hospitalarios	22
<b>Tabla 2</b> Características del Opto-acoplador	65



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Ventilador Centrífugo	19
<b>Figura 2</b> Tipos de Ventiladores Centrífugos	20
<b>Figura 3</b> Composición interna de un filtro HEPA	25
<b>Figura 4</b> Movimiento líneas de flujo	25
<b>Figura 5</b> Movimiento Browniano	26
<b>Figura 6</b> Diseño interno de un filtro HEPA	27
<b>Figura 7</b> Modulo filtrado HEPA	28
<b>Figura 8</b> Ilustración del proceso de eliminación de contaminantes	29
<b>Figura 9</b> Diámetro de Partículas ( $\mu\text{m}$ )	30
<b>Figura 10</b> Espectro de la radiación UV	31
<b>Figura 11</b> Arreglo de lámparas UV montado en un ducto	35
<b>Figura 12</b> Ilustración del proceso de eliminación de hongos, virus, bacterias	35
<b>Figura 13</b> Ilustración de la efectividad y filtración del Filtro con Luz Ultravioleta	36
<b>Figura 14</b> Flujo de aire en cascada	38
<b>Figura 15</b> Ilustración de eliminación de químicos, gases, olores	40
<b>Figura 16</b> Purificadores de aire móviles para hospitales	48
<b>Figura 17</b> Etapas del filtrado del aire	48
<b>Figura 18</b> Clasificación de riesgo por exposición a contaminantes atmosféricos según índice de calidad del aire y recomendaciones en salud	51
<b>Figura 19</b> Carcaza del diseño	53

<b>Figura 20</b>	Ventilador y Motor	54
<b>Figura 21</b>	Ensamble diseño filtro de Carbón Activado	55
<b>Figura 22</b>	Diseño filtro HEPA	56
<b>Figura 23</b>	Diseño filtro con Luz UV	57
<b>Figura 24</b>	Diseño Bloque contenedor filtros	58
<b>Figura 25</b>	Ensamble total	58
<b>Figura 26</b>	Esquema en proteus	59
<b>Figura 27</b>	Circuito LM2907	60
<b>Figura 28</b>	Programa en MATLAB para caracterización de la planta	61
<b>Figura 29</b>	Función de transferencia análoga de la planta	62
<b>Figura 30</b>	Función de transferencia discretizada	62
<b>Figura 31</b>	Función de transferencia discretizada en lazo abierto y con retroalimentación 1	63
<b>Figura 32</b>	Respuesta del sistema a un impulso	63
<b>Figura 33</b>	Respuesta del sistema a un step	64
<b>Figura 34</b>	Diagrama electrónico del circuito de potencia	66

## RESÚMEN

En Hospitales o clínicas cuyo entorno está primordialmente lleno de pacientes con enfermedades hay una alta incidencia en virus y bacterias en su atmosfera, por lo cual la calidad de aire en estas instituciones debe ser controlada y sus sistemas de ventilación estar en perfectas condiciones, evitando así una propagación de bacterias y virus en las personas que se encuentren dentro de este entorno compartiendo el aire que respiran.

En primer lugar se hablará de todo lo relacionado con los sistemas de ventilación, regulación y filtración de aire, los debidos principios de funcionamiento, la eliminación o destrucción de partículas grandes, virus, hongos, microorganismos y bacterias que comúnmente se encuentran presentes en el aire de una institución que presta servicios de salud.

.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, la raza humana ha sido portadora de huéspedes que han cambiado el curso de la historia al ser los causantes de grandes epidemias y enfermedades que han diezclado la población mundial.

La salud pública y el bienestar de los ciudadanos siempre ha sido una de las prioridades de los gobiernos en todas partes del mundo, pero muchas veces estas iniciativas solo se quedan en papel, por el alto costo que supone utilizar sistemas que reduzcan la proliferación de enfermedades y pandemias.

La mayoría de virus y bacterias, causantes de la gran mayoría de enfermedades comunes, se transmiten a través del aire; siendo estos casi imposibles de evitar; pero existen medidas que se pueden utilizar para mitigar la creciente población de bacterias.

Los sistemas purificadores de aire son utilizados como una solución efectiva para controlar y reducir las cantidades de microorganismos presentes en el medio, estos sistemas son cada vez más sofisticados, pero su principio de funcionamiento es el mismo: hacer circular el aire por diversas etapas filtrantes, las cuales reducen sustancialmente de una etapa a otra, la cantidad de virus y bacterias presentes.

En Colombia, la gran mayoría de centros de salud e IPS de recursos limitados, no tienen acceso a este tipo de sistemas, que por lo general son importados y su instalación y mantenimiento puede ser de alto costo.

Es por esto que se ha planteado la realización de este proyecto, como una alternativa factible para solucionar y mejorar la calidad del aire de las salas de urgencia, que circula y sale a la atmosfera proveniente de las mismas; siendo esta una solución enfocada en reducir los costos de mantenimiento y costo total del equipo.

## 2 INFORMACIÓN RECOLECTADA, ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

### 2.1 ANTECEDENTES

Durante la década de los 30, Williams Wills publicó artículos comentando la capacidad infecciosa de las gotas de Pflugge (saliva que sale disparada desde la boca). Wills estudió también las propiedades de la luz ultravioleta para el control del aire. En la década de los 60 otros investigadores reportaron la transmisión aérea de una variedad de infecciones que incluían la tuberculosis, influenza y sarampión.

Hallazgos posteriores demostraron que muchas esporas de hongos, incluida la de *aspergillus fumigatus* pueden encontrarse en distintas superficies. Estos hallazgos han hecho parte fundamental para la concepción de las teorías de cómo se pueden esparcir las epidemias a través de cientos de kilómetros.

Es por esto que el tratamiento del aire juega un papel muy importante en la prevención de pandemias, y en especial en los hospitales es fundamental que se trate adecuadamente, ya que son centros donde cientos de personas circulan diariamente, y esto puede poner en riesgo la vida tanto de pacientes como de trabajadores.

En las entidades prestadoras de salud, los sistemas de climatización y ventilación deben estar zonificados según su actividad o departamento, por ello se debe concebir el sistema de aire acondicionado y renovación del aire, como una parte vital en el diseño y la arquitectura del edificio. El aire acondicionado contribuye a mejorar la salud como resultado del control de la temperatura, humedad, limpieza y movimiento de aire. Los médicos recomiendan firmemente ambientes con aire acondicionado para sus pacientes.

En muchos casos el aire acondicionado de los hospitales es un factor determinante en el tratamiento de los pacientes con afecciones cardíacas, de tiroides, respiratorios, quemaduras y SIDA; precisamente por el cuidado extremo al que se ven sometidos estos, es que estos sistemas de climatización son especiales y difieren bastante de las aplicaciones comerciales, porque necesitan:

- Determinado comportamiento de los flujos de aire, control de la presión y restricción de este al área para evitar contaminaciones.

- Requerimientos específicos de filtrado y aire exterior para remover olores, sustancias químicas peligrosas, radiactivas o evitar la proliferación de virus y microorganismos.
- Control zonal de diversos valores de temperatura y humedad.
- Un sofisticado sistema de control automático para regular los funcionamientos de los sistemas zonales.

Algunos de los requisitos que exigen estos sistemas de climatización y ventilación son:

- Las salidas por donde el aire es expulsado por el sistema de extracción, estarán alejadas 9.00 metros como mínimo de cualquier toma de aire exterior, ventanas y entradas de personas, a una altura de 1.00 metro por encima de la cubierta del edificio, teniendo en cuenta la dirección de los vientos predominantes.
- Las tomas de aire exterior deberán situarse a 9,00 metros como mínimo de cualquier salida de humos de combustión, extracción, torres de enfriamiento, fuentes ornamentales, o sistemas de vacío. En altura a no menos de 1.80 metros por encima del nivel principal.

## 2.2 SALAS DE URGENCIAS

Esta es la unidad o departamento más contaminado de todo el hospital por la gran cantidad de enfermos y acompañantes que acuden (una densidad de 2.60 m<sup>2</sup> por persona).

Está compuesto por ambientes (salas) de atención primaria, Trauma y observación.

La temperatura y humedad deben estar dentro de los límites de confort, pero la ventilación debe estudiarse cuidadosamente. En general deben existir entre 5–12 m<sup>3</sup>/h de aire, presión positiva y un índice elevado de aire exterior (42m<sup>3</sup>/h mínimo por persona), con mínimo filtros EU4 para impulsión y filtros de carbón activado en el retorno.

La sala de urgencias debe tener consideraciones similares a los quirófanos, aunque se puede recircular algo de aire con filtros de alta eficiencia (EU8 o HEPA). El área de almacenes debe tener una extracción permanente con 8m<sup>3</sup>/h.

En sitios como este, es donde los agentes biológicos como los microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, los cultivos celulares y los endoparásitos humanos, pueden transmitirse y multiplicarse por las condiciones del medio, y los pacientes, que por lo general son susceptibles a contraer cualquier tipo de infección, alergia o enfermedad.

Los contaminantes biológicos más comunes se agrupan en tres categorías: virus, bacterias y hongos.

### **2.2.1 Virus**

Los virus son la forma de vida más elemental, están formados por una cadena de ADN o ARN protegida por una cápsula, estos microorganismos no poseen ningún tipo de maquinaria celular, por lo que para reproducirse invaden células, hacen réplicas de sí mismos, y si encuentran el medio adecuado se propagan a fin de invadir otras células y repetir el ciclo.

Son los más pequeños de todos los microorganismos y tiene un tamaño promedio de aproximadamente 0.001  $\mu\text{m}$ .

### **2.2.2 Bacterias**

Las bacterias son organismos unicelulares primitivos procariontes. Algunos tipos de bacterias son las responsables de causar enfermedades en el hombre. Estructuralmente, las bacterias poseen membrana celular, pared celular (estructura fibrosa protectora que recubre exteriormente la membrana celular) y una maquinaria celular ya que las células procariotas no poseen membrana nuclear y por lo tanto no se reconoce un núcleo definido.

Algunas especies de bacterias han desarrollado la capacidad de producir “esporas bacterianas”, que constituyen el propio organismo bacteriano que se enquistas, disminuyendo su actividad metabólica al mínimo y rodeándose de una cubierta impermeable. En este estado de letargo, la bacteria es capaz de resistir condiciones adversas sin sufrir daños. Cuando las condiciones son propicias, la espora sale de su letargo y se transforma en una bacteria activa.

Existen bacterias de diverso tipo, se las ha clasificado en base a sus características de forma (cocos, bacilos, etc) de tinción (gram (-), gram (+)); y poseen un tamaño promedio de alrededor de 1  $\mu\text{m}$ .

### 2.2.3 Hongos

Los hongos son plantas que no contienen clorofila y obtienen sus nutrientes a partir de materia orgánica en descomposición. Algunos hongos son extremadamente beneficiosos para nosotros, como por ejemplo, los champiñones, la levadura y algunos de los mohos. Ellos ayudan a la producción de quesos, antibióticos, yogurt, vino y cerveza, aunque un cierto número de especies de hongos que se transportan a través del aire pueden producir infecciones.

El crecimiento de hongos en los sistemas de ventilación puede contaminar los ambientes interiores y causar diversos problemas. Algunos hongos pueden causar infecciones pulmonares y en gran cantidad pueden causar reacciones alérgicas en personas susceptibles e irritación respiratoria en personas que no son alérgicas. La inhalación de esporas por personas altamente susceptibles puede llevar a consecuencias fatales.

Los hongos difieren significativamente del resto de los otros patógenos aerotransportados, ya que estos no causan infecciones contagiosas secundarias; solamente la persona que los inhala está en riesgo. Pueden existir en el exterior y entrar en el edificio a través de las tomas de aire, a diferencia virus y bacterias que son transportados y transmitidos por humanos o animales y normalmente son inofensivos y no parasitarios.

Las infecciones con hongos a menudo son el resultado de una mala higiene o un diseño inadecuado de los componentes del sistema de ventilación.

Los hongos producen esporas, de la misma manera que lo hace cierto tipo de bacterias, y esto les permite sobrevivir en condiciones adversa mientras viajan o permanecen inactivos. Son las esporas las que entran en las tomas de aire de los edificios y pueden viajar a través de la corriente de aire del sistema de ventilación. Las esporas de los hongos son más pequeñas que sus propias células y pueden variar su tamaño desde 1 micrón hasta 10 micrones.

## 2.3 FACTORES PRINCIPALES PARA LA PROLIFERACION DE INFECCIONES Y ENFERMEDADES

- 1) **Exposición a Bacterias:** Una de las más comunes son la Legionella Pneumophila y la Mycobacterium tuberculosis. Si el hospital cuenta con los filtros purificadores de aire (HEPA) se reduce hasta el 99.9% de las bacterias suspendidas en el aire.



- 2) **Exposición a Virus:** infecciones que no se transportan por aire como lo son la varicela y la rubéola. Aún no se conoce un método que las elimine al 100% pero sí que las desactiva como los filtros HEPA y ULPA (Ultra Low Penetration Air).
- 3) **Temperatura y Humedad:** La inhibición y el crecimiento de bacterias o la activación de virus dentro de un hospital se deben a estas condiciones.
- 4) **Agentes microbianos:** Cuando un microorganismo, llámese hongo, bacteria, virus o parásito es contraída de una persona por persona es una infección cruzada; o será una infección endógena si es por la propia flora del paciente.
- 5) **Vulnerabilidad o falta de defensas en pacientes:** Hay varios factores que aquí intervienen como lo son: la edad del paciente, si hay una previa enfermedad o subyacente, y si ha tenido intervenciones quirúrgicas. Quienes tienen la mayor vulnerabilidad a las infecciones son las personas con enfermedades crónicas como la leucemia, diabetes, insuficiencia renal, sida, entre otras más.
- 6) **Factores ambientales:** Dentro de un hospital existen muchas personas infectadas, dándoles un foco potencial a las infectadas, y a quienes se contagian dentro del recinto constituyen un foco de infección. Aspectos contribuyentes al desarrollo de infecciones dentro del hospital son: el traslado de pacientes, su concentración, las condiciones del hospital.
- 7) **Resistencia bacteriana:** Cuando a una persona se le receta medicamento por padecer una infección, pero no sigue las indicaciones prescritas, sino que al momento de sentir mejoría suspende la toma del medicamento, el microorganismo se hace resistente; y al presentarse la infección de nuevo, el medicamento prescrito anteriormente no surtirá efecto.<sup>1</sup>

## 2.4 CONTROL DE INFECCIONES

Si el sistema de ventilación no es apropiado se puede enfrentar a problemas por como un inadecuado control de infecciones. Es así que resulta importante el diseño y con la planeación previa a él para entregar un aire aséptico y esterilizado.

---

<sup>1</sup> Olano, Gustavo. Áreas críticas en Hospitales. Fuente:  
<http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2013/12/areas-criticas-en-hospitales/>

Según el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y la Secretaría de Salud, una infección nosocomial es aquella que el paciente internado contrae por una razón distinta de esa infección, son las que más se contraen en áreas críticas como las salas de urgencia, quirófanos, y en su gran mayoría la propagación del virus es debido al mal estado o mal mantenimiento de las instalaciones de ventilación y aire acondicionado.

## **2.5 TÉCNICAS DE CONTROL AEROBIOLÓGICO**

Con el fin de evitar el ingreso de contaminantes tanto biológicos como químicos a través de los sistemas de ventilación y propagación de enfermedades a partir de la producción de bioaerosoles en los ambientes hospitalarios han surgido diversas técnicas que proporcionan una eficaz defensa contra la contaminación. Las que se recomiendan son:

1. Dilución por Ventilación
2. Filtrado HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance)
3. Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI)
4. Control Diferencial de Presión Ambiental

### **2.5.1 Ventilación**

La insuficiente ventilación de los ambientes interiores provoca una sensación de malestar en las personas que lo habitan. Entre las molestias que se pueden mencionar: fatiga, irritación de ojos, nariz, tos, náuseas, dolores de cabeza, garganta y problemas respiratorios en general. Para ambientes hospitalarios se agrega el peligro del contagio de enfermedades de transmisión aérea como por ejemplo la tuberculosis.

El propósito de la ventilación general es diluir y remover contaminantes generados en el ambiente acondicionado, mediante la inyección de aire limpio proveniente del exterior a fin de producir una renovación del aire interior.

Comúnmente la ventilación es medida en cambios de aire por hora, es decir la cantidad de veces que se inyecta el volumen de aire correspondiente al ambiente en un tiempo de una hora.

Otro como de especificar las necesidades de ventilación es a través del requerimientos de cuantos metros cúbicos por hora de aire fresco necesita una

persona para mantener una sensación de bienestar. Actualmente un valor adecuado es de 50 m<sup>3</sup>/h por persona como mínimo.

La propulsión del aire desde el exterior hacia los ductos del sistema de ventilación y desde el interior hacia el exterior es llevada a cabo a través de ventiladores.

Los ventiladores se clasifican en dos grupo generales:

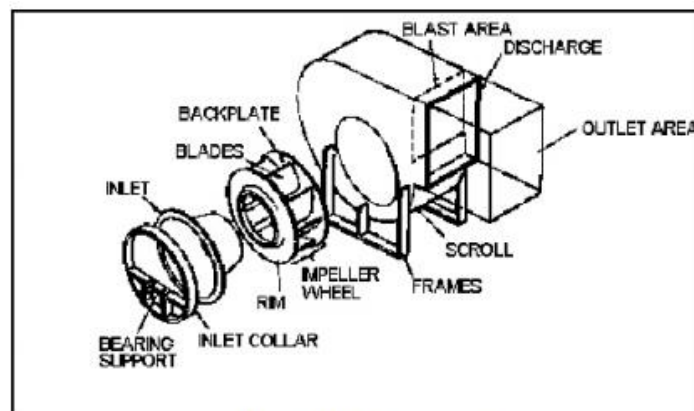
- a. **Centrífugos:** Las corrientes de aire se establecen radialmente a través de un rodete.
- b. **Axiales:** La corriente de aire se establece axialmente a través de un rodete.

El ventilador centrífugo es el que se utiliza en la mayoría de las aplicaciones de confort en virtud de su amplio margen de funcionamiento, alto rendimiento y presiones relativamente elevadas. Además, la boca de entrada de un ventilador centrífugo se puede conectar con facilidad de un ducto de gran sección transversal, mientras que la boca de descargar se conecta con fácilmente a ductos más pequeños. El flujo de aire puede variarse de modo que se adapte a los requisitos del sistema de distribución de aire mediante simples ajustes en los dispositivos de control.

Los ventiladores axiales son excelentes para aplicaciones de gran volumen de aire en que los niveles de ruido son de importancia secundaria, por lo que se los suele utilizar en aplicaciones industriales de acondicionamiento de aire y de ventilación.

En la siguiente figura puede verse un esquema de un ventilador centrífugo.

Figura 1. Ventilador centrífugo

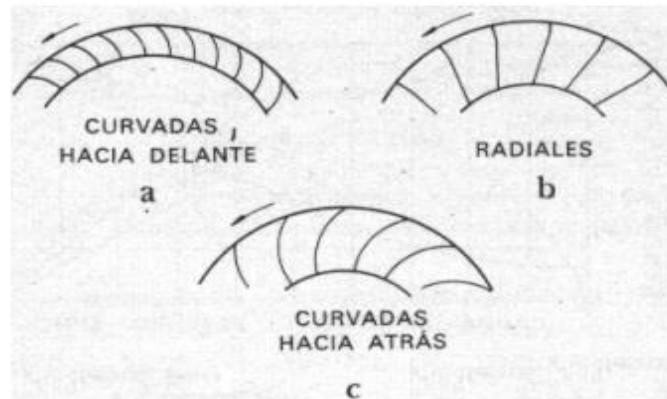


Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Estos ventiladores se clasifican según la curvatura de sus álabes o aletas en:

1. Aletas curvadas hacia adelante (figura 2 a)
2. Aletas radiales o sin curvatura (figura 2 b)
3. Aletas inclinadas hacia atrás (figura 2 c)

Figura 2. Tipos de ventiladores centrífugos



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Los términos “hacia adelante o hacia atrás” están referidos al sentido de rotación del ventilador. De la curvatura de las aletas depende la forma de las curvas características del ventilador y en el cuadro 1 se da un resumen de las características de los tres tipos de ventiladores.

Cuadro 1. Características de los ventiladores centrífugos

Características de los ventiladores centrífugos	
Tipo de ventilador	Ventajas
Curvado hacia adelante	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Funciona a velocidad relativamente baja en comparación con los otros tipos, para un mismo caudal.</li> <li>2. Ventilador más pequeño para un servicio dado.</li> </ol>
Radial	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se limpia por sí mismo.</li> <li>2. Puede ser proyectado para que tenga elevada resistencia mecánica a fin de obtener altas velocidades y presiones.</li> </ol>
Curvado hacia atrás	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. De mayor rendimiento</li> <li>2. No se sobre carga y es más silencioso que los otros tipos.</li> </ol>

Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

En el cuadro 2 se observa una comparación entre estos tres tipos de ventiladores en con respecto a las variables de presión estática, velocidad y flujo o caudal de aire.

*Cuadro 2. Breve comparación entre ventiladores*

Tipo de Ventiladores	Flujo de aire	Velocidad	Presión estática
Curvado hacia adelante	Baio fluio	Baja velocidad	Alta presión
Radial	Intermedio	Intermedio	Intermedio
Curvado hacia atrás	Alto fluio	Alta velocidad	Baja presión

Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

La AMCA (Air Movement and Control Association International) ha establecido normas de construcción de los ventiladores centrífugos basados en las presiones que os ventiladores deben desarrollar, clasificándolos en cuatro clases según el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación AMCA: Ventiladores centrífugos

Clasificación AMCA: Ventiladores centrífugos	
Clases	Máxima presión total
I	95 mm H <sub>2</sub> O
II	175 mm H <sub>2</sub> O
III	325 mm H <sub>2</sub> O
IV	Más de 325 mm H <sub>2</sub> O

Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

## 2.5.2 Filtrado del aire

El aire que circula en los sistemas centralizados de ventilación de un hospital tiene dos orígenes, por un lado se toma del exterior para ser llevado por todo el sistema hacia las distintas áreas; y a través de las rejillas de retorno se toma aire de los ambientes acondicionados y parte de este es recirculado y el resto se envía al exterior.

Por lo tanto existen dos fuentes de contaminación, las partículas que provienen del aire externo y los contaminantes originados dentro de las diversas áreas del hospital. Debido a esto surge la necesidad de filtrar el aire que circula por los ductos de ventilación. En la tabla 1 se pueden observar las eficiencias de los filtros para ambientes hospitalarios.

Tabla 1. Regulaciones de la Health Education and Welfare Public Health Service U.S.A

<b>REGULACIONES DE LA HEALTH EDUCATION AND WELFARE PUBLIC HEALTH SERVICE U.S.A.</b>			
Eficiencias de los Filtros para Ventilación y Aire Acondicionado Centrales en Hospitales Generales			
Designación del Área	Número mínimo de etapas de filtrado	Eficiencia de los filtros **	
		1ra Etapa	2da Etapa
<b>AREAS CRITICAS:</b> Quirófanos, Salas de partos, Laboratorios limpios, Neonatología y Terapia intensiva	2	25 %	90 %
<b>CUIDADO DE PACIENTES:</b> Salas de tratamiento, Consultorios de diagnóstico y de tratamiento y áreas relacionadas	2	25 %	90 %*
<b>AREAS DE PREPARACION DE COMIDAS Y LAVANDERIAS</b>	1	80 %	-
<b>ADMINISTRATIVAS:</b> Almacenamiento en general y áreas de elementos sucios	1	25 %	-
<b>NOTAS</b>			
*: Puede reducirse la eficiencia al 80 % si se trabaja con 100 % de aire exterior. Cuando se indican dos etapas de filtrado, la primera etapa debe instalarse antes del equipo de acondicionamiento de aire y la segunda después del equipo. Cuando se indica una sola etapa de filtrado, esta debe instalarse antes del equipo de acondicionamiento de aire, a menos que decidan colocar un prefiltro (conveniente para el buen rendimiento del filtro especificado), en tal caso el prefiltro va antes del equipo y el filtro especificado después. Estas exigencias son las mínimas para un hospital general. Para hospitales especializados deberán estudiarse detenidamente las áreas, sin temor de tener que colocar filtros en algunos lugares con el 99,9 % de eficiencia para ensayo DOP, es decir para partículas de 0,3 de micrón.			
*: según norma ASHRAE 52/76			

Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/hospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Si el filtrado no es eficiente se corre el peligro de esparcir por todo el edificio los contaminantes anteriormente mencionados. Además el sistema de ventilación puede comportarse como una fuente de contaminación debido a que las

condiciones de temperatura constante, humedad y hermeticidad, favorecen la reproducción de los contaminantes biológicos.

Existen diversos tipos de filtros de aire, los más importantes son:

**a. Filtros viscosos**

Utilizan un medio filtrante texturado construido de fibra, tela de alambre, placas o grillado metálico. Este medio está revestido con una sustancia viscosa tal como aceite u grasa. Cuando el flujo de aire incide sobre el filtro las partículas chocan con el medio filtrante y quedan adheridas a él. Por su baja eficiencia no son los adecuados para aplicaciones hospitalarias.

**b. Filtros electrostáticos**

Utilizan un medio filtrante que consiste de placas metálicas cargadas electrostáticamente a una tensión de 12.000 a 13.000 voltios. Las partículas contaminantes se ionizan al pasar el flujo de aire a través del fuerte campo eléctrico y quedan depositadas en las placas cargadas eléctricamente (estas suelen estar revestidas con una sustancia adhesiva para impedir que se desprendan). Se consiguen rendimientos del 85 al 90%.

**c. Filtros secos**

Utilizan un medio filtrante seco de celulosa, amianto o fibra de vidrio. Este tipo de filtros pueden alcanzar un rendimiento del 99,97% dependiendo del tamaño y de la separación de las fibras del filtro seco. Los filtros secos de alto rendimiento están destinados a eliminar partículas de pequeño tamaño y se utilizan especialmente para virus y bacterias. Los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance) pertenecen a esta categoría.

Un servicio de internación para pacientes aislados o un quirófano requieren aire filtrado con una pureza mayor al 95%, por lo que se pueden utilizar filtros electrostáticos o filtros HEPA. En el cuadro 4 se hace un análisis comparativo de estos dos tipos de filtros.

Cuadro 4. Análisis comparativos entre filtros

Características	HEPA	Electrostáticos
Eficiencia después de 16 horas	100 %	65 %
Eficiencia después de 40 horas	100 %	20 %
Eficiencia submicrométrica	99 – 99,75 %	Menor al 85 %
Consumo	Bajo	Alto
Emisión de Ozono	No	Alta
Formación de Arcos	No	Frecuentes
Nivel de ruido	Bajo	Alto
Generación de Iones	No	Iones Positivos
Instalación	Fácil	Difícil

Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/hospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Como resultado de este análisis se concluye que los filtros HEPA son los más adecuados para las áreas críticas de un hospital.

## 2.6 Filtros HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance)

Los filtros HEPA fueron desarrollados por la comisión de Energía Atómica de los EEUU durante la segunda guerra mundial y actualmente se han convertido en los sistemas primarios de filtrado del aire para salas limpias de ensamble electrónico, barreras de aislación, ambientes quirúrgicos, procesamiento farmacéutico, y cualquier aplicación donde se requiere una máxima reducción o remoción de partículas submicrométricas de diámetro aerodinámico mayor o igual a 0.3 micras ( $\mu\text{m}$ ) que sean química, biológica o radiactivamente tóxicas.

Generalmente un filtro HEPA consiste de un lecho de microfibras de vidrio sintéticas, tal como la microfibra de boro silicato, aleatoriamente ubicadas. El pequeño diámetro de fibras y la alta densidad del medio filtrante, permiten una eficiente recolección de las partículas submicrométricas, como puede verse en la figura 3

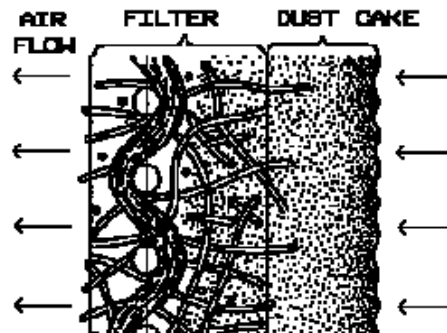
El principio del filtrado HEPA no es restringir el pasaje de las partículas a través del espacio entre las fibras, sino alterar la dirección del flujo de aire de tal modo que los pasajes a través de los cuales el aire debe fluir son muy tortuosos. El aire se desplazará alrededor de las fibras, pero cualquier bioaerosol o partícula no



cambiará su dirección tan rápidamente como resultado de su inercia impactando sobre las fibras y adhiriéndose a ellas.

Una vez retenidas, las partículas no reingresarán en el flujo de aire, por lo que los pasajes se harán cada vez más pequeñas y el filtro aumentará su eficiencia.

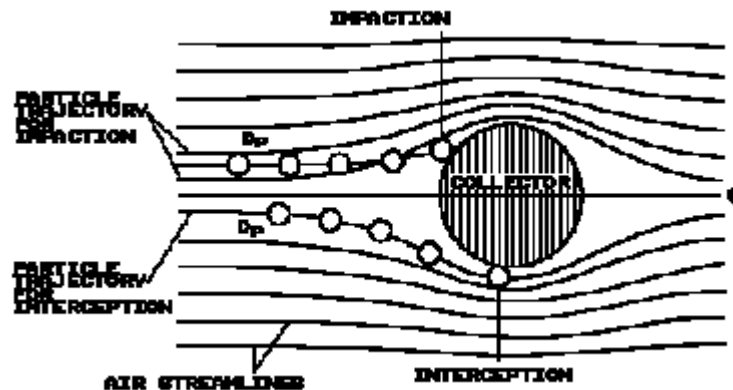
Figura 3. Composición interna de un filtro HEPA.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

En la figura 4, se puede observar como las líneas de flujo de aire se mueven alrededor de una única fibra; las partículas más pesadas impactarán directamente sobre la fibra, o algunas veces se unirán a ella solamente por pasar a una corta distancia debido a atracciones electrostáticas o por simples uniones físicas.

Figura 4. Movimiento de las líneas de flujo.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

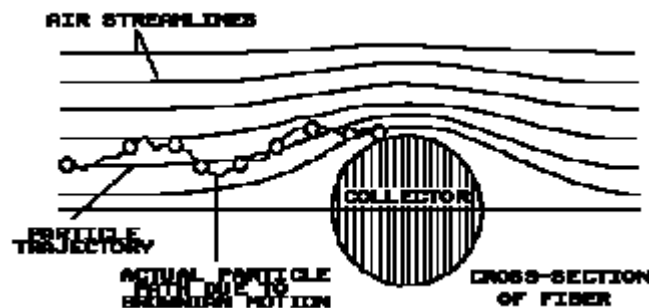
En la figura 5 se muestran los efectos del movimiento Browniano sobre aquellas partículas de tamaño molecular. Algunos virus pueden ser lo suficientemente pequeños para ser dominados por este tipo de movimiento.

Los filtros HEPA por definición poseen una eficiencia del 99,97% en la remoción de partículas por encima de 0.3 micrones. Este valor de eficiencia está basado en el ensayo DOP, el cual es un conteo de partículas de 0.3  $\mu\text{m}$  que pasan a través del filtro (a condiciones de filtro limpio) producidos por un generador de aerosoles cargado con Dioctil Ftalato (DOP), sustancia que asegura el tamaño uniforme de las partículas. Un fotómetro mide la penetración de la partícula en el filtro HEPA, detectando la dispersión de la luz.

Varios factores determinan la eficiencia de los filtros HEPA, entre ellos se incluyen la filtración del gas, la velocidad, las características del medio filtrante. En general, la eficiencia de recolección se incrementa al aumentarse la velocidad de filtración y el tamaño de partículas. Además, la eficiencia aumenta a medida que se incrementa la densidad y el espesor de la carga de polvo en el filtro.

Los filtros HEPA son mejor aplicados en situaciones en las que se requieren altas eficiencias en el filtrado de partículas submicrométricas, o donde no se pueden limpiar del filtro las partículas tóxicas y/o peligrosas. Por estas razones que los filtros HEPA son los más adecuados para aplicaciones médicas tales como el aislamiento de pacientes bajo tratamiento que involucra aislamiento inmunológico, cuidado de víctimas de quemaduras, cirugía ortopédica, etc.

Figura 5. Movimiento Browniano.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

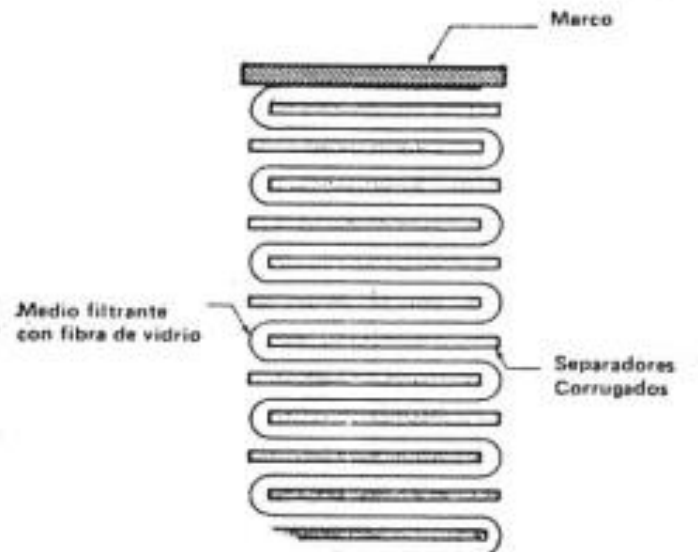
En teoría los filtros HEPA deberían ser altamente efectivos contra bacterias y medianamente efectivos contra virus, pero se ha encontrado que su eficiencia está por debajo de la medida realizada en laboratorio (ensayo DOP). Frecuentemente este problema se soluciona realizando una correcta instalación y un buen mantenimiento de los filtros, teniendo especial cuidado de que los marcos que sostienen los filtros se ajusten con precisión al ducto de ventilación, de forma tal que no existan fugas de aire no filtrado. Los filtros HEPA no requieren ninguna

limpieza para conservar su eficiencia manteniéndola durante dos a cinco años de vida útil.

Un módulo de filtrado de HEPA comúnmente consiste de un pre-filtro que está prefabricado de espuma de poliuretano impregnada con carbón activado. Esta espuma retiene partículas grandes (diámetro mayor a  $2,5 \mu\text{m}$ ) y concentraciones de polvo mayores a  $0,03 \text{ g/cm}^2$  que rápidamente podrían obstruir el filtro HEPA y el carbón activado se encarga de adsorber los olores. Para su limpieza el pre-filtro puede ser aspirado para remover todas estas partículas. Alcanzan una eficiencia entre el 70% al 90%.

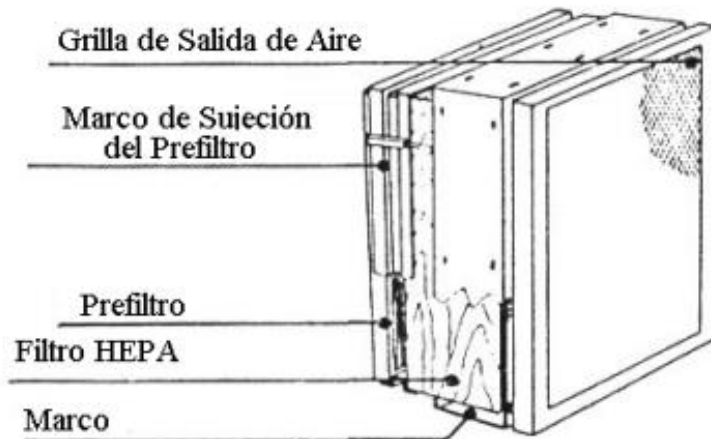
Después del pre-filtro se encuentra el filtro HEPA, en el cual el medio filtrante es plegado para proporcionar una mayor relación de área superficial a igual velocidad de flujo. Sin embargo, un plegado muy estrecho puede causar que el polvo filtrado cubra el fondo de los pliegues, reduciendo el área superficial. Para evitar el colapso del medio filtrante, con frecuencia se emplean separadores corrugados de aluminio. La profundidad de los pliegues pueden variar desde  $2,5 \text{ cm}$  hasta  $40 \text{ cm}$ . Generalmente, el espaciamiento del plegado es entre 12 y 16 pliegues por pulgada, aunque ciertas condiciones requieren menos pliegues, de 4 a 8 pliegues por pulgada. En la figura 6 y 7 se puede observar el interior de un filtro HEPA y su estructura general.

Figura 6. Diseño interno de un filtro HEPA.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Figura 7. Módulo de filtrado HEPA



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Los módulos HEPA generalmente son utilizados como filtros desechables. En la mayoría de los diseños, el reemplazo del módulo del filtro se realiza por el lado del aire limpio y por fuera de la caja de filtración, reduciendo el riesgo de exposición de los técnicos de mantenimiento a las partículas contaminantes, La OSHA (Occupational Safety and Health Administration) requiere procedimientos especiales para el recambio de los filtros, comúnmente conocidos métodos como el “bag in/ bag out” permiten la remoción y el reemplazo del filtro manteniendo la operación sellada y minimizando el riesgo de exposición del personal de mantenimiento a materiales potencialmente infecciosos.

La operación del filtro puede requerir equipo adicional, como por ejemplo sensores de presión a la entrada y la salida para medir la caída de presión a través del filtro. Esto no solo indica cuando debe reemplazarse el filtro, sino que también monitorea la integridad del sistema de filtración.

Los filtros de aire HEPA se hacen de fibras de vidrio muy diminutas dentro de un papel herméticamente tejido. Esto crea un filtro que consiste en una multitud de cedazos muy pequeños que pueden capturar partículas sumamente pequeñas, incluyendo a algunos agentes biológicos.

Una vez atrapados las partículas y los contaminantes, no pueden circular hacia atrás debido a los poros muy absorbentes del filtro de aire HEPA. El filtro HEPA,

remueve el 99.97% de partículas de tamaño debajo de 0.3 micras, casi 300 veces más pequeños que el grosor de un cabello humano.

Figura 8. Ilustración del proceso de eliminación de contaminantes.



Fuente: El Purificador de Aire Surround Air Multi-Tech XJ-3000C. Pagina Web. Disponible [<http://www.globalhealingcenter.net/multi-tech-xj-3000c.html>]

Fueron desarrollados por la Comisión de Energía Atómica durante la segunda Guerra Mundial y fueron diseñados originalmente para remover el polvo radiactivo de sus plantas. Estudios realizados por Air & Waste Management Association, encontraron que la combinación de un filtro de aire HEPA y una lámpara UV germicida, reducen bacterias en un 80%.

## 2.6.1 Características de los filtros HEPA

### a) Flujo de aire

Los filtros HEPA están limitados a aplicaciones con baja capacidad de flujo de aire, pudiendo manejar flujos de aire desde menos de 0,1 hasta 1,0 metros cúbicos por segundo ( $m^3/seg$ ). Para aplicaciones que requieran mayor capacidad de flujo de aire se deben conectar bancos o módulos de filtros en paralelo. Los sistemas modulares disponibles comercialmente pueden manejar velocidades de flujos de aire en el rango de 5 a 12  $m^3/seg$ .

La capacidad de flujo de aire es una función de la resistencia o caída de presión a través del filtro y de la carga de partículas. A medida que se acumula el polvo en el filtro, aumenta la resistencia y por lo tanto, disminuye el flujo de aire. Puesto que el filtro no se limpia, la velocidad de flujo de aire continúa disminuyendo a medida que opera el sistema. Después que la caída de presión a través del filtro alcanza un punto tal que previene un flujo adecuado de aire, el filtro debe ser reemplazado. Es por esto que los filtros HEPA son utilizados en aplicaciones que tienen bajas velocidades de flujo de aire o bajas concentraciones de partículas contaminantes.

## b) Temperatura y humedad

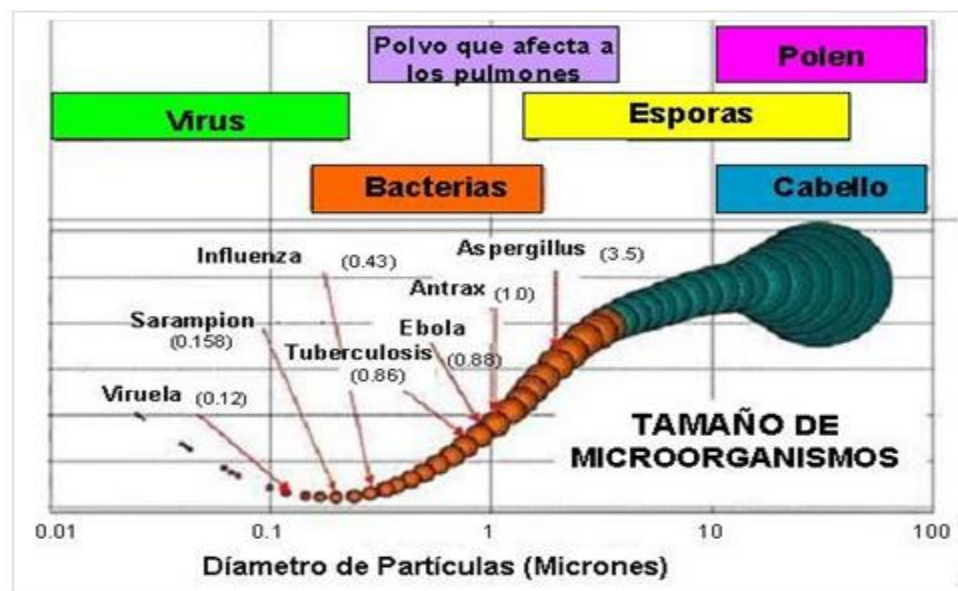
Las temperaturas están limitadas por el tipo de medio filtrante y por el sellador utilizado en los módulos de filtrado pudiendo manejar temperaturas del aire de hasta aproximadamente 93°C. Con medio filtrante y material sellador especiales, los filtros HEPA pueden aceptar temperaturas de hasta 200°C y los poseen sellos mecánicos vidriados o de cerámica, pueden soportar temperaturas de hasta 537°C.

Los filtros HEPA pueden tolerar algo de humedad. Sin embargo, humedades mayores a 95% pueden causar que el medio filtrante se tape. Por lo tanto, la temperatura mínima del flujo de aire debe permanecer por encima del punto rocío de cualquier vapor condensable en la corriente o disminuir la HR a niveles aceptables según las especificaciones del filtro en particular.

## c) Carga de contaminantes

Las cargas típicas van desde 1 a 30 gramos por metro cúbico ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). La capacidad de retención de polvo, compara la ganancia en peso del filtro con el aumento en la caída de presión durante un período específico de tiempo; las capacidades típicas de retención de polvo varían desde 17,6 a 35,3 gramos por  $\text{m}^3/\text{min}$ . De aire filtrado.

Figura 9. Diámetro de Partículas ( $\mu\text{m}$ )



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

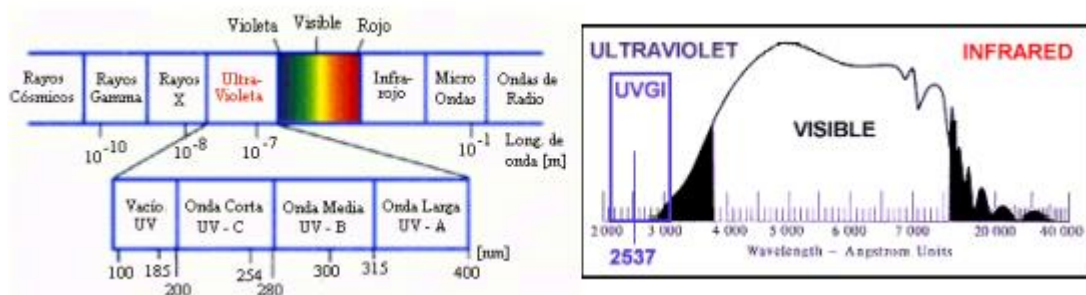
#### d) Otras consideraciones

La caída de presión a través del filtro es una función de la carga de contaminantes. Se debe monitorear la caída de presión a través del medio filtrante; una vez que la caída de presión se vuelve inaceptable, el filtro debe ser reemplazado. La caída típica de presión para un filtro limpio es de 25 milímetros (mm) de columna de agua. Un incremento de la caída de presión en el rango 51 a 102 mm de columna de agua, indica el fin de la vida de servicio de un filtro. Existen filtros que tienen caídas de presión cuando están limpios, en el rango de 6 a 13 mm de columna de agua.

### 2.7 IRRADIACIÓN GERMICIDA ULTRAVIOLETA (UVGI)

El uso de la radiación ultravioleta (UV) para la esterilización de microorganismos ha sido estudiado desde 1930. La radiación UV está definida como la porción del espectro electromagnético en el rango de longitudes de onda de 100 nm a 400 nm (Ver figura 10). El espectro UV ha sido separado en tres bandas de longitudes de onda diferente: UV-A (longitudes de onda larga, rango 320 a 400 nm), UV-B (longitudes de onda medias, rango 290 a 320 nm) y UV-C (longitudes de onda cortas, rango 100 a 290 nm)

Figura 10. Espectro de la radiación UV.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

El tipo de radiación UV que es efectiva contra las bacterias es la UV-C, que a su vez es relativamente inocua para los seres humanos a diferencia de la radiación UV-A la cual puede causar cáncer de piel y la radiación UV-B la cual se conoce que causa cataratas. Sin embargo, se deben tomar precauciones especiales cuando se utiliza radiación UV-C incluyendo indumentaria y lentes adecuados para las inspecciones regulares y el mantenimiento de las lámparas.

La luz de esta longitud de onda puede causar enrojecimiento de la piel o conjuntivitis durante una exposición prolongada de alta intensidad pero estos efectos son temporarios. Otros efectos colaterales de la radiación UV-C incluyen la decoloración de objetos y tejidos y daños en las plantas.

Los microorganismos son vulnerables a los efectos de la luz UV debido a la resonancia que se produce entre fotones de esta longitud de onda con estructuras moleculares. Visto de otro modo un fotón de energía de luz UV posee justamente la cantidad correcta de energía para romper los enlaces moleculares orgánicos; la ruptura de estos enlaces se traduce en daño celular o genético de los microorganismos. El mismo daño ocurre en los humanos pero está limitado a la piel y a los ojos.

La componente UV de la luz solar es la principal razón de muerte de los microbios en el aire externo. La vida media en el exterior varía de un agente patógeno a otro, pero puede ser de unos pocos segundos a unos pocos minutos para una eliminación del 90 al 99% de virus o bacterias contagiosas. Las esporas y algunas bacterias ambientales tienden a ser más resistentes y pueden sobrevivir a exposiciones mayores. Los sistemas UVGI típicamente usan niveles mucho más concentrados de energía UV que los encontrados en la luz solar.

Las fuentes de radiación ultravioleta comercialmente disponibles son las lámparas de vapor de mercurio a baja presión, que emiten energía radiante en el rango del UV-C, predominantemente a una longitud de onda de 253,7 nm. El arco se produce en las mismas circunstancias que el de una lámpara fluorescente e irradia el mismo tipo de energía ultravioleta. La diferencia radica en que la ampolla de la lámpara fluorescente está revestida interiormente con fósforo, el cual convierte la radiación ultravioleta en luz visible. La lámpara germicida no tiene capa de fósforo y está hecha de un vidrio especial, que es atravesado por la radiación ultravioleta generada por el arco.

Antes de instalar estos sistemas UVGI deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Este tipo de instalación controla solamente la infección del aire por bacterias; las esporas de hongos tienen una resistencia mayor UV y no puede ser desactivado en el corto tiempo que necesita el aire para pasar por la zona irradiada.
- Deben instalarse filtros contra el polvo, para evitar que cubre las lámparas. El polvo reduce mucho las emisiones de UV.



- El número de lámparas requerido en un ducto de ventilación es directamente proporcional al flujo de aire.
- Las lámparas deben limpiarse con intervalos que dependen de la suciedad que se encuentra en la atmósfera en que trabajan. Para mantener el rendimiento de radiación al máximo deben limpiarse con una tela humedecida con alcohol o amoníaco y agua. No debe usarse ni cera ni aceites.
- Cuando la radiación de una lámpara desciende al 60% del valor indicado para 100 horas, la lámpara debe ser reemplazada.

La radiación germicida UV puede ser aplicada de dos formas generales:

- Irradiación del espacio superior de la habitación
- Irradiación del ducto de ventilación

### 2.7.1 Comportamiento de los microorganismos frente a la UVGI

La variedad de microbios a la que se enfrenta un sistema UVGI es esencialmente impredecible y depende en cierto grado del tipo de servicio y de su localización geográfica.

Los virus son especialmente susceptibles a la luz UV, aún más que las bacterias, pero a su vez son también muy difíciles de filtrar. Las esporas, las cuales son más resistentes a la radiación UV que la mayoría de las bacterias, pueden ser controladas efectivamente a través del uso de filtros de alta eficiencia. La combinación del filtrado para bacterias y esporas con el complemento de un sistema UVGI para virus es la combinación óptima para hacer frente a estos agentes patógenos.

Los sistemas UVGI inactivan patógenos de acuerdo a la siguiente ecuación de decaimiento:

$$S(t) = e^{-klt}$$

**Ecuación: 1<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup> Valdez, Andrés. Acondicionamiento de Aire en Centros de Salud. Control Aerobiológico. Pág. 16 <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

Dónde:

**S:** Fracción de la población original que sobrevive a un tiempo de exposición  $t$

**K:** constante de decaimiento [ $\text{cm}^2/\mu\text{Ws}$ ]

**I:** Intensidad de la radiación UVGI [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]

**T:** tiempo de exposición [seg]

La constante de decaimiento  $k$  define la sensibilidad de un microorganismo a la radiación UV y es única para cada especie de microorganismo. La constante para la E.coli es de  $0,000767 \text{ cm}^2/\mu\text{Ws}$ .

La ecuación (1) omite una característica observada en el comportamiento de los microorganismos frente a la radiación UV, es la denominada la dosis umbral. Esta representa un retardo en la respuesta de los microorganismos expuestos a la UVGI, y por debajo de esta dosis umbral los microorganismos no sufren daños o son capaces de repararlos.

Si la velocidad del aire es demasiado alta y la dosis es insuficiente, los microbios pueden tener una baja respuesta o aún recuperarse del daño ocasionado. Existen muy pocos datos para determinar la dosis umbral de la mayoría de los agentes patógenos.

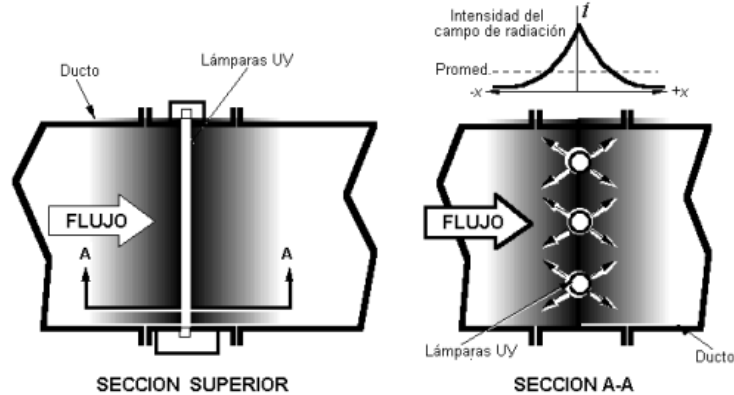
### 2.7.2 UVGI por irradiación del ducto de ventilación

Esta técnica involucra la instalación de lámparas UV directamente en el ducto de aire, la figura 11 muestra una instalación típica. Las lámparas se instalan en forma perpendicular al flujo de aire y el número de lámparas y su potencia en vatios se selecciona de modo tal que proporcionen una intensidad de radiación suficiente como para eliminar los agentes patógenos que puedan encontrarse en la corriente de aire.

La velocidad del aire en el ducto debe ser lo suficientemente baja a fin de proporcionar un tiempo de permanencia adecuado en el campo de radiación. Dado que el polvo acumulado en las lámparas reduce significativamente la intensidad del campo, estas deben localizarse corriente abajo de la etapa de filtrado y deben limpiarse regularmente. Se requieren puertas de acceso en el ducto para el mantenimiento e inspección de las lámparas y para la medición de la intensidad del campo y como medida de seguridad se deben colocar etiquetas de advertencia

apropiadas y cerrojos en las puertas de acceso para prevenir exposiciones accidentales de la radiación UV.

Figura 11. Arreglo de lámparas UV montado en un ducto.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

### 2.7.3 Parámetros de diseño de los sistemas UVGI

Se deben tener en cuenta diversos parámetros para el dimensionamiento de un sistema UVGI, entre los más importantes figuran: características de flujo de aire, la potencia, número y configuración geométrica de las lámparas y el diseño del sistema de ventilación.

El uso de la luz ultravioleta se ha incrementado para aplicaciones de control microbial. La luz germicida mata o inactiva a los microorganismos suspendidos en el aire previniendo la propagación de enfermedades infecciosas causadas por bacterias (incluyendo TB, Legionella, Escherichia coli y Tos ferina) y virus (incluyendo, resfriados, gripe, sarampión y SARS) y hongos o moho.

Las lámparas son instaladas en la manejadora de los sistemas de ventilación o en una unidad recirculadora de aire equipada con un ventilador.

Figura 12. Ilustración del proceso de eliminación de hongos, virus, bacterias, etc.



Fuente: El Purificador de Aire Surround Air Multi-Tech XJ-3000C. Página Web. Disponible [\[http://www.globalhealingcenter.net/multi-tech-xj-3000c.html\]](http://www.globalhealingcenter.net/multi-tech-xj-3000c.html)

Figura 13: Ilustración de la efectividad y filtración del filtro con luz ultravioleta.



Fuente: Prevención de Infecciones Hospitalares. Página Web. Disponible [[http://www.aircare.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=139&Itemid=181](http://www.aircare.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=139&Itemid=181)]

La luz Ultravioleta posee simplemente la cantidad correcta de energía para romper enlaces moleculares orgánicos. Cuando los micro-organismos pasan por la lámpara de luz ultravioleta, esta rotura se traduce en daño celular o genético para los microorganismos, como gérmenes, virus, baterías, los hongos, etc. El resultado es la destrucción del microorganismo.

#### 2.7.4 Consideraciones acerca de las lámparas UV

La parte más difícil al diseñar un sistema UVGI es determinar la potencia y el número de lámparas que se utilizarán de tal modo de cumplir con un grado de desinfección total (es decir, lograr una tasa de supervivencia de microorganismos del 0,01%)

La ecuación (1) brinda los parámetros de los cuales depende la tasa de supervivencia. Estos parámetros son, la constante  $k$  la cual brinda una medida acerca de la resistencia intrínseca que tiene cada especie de microorganismo frente a la radiación UV, para el diseño se buscará aquel microorganismo que tenga la constante de  $k$  de menor valor para asegurarnos de que el sistema responderá frente al caso más crítico.

Los otros dos parámetros están muy interrelacionados entre sí, la intensidad promedio del campo de radiación y el tiempo de exposición. Asumiendo un mezclado completo, la intensidad del campo puede ser descripta por un único valor que es la intensidad promedio. Para obtenerlo se requiere modelar el campo de intensidad de la/s lámpara/s y calcular la intensidad en cada punto del cuto hasta una cierta distancia de las lámparas, y a continuación promediar todos los valores calculados.

Las lámparas disponibles comercialmente se venden por la potencia que irradian. Para poder calcular la intensidad de radiación de salida de la lámpara (dato de inicio para poder estimar el campo de radiación) se debe dividir la potencia en el aérea superficial de la lámpara, la cual normalmente tiene una forma cilíndrica. Si la intensidad promedio no es suficiente para lograr la tasa de desinfección requerida, se debe optar por colocar lámparas de mayor potencia y repetir los cálculos.

El tiempo de exposición queda determinado por la velocidad del flujo de aire y por la cantidad de lámparas consecutivas que se instalen. La única manera de poder modificar la velocidad del flujo de aire (y de esta manera aumentar el tiempo de exposición) es a través de expansiones del ducto de ventilación que incrementen su área de sección transversal, lo cual no siempre es constructivamente posible. La otra alternativa para aumentar el tiempo de exposición es disponer de un mayor número de lámparas, lo cual aumenta la extensión del campo de radiación UV y a su también aumenta en cierto grado la intensidad promedio.

No existe un procedimiento único para el sueño de un sistema UVGI, se debe jugar con todos los parámetros mencionados anteriormente y lleva a cabo los cálculos en forma reiterada, hasta obtener un diseño que cumpla los requerimientos establecidos y que sea económica y constrictivamente viable.

## **2.8 CONTROL DIFERENCIAL DE PRESIÓN**

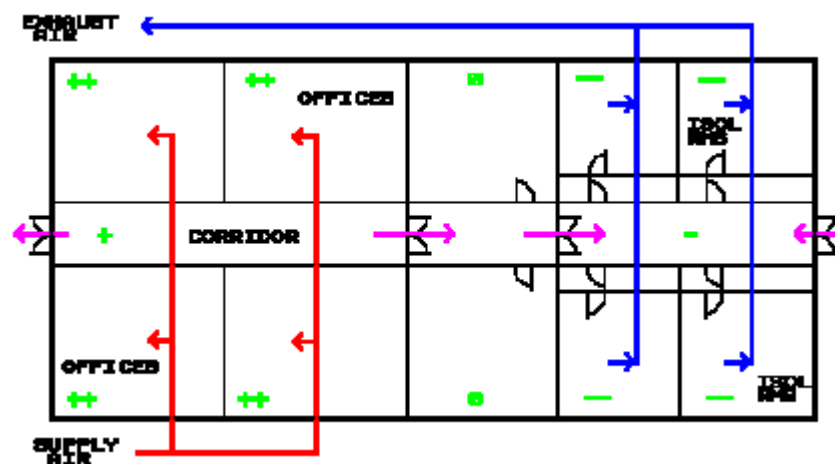
El principio básico de presurización para el control de contaminantes microbianos es establecer diferencias de presiones ambientales entre los ambientes de un servicio y las áreas circundantes, de tal manera que el aire suministrado se dirija desde las áreas de menos contaminación ( mayor limpieza) a las áreas que tengan un potencial de contaminación progresivamente mayor. En servicios que tratan enfermedades infecciosas de alto riesgo el aire extraído es filtrado con filtros HEPA y/o expuesto a UVGI antes de enviarlo al exterior.

El control de presión diferencial en ambientes hospitalarios brinda seguridad y protección a pacientes, personal médico y visitante evitando que agentes patógenos que puedan ocasionar infecciones y enfermedades se dispersen por todo el nosocomio. Existen dos alternativas en cuanto a la funcionalidad de los sistemas de presión diferencial, los ambientes de presión negativa y los ambientes de presión positiva.

Los ambientes sometidos a presión negativa se usan para alojar a pacientes con enfermedades altamente contagiosas tal como la tuberculosis (TB). La presión negativa impide que los microorganismos se diseminen en ambientes aledaños, disminuyendo el riesgo de contagio. Similarmente, los pacientes inmunodeprimidos (por ejemplo, pacientes enfermos de HIV), o que son muy vulnerables a enfermedades e infecciones (por ejemplo, pacientes con quemaduras graves de gran superficie), se ubican en ambientes de aislamiento sometidos a presión positiva de tal modo de mantener la contaminación fuera de esta área.

Los sistemas en los que se combina la presurización negativa en las áreas contaminadas con presurización positiva en las áreas limpias o protegidas, tienen el mayor grado de protección y control. La figura 14 ilustra el principio básico del flujo de aire en cascada desde las áreas limpias hacia las áreas de contaminación microbiana progresivamente mayor.

Figura 14: Flujo de aire en cascada.



Fuente: Valdez, Andrés. (2013). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CENTROS DE SALUD*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de Departamento de Electrónica Automática y Bioingeniería. <http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>

En la figura 14, puede observarse un servicio que tiene habitaciones de internación comunes y habitaciones de aislamiento, separados por los pasillos y otras dependencias. Se suministra aire a las áreas sometidas a mayor presión positiva (marcadas con ‘++’), y es extraído de las áreas sometidas a presión negativa (marcadas con ‘--’). Las flechas sobre el pasillo central indican la dirección del flujo de aire (ex filtración/infiltración) entre las distintas áreas. Este esquema representa un ala de un servicio de internación a doble circulación. Los diferenciales de presión se obtienen a partir de los diferentes balances entre el aire suministrado y el aire extraído para los distintos ambientes.

Algunos ejemplos de ambientes hospitalarios donde se debería aplicar control diferencial de presión son:

- Habitaciones de aislamiento
- Laboratorios hospitalarios de alto riesgo biológico
- Unidades de cuidado intensivo
- Quirófanos
- Habitaciones para pacientes trasplantados
- Servicios de esterilización

## **2.9 CARBÓN ACTIVADO:**

El carbón activado es un material poroso el cual está compuesto principalmente de carbono, pero dependiendo de su proceso de fabricación puede contener también  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,  $ZnCl_2$ , entre otros; que mejora sus propiedades de absorción y permite atrapar muchas más sustancias.

El carbón activado, es usado en muchas aplicaciones industriales, en especial para la remoción de olores y partículas que pueden estar presentes en muchos ambientes, gracias a su gran capacidad de absorción y retención, ya que este está compuesto por cientos de cavidades de unas cuantas micras de diámetro, que atrapan las partículas y las moléculas de las sustancias químicas que pueden estar presente en el fluido que pasa a través de él, y que por medio de esta circulación, van llenando estos espacios “vacíos” en el filtro.

El filtro de carbón activado consiste en un inmenso sistema de poros de tamaño molecular. Estos poros son altamente absorbentes, formando una fuerte atracción hacia los olores fuertes y contaminantes líquidos y gaseosos.

Figura 15. Ilustración de eliminación de químicos, gases, olores.



Fuente: El Purificador de Aire Surround Air Multi-Tech XJ-3000C. Página Web. Disponible [<http://www.globalhealingcenter.net/multi-tech-xj-3000c.html>]

Estos filtros de carbón activado se usan en mayor medida para la purificación de agua en sitios remotos, y también tiene aplicaciones médicas, siendo suministrado a pacientes que han ingerido sustancias químicas peligrosas o veneno.<sup>3</sup>

Los filtros de carbón activado, pueden ser fácilmente limpiados, extendiendo así su vida útil.

### 2.9.1 Aplicación del Carbón Activado

La aplicación de carbón activado constituye un tratamiento terciario y tiene por propósito obtener una calidad de efluente mejor que la conseguida en los tratamientos primarios y secundarios convencionales. Su aplicación se realiza en lechos empacados, tipo paredes, cargados con gránulos del material adsorbente (carbón activado) y se bombea, a través del filtro empacado, el fluido a tratar. A medida que el aire fluye a través de la pared, los químicos se adsorben a la superficie porosa de los gránulos. Cuando la superficie disponible del carbón activado se llena de químicos, se dice que el carbón está gastado. Este carbón gastado debe reemplazarse o limpiarse para permitir que el filtro se reutilice.

La limpieza del carbón gastado comprende el calentamiento del carbón y el bombeo de aire limpio a través del mismo. El calor suelta los químicos del carbón, y el aire los expulsa de la pared.

La tecnología de adsorción utilizando carbón activado es altamente eficiente, alcanzando remociones del orden de 95-99%. Además de que posee las siguientes ventajas:

- a. Especial para remoción de olores desagradables.
- b. Remueve plaguicidas y compuestos orgánicos volátiles.
- c. Gran capacidad de remoción.
- d. Económicos.
- e. Fáciles de operar y mantener.

<sup>3</sup> Tomado de: <http://www.aquayaire.com/ionizadores.htm>



- f. Es ampliamente usado.

Aunque su uso es común y son muy eficientes en cuanto a su operación, este tipo de sistema puede presentar los siguientes inconvenientes:

- a. Mantenimiento frecuente.
- b. Esta tecnología no destruye los contaminantes y eventualmente se requiere de otra tecnología que si lo haga.
- c. Generan residuos que deben ser dispuestos en vertederos controlados.

Para una correcta operación y aplicación de los filtros de carbón activado se debe tener en cuenta las siguientes condiciones, ya que estas pueden afectar el desempeño y la vida útil de los mismos:

**2.9.1.1**      Condiciones Operativas  
Tipo de Operación: Cíclica  
Selectividad: No es Selectiva  
Pre Tratamiento Filtración previa  
Consumo de Reactivos No usa

**2.9.1.2**      Parámetros de Operación  
Temperatura Ambiente: 2 – 40°C\*  
Caudal de Operación 1 a 20000 m<sup>3</sup> /día  
Vida Útil Carbón Activado 5 años

### **3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO PROPUESTO**

En áreas como hospitales, centros de atención este problema debe ser muy bien afrontado para evitar posibles contagios masivos de enfermedades que pueden ser transportadas en el aire, para esto se debe tener en cuenta las normas que rigen el sistema de climatización y purificación (calidad de aire) de hospitales o áreas limpias, donde se indica claramente el nivel de filtrado, las presiones adecuadas para cada sala.

Dentro de utilización de filtros para la mejora de la calidad de aire podemos mencionar que se debe conocer las caídas de presiones iniciales y finales de los mismos para tener un mayor control de la limpieza ya que mientras la caída de presión aumenta la acumulación de material tiene el mismo, y es una manera de controlar sus correcto funcionamiento y cambios adecuados: también debemos mencionar que los filtros de baja eficiencia (25% - 35%) no tienen un tiempo de vida largo, se debe establecer según el fabricante su tiempo de vida para el nuevo cambio. Los filtros de mayor eficiencia (60% - 85) tienen mayor tiempo de vida, además su mantenimiento es menos complicado.

El aire es un vehículo de transmisión de microorganismos. Los procedimientos utilizados para disponer de aire limpio son de capital importancia, sobre todo en áreas críticas que necesitan un ambiente bacteriológicamente limpio. El conocimiento de las características climáticas idóneas del centro sanitario es importante para evitar contaminaciones e infecciones nosocomiales.

La calidad y acondicionamiento de aire consiste básicamente, en el control de las condiciones ambientales en el interior de un espacio cerrado, referente a la temperatura, humedad, movimiento y limpieza de aire; para mantener unas condiciones ambientales idóneas dentro del recinto, el aire de climatización debe someterse a diferentes etapas de proceso antes de ser introducido en su interior.

La resolución que rige toda la implementación de este sistema de purificación y ventilación se encuentra establecida por el gobierno y es la resolución 4445 del 5 de julio de 1996. En donde se encuentran las disposiciones generales y los requisitos que deben cumplir los establecimientos y las entidades prestadoras de servicios de salud.

Los hospitales deben regirse bajo los parámetros más exigentes de filtración para que la calidad de aire sea la adecuada.

Basados en esta resolución y en los modelos que se encuentran en el mercado, se propone diseñar un purificador que cuente con los siguientes componentes:

### **3.1 FILTRO DE AIRE**

“Es un dispositivo que elimina partículas sólidas como por ejemplo polvo, polen y bacterias del aire. Hay cuatro tipos principales de materiales usados para los filtros de aire mecánicos: papel, espuma, fibras sintéticas y algodón. La eficacia de los filtros de aire en tales sistemas influye de forma significativa en la calidad del aire en el interior.

Dado que la eficacia desciende bajo un determinado nivel de suciedad, los filtros requieren mantenimiento.

El poliéster o la fibra de vidrio se usan frecuentemente para la fabricación de filtros de aires. Ambos materiales son adecuados para temperaturas de hasta 120°C, y su uso es común en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. El poliéster y la fibra de vidrio pueden mezclarse con algodón u otras fibras para producir un amplio espectro de características del material.

En algunos casos el polipropileno, de menor tolerancia a altas temperaturas, se usa para mejorar la resistencia química. Unas diminutas fibras sintéticas conocidas como microfibras se usan en muchos tipos de filtros del tipo High Efficiency Particulate Air, *HEPA* (al español, "Aire de Partículas de Alta Eficiencia").

#### **3.1.1 Contaminantes Aplicables**

Materia particulada sub-micrométrica (MP), de diámetro aerodinámico mayor o igual a 0.3 micras ( $\mu\text{m}$ ) y, MP de diámetro aerodinámico mayor o igual a 0.12 micras y que es químicamente, biológicamente o radioactivamente tóxica; contaminantes peligrosos del aire (CPA) que están en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (el mercurio es la excepción notable, ya que una porción importante de las emisiones son en forma de vapor elemental).

### **3.2 PURIFICADOR DE AIRE**

“Un purificador de aire es un dispositivo que elimina los elementos contaminantes, tóxicos, humos, partículas, presentes y/o suspendidos en el aire. Los purificadores

de aire para uso residencial se comercializan por ser particularmente beneficioso para asmáticos, alérgicos, personas con dermatitis atópica, sensibilidad química múltiple, encefalopatía miálgica, problemas cardiovasculares, etc.

Los purificadores de aire de calidad comercial se fabrican como una pequeña unidad autónoma, por lo tanto unidades más grandes se pueden colocar en una unidad controladora de aire (UCA) o a una unidad de aire acondicionado que se encuentra en las industrias médicas, comerciales e industriales. Es importante verificar que tenga el aval de alguna sociedad médica.”

Tomado de:

[H.M. Ang, M Tade, S Wang. (2007). "Volatile organic compounds in the indoor environment and photocatalytic oxidation: state of the art". Environmental International 33: 694-705.]  
[[http://www.epa.gov/iaq/pdfs/residential\\_air\\_cleaners.pdf](http://www.epa.gov/iaq/pdfs/residential_air_cleaners.pdf)] Consulta realizada: 6 abril de 2015

### **3.3 SELECCIÓN DE FILTROS**

La selección de los filtros es crítica ya que su objetivo principal es la remover microorganismos patógenos que son transportados por el aire como el hongo *Aspergillus* (2.5 – 3.0  $\mu\text{m}$ ), que tiene su origen en el polvo y suelo, especialmente cuando hay construcción o remodelación de hospitales ocasionando fatalidad en pacientes con leucemia, trasplantes de médula y otros inmunosuprimidos.

La filtración en hospitales cuenta con sistemas de filtración de 2 o 3 etapas, generalmente hay presencia de pre-filtros para capturar en la primera etapa las partículas más grandes y alargar la vida de los filtros finales (alta eficiencia) preservando además su integridad para partículas más pequeñas.

El estándar del ASHRAE provee los requerimientos mínimos de ventilación y filtración a los que los hospitales se deben regir.

#### **3.3.1 Filtro HEPA**

El uso de estas unidades es muy común en hospitales modernos para diluir y/o remover contaminantes por su eficiencia mínima de recolección, se utilizan en habitaciones en las que se requiere proteger al paciente (Protective Environment

Rooms, PE), tal es el caso de pacientes inmunosuprimidos o que acaban de recibir un trasplante.

Su principal objetivo es la eliminación de partículas submicrónicas como el virus de la rubéola, influenza o el sincitial respiratorio, que ocasionan la neumonía y es común en los pabellones pediátricos.

Cuenta con unos separados de resina termoplástica en su interior, que sustituya los separadores de aluminio tradicionales en los filtros de alta eficiencia. Su resistencia al flujo de aire es mínima, por lo que se crea un tamiz muy pequeño que permite capturar partículas diminutas. Una vez que las partículas contaminantes han atravesado el filtro, no pueden reintegrarse al aire debido a sus poros altamente absorbentes. Filtros ULPA, bloquea al menos 99.99% de las partículas de polvo, polen, moho, hongos, bacterias o cualquier otra partícula aérea; para la remoción de MP de diámetro de 0.12  $\mu\text{m}$  o mayor. Al igual que los filtros HEPA, atrapa las partículas diminutas impidiendo la reincorporación a la corriente de aire, con una eficiencia mínima de 99.97% en la remoción de partículas de MP de diámetro de 0.3  $\mu\text{m}$  micrones o mayor.

### 3.3.2 Capacidad de flujo de Aire

Los filtros HEPA están actualmente limitados a aplicaciones con baja capacidad de flujo de aire. Es una función de la resistencia o caída de presión a través del filtro y de la carga de partículas. A medida que se forma la plasta de polvo en el filtro, aumenta la resistencia y por lo tanto, disminuye el flujo de aire. Puesto que el filtro no se limpia, la velocidad de flujo de aire continúa disminuyendo a medida que opera el sistema.

Después que la caída de presión a través del filtro alcanza un punto tal que previene un flujo adecuado de aire, el filtro debe ser reemplazado y enviado a disposición. Por estas razones, los filtros HEP son utilizados en aplicaciones que tienen bajas velocidades de flujo de aire o bajas concentraciones de MP.

### 3.3.3 Temperatura

Las temperaturas están limitadas por el tipo de medio filtrante y por el sellador utilizado en los paquetes de filtros. Pueden manejar los cartuchos estándar temperaturas del gas hasta de aproximadamente 93°C (200°F). Con material sellador y con medio filtrante apropiados, los filtros HEPA comerciales pueden aceptar temperaturas hasta de 200°C (400°F). Los filtros HEPA con sellos

mecánicos vidriados o de cerámica, pueden aceptar temperaturas hasta de 537°C (1000°F).

Para bajar la temperatura de la corriente del contaminante, puede emplearse enfriamiento por aspersión o dilución con aire. Esto evita que se excedan los límites de temperatura del filtro. Al bajar la temperatura, sin embargo, aumenta la humedad de la corriente del contaminante. Los filtros HEPA pueden tolerar algo de humedad.<sup>4</sup>

### 3.3.4 Esterilización UV

“El aire que respiramos debe ser perfectamente purificado, para esto, el aire debe pasar por un complicado proceso de depuración, que a su vez tienen muchas etapas.

En el aire, generalmente se encuentran virus, bacterias, esporas, protozoos y mohos que causan diversas enfermedades, es por eso que los sistemas de purificación de aire están en constante desarrollo para proporcionar a las personas aire de alta calidad que no causen ningún problema a su salud.

La desinfección de fluidos mediante uso de luz ultravioleta tiene muchas ventajas, ya que no deja residuos y tampoco altera su composición o propiedades como hacen otros tratamientos de carácter químico.

La aplicación más común consiste en la colocación de un filtro UV en un tramo del conducto por donde circula el fluido. Al tratarse de una parte del proceso tampoco se invierte tiempo extra en tratamientos especiales ni pasos intermedios.

Estos filtros UV interceptan e inoculan los gérmenes a su paso por la luz ultravioleta; además la radiación UV destruye virus y protozoos inhabilitando su expansión y contaminación.”<sup>5</sup>

- Hockberger, P. E. (2002). «A history of ultraviolet photobiology for humans, animals and microorganisms». *Photochem. Photobiol.* **76**. 561-579. Consulta realizada 15 de marzo de 2015 [[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve%5C&db=pubmed%5C&do pt=Abstract%5C&list\\_uids=12511035](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve%5C&db=pubmed%5C&do pt=Abstract%5C&list_uids=12511035)] Consulta realizada 15 de marzo de 2015

---

<sup>4</sup> Fuente: <http://www.best-aqua.com/best-aqua.php?id=125>

<sup>5</sup> CPL Carbon Link. «Properties of Activated Carbon [<http://www.activated-carbon.com/>]

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) [\[http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/radiacion\]](http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/radiacion) Consulta realizada 15 de marzo de 2015
- Organización Mundial de la Salud (2003) [\[http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf\]](http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf) Consulta realizada 15 de marzo de 2015
- Pickrell, John. *National Geographic News*, 8 de julio de 2003. Consultado el 16 de abril de 2012 (en inglés). [\[http://news.nationalgeographic.com/news/2003/07/0708\\_030708\\_ultravioletmammals.html\]](http://news.nationalgeographic.com/news/2003/07/0708_030708_ultravioletmammals.html) Consulta realizada 15 de marzo de 2015

### 3.3.5 Carbón Activado

“El carbón activado es un derivado del carbón que ha sido tratado de manera de convertirlo en un material extremadamente poroso y por lo tanto posee un área superficial muy alta que torna muy eficiente los fenómenos de adsorción y de reacciones químicas.

Es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos (poros menores que 2 nanómetros). A causa de su alta microporosidad, un solo gramo de carbón activado posee un área superficial de aproximadamente unos 500 m<sup>2</sup>.

El carbón activado se utiliza en la extracción de metales (v. gr. oro), la purificación del agua y del aire (tanto para la potabilización a nivel público como doméstico), en medicina, para el tratamiento de aguas residuales, clarificación de jarabe de azúcar, purificación de glicerina, en máscaras antigás, en filtros de purificación y en controladores de emisiones de automóviles, entre otros muchos usos.”<sup>6</sup>

## 3.4 ESTADO DEL ARTE FILTROS PURIFICADORES DE AIRE EN HOSPITALES

Etelta Group S. de R.L. con sede en el País de Panamá ofrece varios tipos de filtros purificadores de aire para hospitales, los cuales ofrecen una calidad de aire puro en el mercado actual.

---

<sup>6</sup> Tomado de: CPL Carbón Link. «*Properties of Activated Carbon* [\[http://www.activated-carbon.com/\]](http://www.activated-carbon.com/) Consulta realizada 16 de marzo de 2015

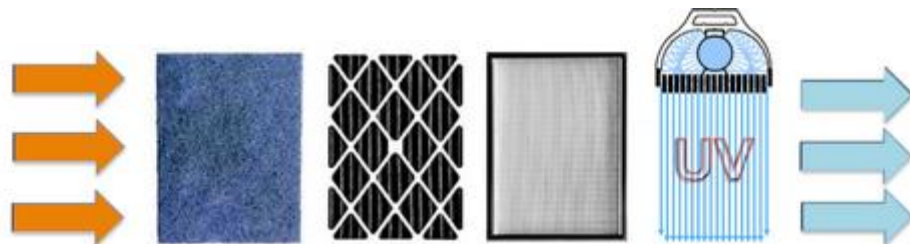
Los purificadores de Aire M3viles con filtros de HEPA y de carbono funcionan, filtrando continuamente a trav3s de un conjunto de filtros, aislando y reteniendo part3culas da1inas, transportadas por el aire, dentro de a3reas de trabajo de personal m3dico y de a3reas de pacientes. Las salidas de Purificadores de Aire M3viles tienen conectores redondos est3ndar. Esto permite conectar los purificadores de aire a bombas de casi todos los tama1os, asimismo, como permite ponerla de pie, o recircular.

Figura 16. Purificadores de aire m3viles para hospitales.



Fuente: Purificadores de aire m3viles para hospitales. P3gina Web. Disponible [<http://www.etelta.com/hospitales.html>]

Figura 17. Etapas del filtrado del aire.



Fuente: Purificadores de aire m3viles para hospitales. P3gina Web. Disponible [<http://www.etelta.com/hospitales.html>]

### 3.4.1 ¿C3mo trabajan cada uno de los filtros?

**Etapa 1:** Filtro de **part3culas grandes** (Tela) El aire entra primero por el pre-filtro, capturando las part3culas grandes, lo cual aumenta la durabilidad y el desempe1o de los otros filtros.



**Etapa 2: Filtro de Carbón Activado** (Absorbe humedad y sustancias tóxicas) El mejor tipo de filtro de aire para atrapar químicos, gases, olores y humo de cigarro. De acuerdo a las investigaciones del Departamento de Aerobiología del Estado de Pensilvania (*Penn State Dep. of Aerobiological*), los filtros de carbón sirven para remover olores, componentes orgánicos volátiles (VOCs) y químicos, que otros filtros no pueden.

**Etapa 3: Filtro de Ultravioleta (UV)** Para la descontaminación y eliminación de virus y bacterias. La manera más efectiva para destruir micro-organismos, tales como gérmenes, virus, hongos (como moho) y bacterias. También destruye micro-organismos incluyendo aquellos que son atrapados por el filtro de aire HEPA, previniendo su reproducción y recirculación a través de la habitación. Las lámparas UV son recomendadas por los centro de control de enfermedades de los E.U.A (*U.S Centers of Disease Control*)

**Etapa 4: Filtro HEPA** de Alta eficiencia. El tipo de filtro de aire más efectivo para capturar polvo, alérgenos y otras partículas sólidas (incluyendo bacterias). Los filtros HEPA son recomendados por el Departamento Seguridad de la Nación de los E.U.A. (*U.S Department of Homeland Security*)

Según una estadística oficial, hay una alta cantidad de personas que fallece durante su estancia en establecimientos médicos alrededor del mundo, a causa de infecciones, recibidas durante el tratamiento

Es imposible, proporcionar un nivel alto de ayuda médica, en el caso de surgimiento de una infección inter-hospital y en los casos de un medio ambiente desfavorable del hospital.

La falta del equipamiento, que garantiza un nivel alto de purificación de aire en establecimientos médicos, lleva el aumento de la mortalidad y el aumento de plazos de hospitalización de los pacientes.

El problema de difusión de infecciones inter-hospitales y protección de pacientes y del personal contra la contaminación química y mecánica, puede resolverse tan sólo con sistemas complejos de purificación, desinfección y descontaminación del aire.

La contaminación del aire se debe a la presencia de partículas suspendidas en la mezcla de gases en la atmósfera, resultante de procesos naturales o de actividad humana y presentes en concentración adecuada, por un tiempo suficiente y bajo

condiciones que pueden generar impactos tanto en la salud humana como en el medio ambiente.

En el área de urgencias del Hospital Universitario San Jorge de la Ciudad de Pereira, esta contaminación es considerada un problema importante de salud pública. Tiene sus causas, principalmente, en el alto flujo vehicular a su alrededor y en que dentro de su entorno no se encuentra implementado un adecuado manejo de circulación de aire.

Los grupos humanos de alto riesgo incluyen los niños, personas con enfermedades crónicas, mujeres embarazadas, adulto mayor y población que pueden adquirir cualquier bacteria mientras estén en el área de espera del hospital.

Se ha prestado gran atención a los efectos adversos de la contaminación atmosférica sobre la salud humana, especialmente al incremento de la morbimortalidad de patologías respiratorias y cardiovasculares y en menor medida en la enfermedad cerebrovascular. Los cálculos basados en análisis de la carga de la enfermedad, sugieren que aproximadamente la cuarta parte de la carga mundial de morbilidad y concretamente, más de un tercio de la carga de morbilidad infantil son consecuencia de factores ambientales modificables.

Según estudio de la Organización Mundial de la Salud, sobre ambientes saludables y prevención de enfermedades, la población infantil es la más afectada por las enfermedades provocadas por factores ambientales; las cuales cobran cada año la vida de más de cuatro millones de niños, principalmente en los países en desarrollo.

Así mismo, la tasa de mortalidad de recién nacidos por causa de estos factores es 12 veces mayor en los países en desarrollo que en los países desarrollados, de lo que se desprende que es posible mejorar la salud humana si se promueven los ambientes saludables.

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire, está el Material Particulado (PM). Los estudios científicos han vinculado las partículas, especialmente las partículas finas (solas o en combinación con otros contaminantes del aire), con una serie de problemas de salud significativos que incluyen: exacerbaciones de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, incremento en el número de consultas e ingresos hospitalarios, disminución de la

función pulmonar, aumento en el uso de medicamentos, agudización del asma bronquial, aumento de la morbilidad y la mortalidad por Enfermedad Respiratoria Aguda.

Los efectos dependen por una parte de la concentración y la duración de la exposición y por otra, de la susceptibilidad de las personas expuestas.

El Índice de Calidad del Aire, (Air Quality Index, AQI), es una escala para reportar los niveles de contaminantes comunes en el aire. Mientras mayor sea el valor del AQI, mayor deberá ser la preocupación por la salud. Tal como se muestra en la figura anterior, la escala de AQI se ha dividido en categorías que corresponden a diferentes niveles de riesgo para la salud.

Figura 18. Clasificación de riesgo por exposición a contaminantes atmosféricos según índice de calidad del aire y recomendaciones en salud.

Valor del Indicador de calidad de aire (PM <sub>10</sub> ) (µg/m <sup>3</sup> )	Efectos en salud	Recomendaciones
0-50, Bueno	Pese a que los niveles de contaminación están por debajo de la norma de calidad del aire, cualquier concentración de contaminantes podría presentar efectos en salud como el mínimo de inicio de síntomas o molestias asociadas al sistema respiratorio tales como irritación de mucosas en grupos sensibles y en algunas personas sanas.	Prestar atención a la presencia de los mínimos síntomas asociados al sistema respiratorio que puedan presentarse en las personas. Sin embargo dentro de esta categoría toda la población podrá realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.
51-100, Moderado	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como (irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos) en personas sensibles y con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En cuanto a las personas sanas podría presentarse irritación de mucosas.	Personas extremadamente sensibles como niños con síntomas compatibles con asma y adultos mayores de 60 años con enfermedad cardio-cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Se recomienda en el horario de las 10 am a 5 pm realizar actividad física fuerte o prolongada realizar ventilación de la vivienda. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
101 – 150, Insalubre para grupos sensibles	Personas de los grupos sensibles pueden presentar enfermedades respiratorias y cardiovasculares o complicación de las mismas. En cuanto a las personas sanas se podría presentar un incremento de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como (irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos).	Personas con enfermedad cardíaca o respiratoria ya mencionadas, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar la actividad física fuerte o prolongada en ningún horario. Se recomienda en el horario de las 10 am a 5 pm realizar actividad física fuerte o prolongada. Si desea realizar actividad física es conveniente realizarla en espacios cerrados y no por mucho tiempo. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
151- 200, Insalubre	Complicación de enfermedades en las personas de los grupos sensibles. En las personas sanas se da el inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	Personas con enfermedad cardiovascular o respiratoria, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar la actividad física fuerte o prolongada. Los demás grupos poblacionales deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria.
201- 300, Insalubre para toda la población	La población sensible presenta efectos severos y la población en general padece de mayor número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	Personas con enfermedad cardíaca o respiratoria, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás población debe evitar la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria.
301 – 500, Peligroso	Continua la activación de la alerta epidemiológica pues la población en general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular.	Efectos severos en toda la población. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria restringiendo la salida al aire libre de toda la población, en caso de salir al aire libre se recomienda el uso de tapabocas.

FUENTE: Agencia de Protección del Medio Ambiente EPA, adaptado por la Secretaría Distrital de Salud Bogotá

Fuente: Boletín epidemiológico mensual de la relación entre calidad del aire y salud "Fontibón respira" Boletín N°84. Agosto de 2013, semanas epidemiológicas 31 a 35. Página 12. Página web. Disponible.

[\[http://www.hospitalfontibon.gov.co/files/BOLET%20EPIDEMIOL%20GICO%20CALIDAD%20DEL%20AIRE%20Y%20SALUD%20AGOSTO%202013.pdf\]](http://www.hospitalfontibon.gov.co/files/BOLET%20EPIDEMIOL%20GICO%20CALIDAD%20DEL%20AIRE%20Y%20SALUD%20AGOSTO%202013.pdf)

Se ha asignado un color específico a cada categoría de AQI, lo cual ayuda a determinar si los contaminantes del aire están alcanzando niveles dañinos para la salud en la localidad.

## 4. DISEÑO FÍSICO, ETAPAS DE FILTRADO

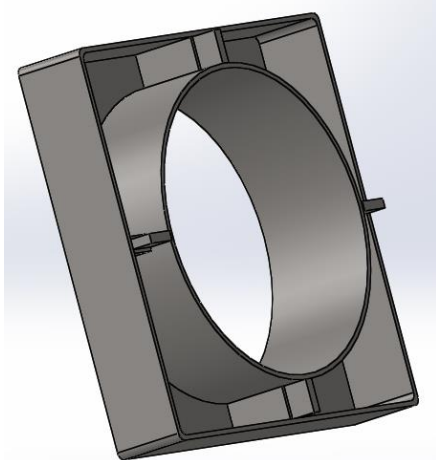
El purificador de aire está compuesto de los siguientes elementos físicos, los cuales conforman su estructura y dan soporte a los filtros.

### 4.1 CARCAZA

**Material:** Acero Inoxidable AISI 316.

**Espesor Lamina:** ¼" (6,35mm).

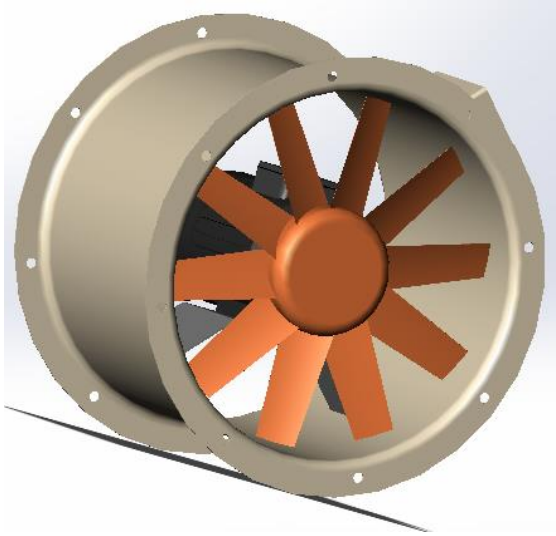
Figura 19. Carcaza del diseño.



**4.2 VENTILADOR Y MOTOR:** El motor con el que se trabajará en el diseño cumple con las siguientes características técnicas:

<b>Modelo:</b>	HCH	HCT	40-2T-1.5
<b>HCH</b>	(Ventiladores helicoidales murales de gran robustez)		
<b>HCT</b>	(Ventiladores helicoidales tubulares de gran robustez)		
<b>40</b>	(Diámetro hélice en cm)		
<b>2T</b>	(Número de polos motor $2=2860$ r/min. 50Hz,)		
<b>1.5</b>	(Potencia motor CV)		
<b>Intensidad (corriente) máxima admisible (A):</b>	24 V: 2,20 A		
<b>Potencia instalada (kW):</b>	10,1		
<b>Caudal máximo:</b>	8800 m <sup>3</sup> /h		
<b>Nivel presión sonora dB(A):</b>	84dB		
<b>Peso aproximado (Kg):</b>	HCT 25 - HCH 17		

Figura 20. Ventilador y Motor.



### 4.3 FILTROS:

#### 4.3.1 Filtro de Carbono Activado

Filtro de Carbón Activado a base de grafito, de alta eficiencia, para la retención de olores y disminución de la humedad relativa. Ubicado después del primer filtro HEPA.

**Diámetro:** 20''

**Distancia entre rejillas:** 5x5 mm

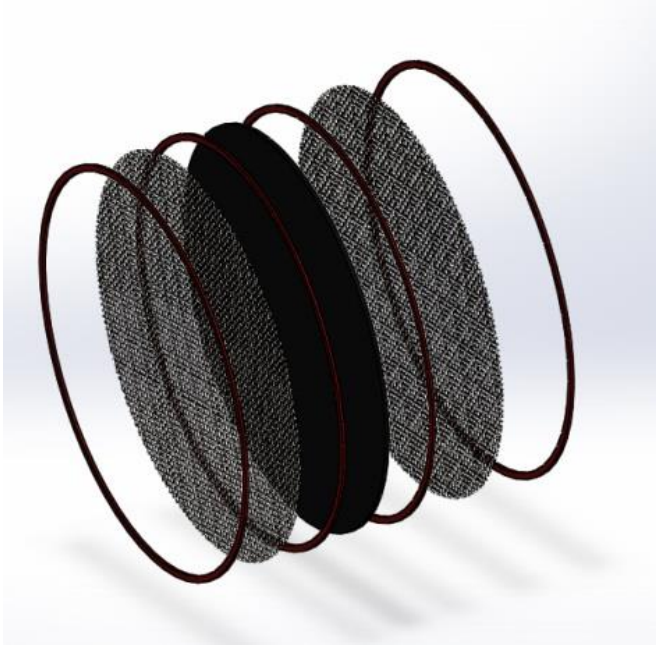
**Espesor lámina del filtro:** 4mm

**Espesor con rejillas:** 12 mm

**Área:** 0.1284443 m<sup>2</sup>

**Material:** Algodón de alta densidad, impregnado con carbón granular activado.

Figura 21. Ensamble diseño filtro de Carbón Activado.



#### 4.3.2 Filtros HEPA

2 Filtros HEPA uno ubicado al inicio del proceso purificador y el otro al final. El filtro HEPA de alta eficiencia con separadores de aluminio diseñados para aplicaciones donde la velocidad aumentada del aire esté presente y se requieren caídas de temperatura más bajas. Con un prototipo de diseño para medios que requieran 95% de eficiencia mínima en partículas en micrones de 0.3, 99.97% de eficiencia en micrones de 0.3, 99.99% de eficiencia en micrones de 0.3. La configuración con los bordes radiales promueven la exposición máxima del área de la superficie del medio filtrante al flujo de aire.

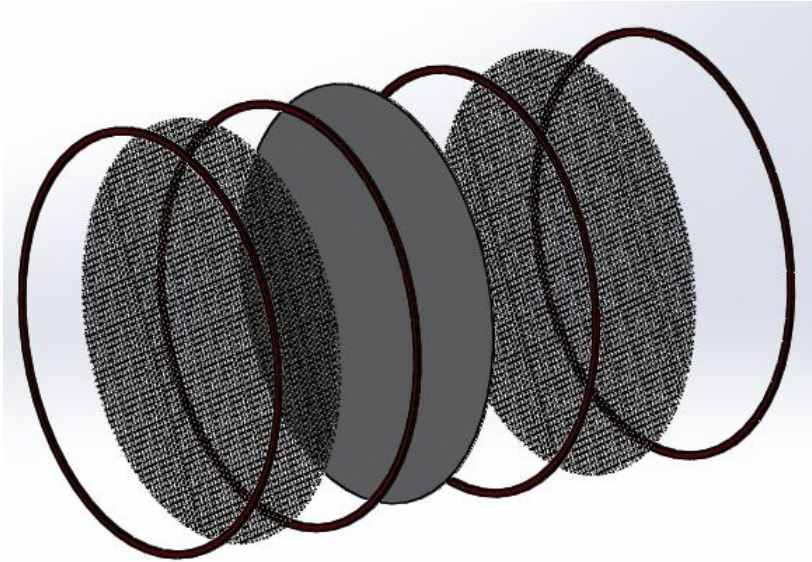
**Diámetro:** 20"

**Diámetros de los orificios del filtro:** 0.5 - 0.2  $\mu\text{m}$

**Área:** 0.1284443 m<sup>2</sup>

**Material:** Lámina continua de fibra de vidrio no combustible y a prueba de agua. Soporte de los pliegues: Plisados alrededor de separadores de aluminio con bordes radiales.

Figura 22. Diseño filtro HEPA.



4.3.3 **Filtro UV:** Antepenúltimo filtro del proceso con función. La luz UV que posee este filtro previene que los gérmenes se propaguen destruyendo su material genético. Debido a que los gérmenes no pueden pasar su ADN, no pueden multiplicarse y propagar su infección. Cuando los gérmenes intentan dividirse y multiplicarse, se deterioran.

**Largo de la lámpara:** 210mm

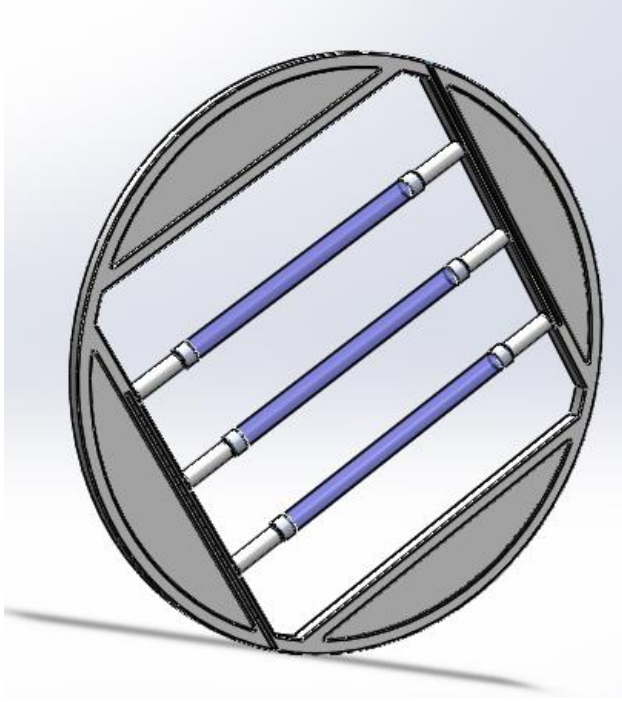
**Diámetro de la lámpara:** 15mm

**Longitudes de onda de la Luz UV:** 100 – 280 nm.

**Características de la Lámparas:** Es una lámpara estándar UV de baja presión de mercurio ofrecen el más alto rendimiento con un 40% de energía eléctrica. Softglass lámparas tienen una eficacia germicida del 30% puede operar en la parte baja de corriente (entre 180 -425mA).



Figura 23. Diseño filtro con Luz UV.



**Soporte de lámpara:**

**Material:** Polietileno, blanco reflectante para que la mayor cantidad de luz se refleje y abarque toda la superficie.

**Medida por cada lado:** 512mm

**Ancho:** 120mm

**4.4 Bloque de Purificación**

**Largo:** 600mm

**Ancho:** 517,1mm

Figura 24. Diseño Bloque contenedor filtros.

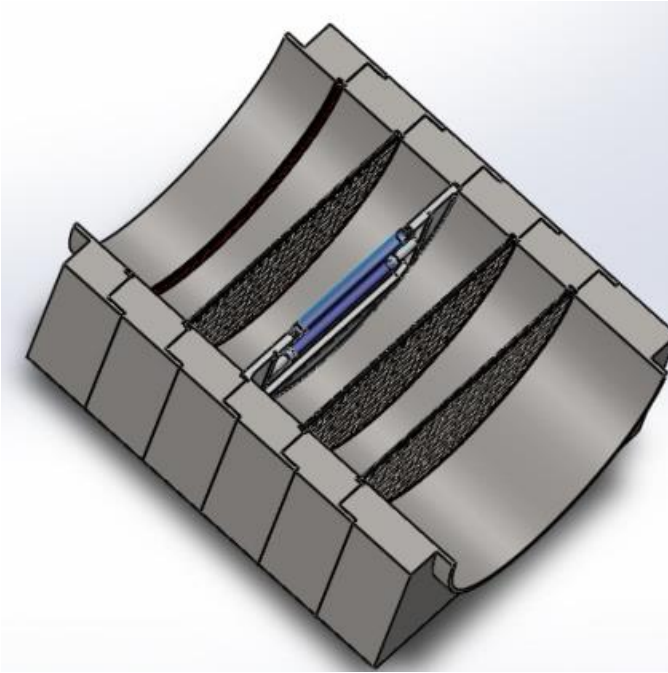
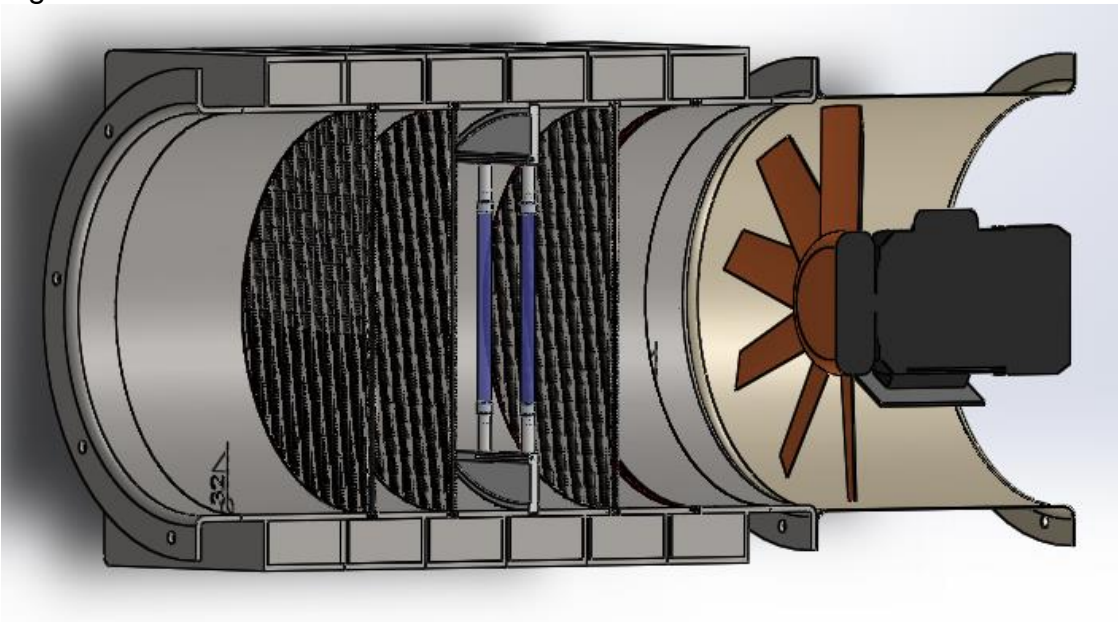


Figura 25. Ensamble total.



## 5. DISEÑO MECATRÓNICO

### 5.1 SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control, son la unificación de diversos dispositivos electrónicos, que por medio de un software determinado, buscan llevar a los sistemas físicos al estado que se desea; esto gracias a los cambios de estado que pueden ejercer sobre el sistema físico.

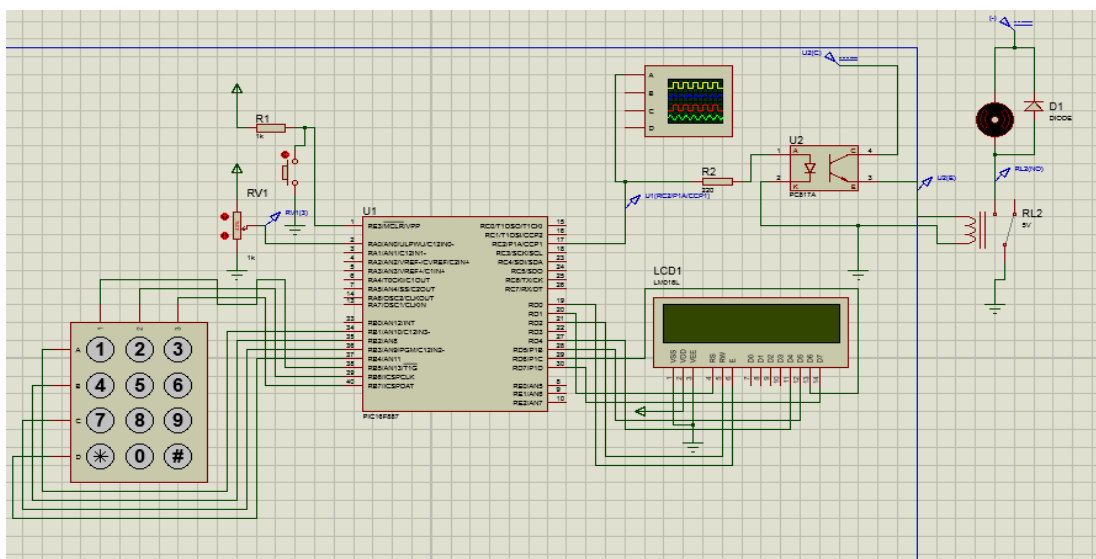
Hoy en día son numerosas las aplicaciones en las que para controlar un sistema físico determinado se hace uso de un computador. El computador como elemento general de procesamiento permite controlar un proceso (continuo o discreto) en función de un conjunto de especificaciones y de requerimientos.

Para este caso, se ha determinado la aplicación de un sistema de control por medio de un microcontrolador PIC16F887, el cual será encargado de realizar los cálculos para la etapa de control del sistema y ejercerá los cambios sobre la planta o sistema físico.

### 5.2 DISEÑO ETAPA DE CONTROL

El diseño del purificador de Aire para el área de urgencias del hospital contará con un control de velocidad de motor DC.

Figura 26. Esquema en proteus.

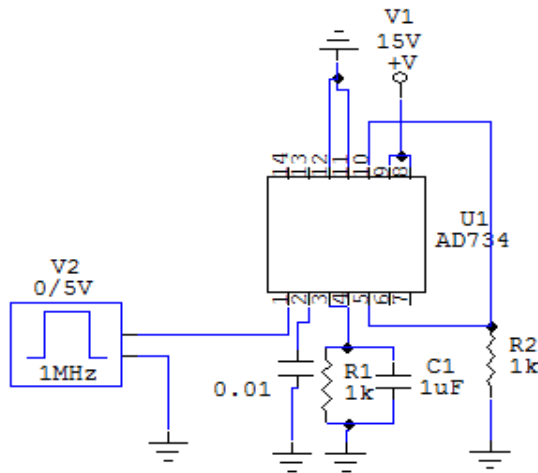


Se diseña y se construye el control de velocidad para un motor DC, utilizando un sistema análogo existente que consta de un sensor emisor "LED IR" receptor "fototransistor" configurados como barrera de reflexión, es decir, que el rayo IR va a ser enviado por el emisor y reflejado en una superficie, para posteriormente ser recibido por el receptor.

Evidentemente la frecuencia de la onda depende de la velocidad de giro del motor. La primera parte del circuito, desde el LED IR y el FTR, que respectivamente son el sensor E-R y el acoplamiento de la señal, sirven para acondicionar la señal que va a ser interpretada por el LM2907, como frecuencia variable, para convertirla a voltaje variable.

La señal de voltaje que sale del integrado LM2907 es la que lee el puerto análogo digital del microcontrolador (pin 2), esta señal posteriormente es la que se muestrea en el proceso interno del microcontrolador. Por medio del módulo CCP del microcontrolador se genera la señal de PWM que controla el motor, variando su "duty" con el valor que lea en el puerto análogo (pin 2). Así se retroalimenta el sistema y se calcula el error para que el sistema se estabilice.

Figura 27. Circuito LM2907.



### 5.2.1 Variables

La variable que se va a medir es la velocidad del motor, la cual se hace a través de un "ENCODER" en su eje. En este caso, se realizaron 8 perforaciones distribuidas proporcionalmente en el disco que está acoplado al eje del motor.

## 5.2.2 Modelamiento del sistema

Con ayuda de MATLAB se modeló la planta y el controlador en tiempo discreto. Se puede encontrar la función de transferencia de la planta y el controlador analógicos en la figura 29, en la figura 30 ya se han discretizado ambos y en la figura 28 se muestra el lazo abierto y el lazo cerrado del sistema con retroalimentación de valor 1. El código en el editor se configura para observar la respuesta del sistema a un STEP y un IMPULSE:

Figura 28. Programa en Matlab para caracterización de planta.

```
disp 'Análogo'
disp '-----'
disp '-----'
disp 'Funcion de Transferencia planta S'
Ts=0.04302
Gps=tf([1.58],[1 0.00236])
disp 'Funcion de transferencia controlador S'
Kp=3.45;
Ki=15;
Gcs=tf([Kp Ki],[1 0])
disp '-----'
disp '-----'
disp 'Discretizado'
disp 'Funcion de Transferencia planta discretizada'
Gpz=c2d(Gps,Ts)
disp 'Funcion de Transferencia del controlador discretizado'
Gcz=tf([3.7726 -3.1274],[1 -1],Ts)
disp 'Lazo abierto'
lazoabierto=series(Gpz,Gcz)
disp 'Lazo cerrado'
lazocerrado=feedback(lazoabierto,1)
figure(1)
impulse(10*lazocerrado)
title('Respuesta del sistema a un impulso')
figure(2)
step(10*lazocerrado)
title('Respuesta del sistema a un step')
```

---

Figura 29. Función de transferencia análoga de la planta.

```
Análogo
-----
-----
Funcion de Transferencia planta S

Ts =

    0.0430

Transfer function:
    1.58
-----
s + 0.00236

Funcion de transferencia controlador S

Transfer function:
    3.45 s + 15
-----
s
```

Figura 30. Función de transferencia discretizada.

```
Discretizado
Funcion de Transferencia planta discretizada

Transfer function:
    0.06797
-----
z - 0.9999

Sampling time: 0.04302
Funcion de Transferencia del controlador discretizado

Transfer function:
    3.773 z - 3.127
-----
z - 1
```

Figura 31. Función de transferencia discretizada en lazo abierto y con retroalimentación 1.

```
Lazo abierto

Transfer function:
 0.2564 z - 0.2126
-----
z^2 - 2 z + 0.9999

Sampling time: 0.04302
Lazo cerrado

Transfer function:
 0.2564 z - 0.2126
-----
z^2 - 1.743 z + 0.7873

Sampling time: 0.04302
```

Figura 32. Respuesta del sistema a un impulso.

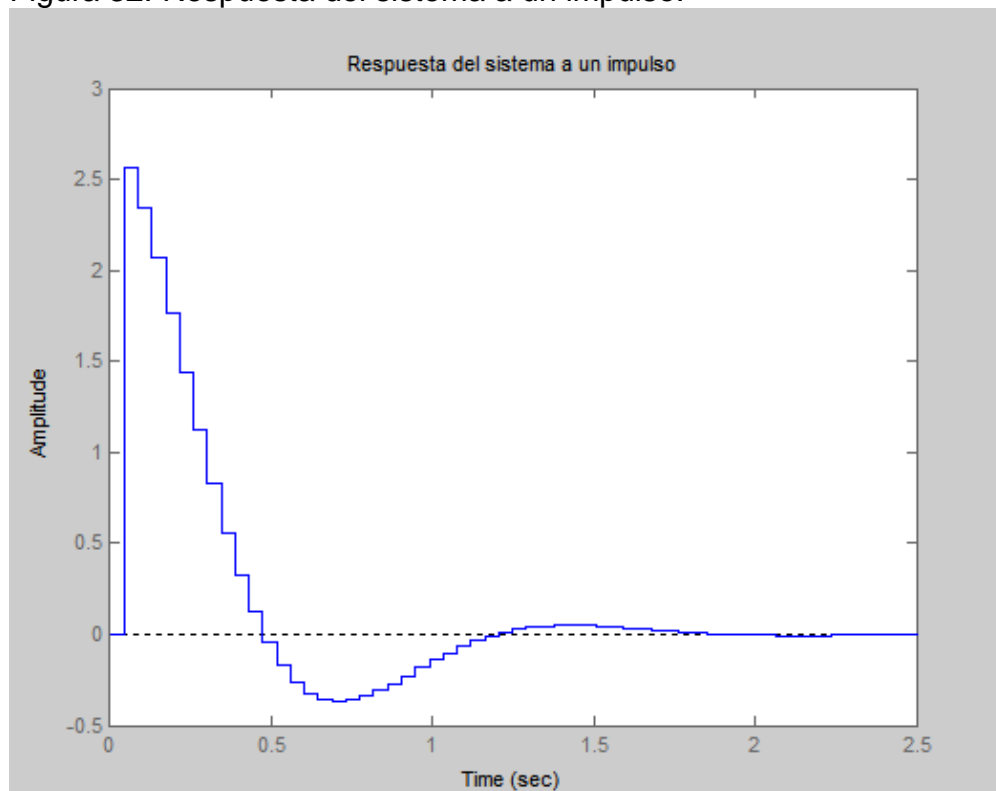
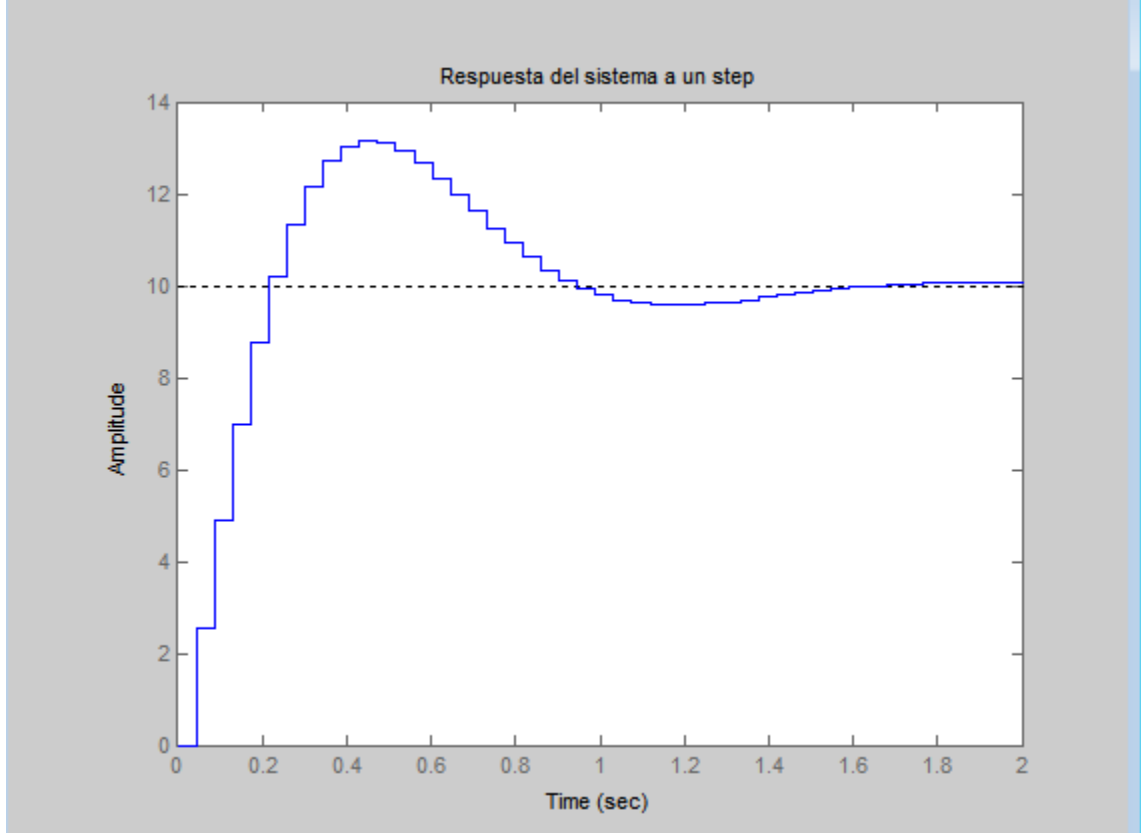


Figura 33. Respuesta del sistema a un step.



Como se puede apreciar en las figuras, el sistema tiende a volverse estable en aproximadamente 1 segundo a partir de que se realiza el cambio de estado en el sistema.

El modelamiento se realizó con una planta hipotética, estos valores deben ajustarse a la planta real al momento de implementar el sistema de control.

### 5.3 CIRCUITO DE POTENCIA PARA EL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

La etapa de potencia se hace a través de una opto-acoplador PC817, el cual está conectado a un relé que conmuta a 5 V, pero que cuenta con una resistencia entre los contactos de hasta 120 VDC, este arreglo de opto-acoplador y relé aísla galvánicamente el circuito de control y lo protege contra sobrecargas. Su funcionamiento es parecido al de un relé de estado sólido.



Tabla 2. Características del Opto-Acoplador.

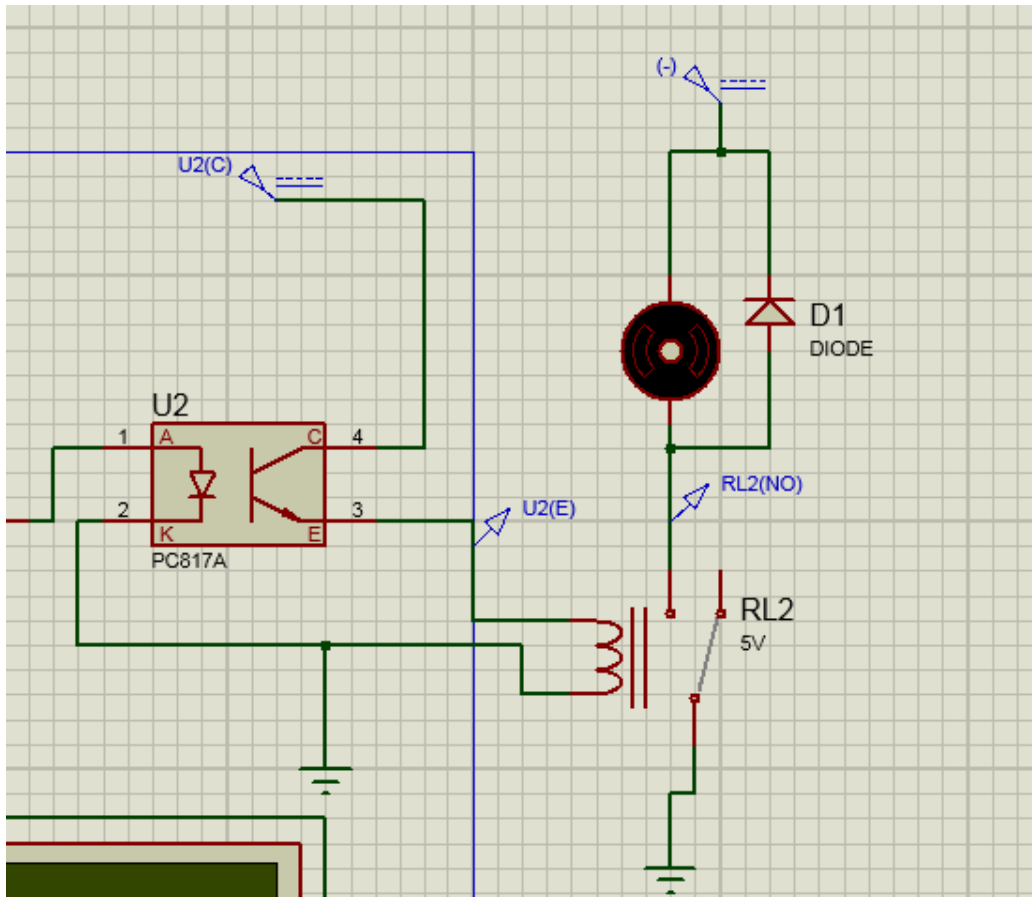
Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	*1 Forward current	$I_F$	50	mA
	*2 Peak forward current	$I_{FM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	*1 Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	6	V
	Collector current	$I_c$	50	mA
	*1 Collector power dissipation	$P_c$	150	mW
*1 Total power dissipation		$P_{tot}$	200	mW
*3 Isolation voltage		$V_{iso}$	5	kVrms
Operating temperature		$T_{opr}$	-30 to +100	°C
Storage temperature		$T_{stg}$	-55 to +125	°C
*4 Soldering temperature		$T_{sol}$	260	°C

Fuente: GROUP SHARP CORPORATION (1995). DATASHEET INTEGRADO PC817. Página 4. Página web. Disponible.

<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/Sharp/mXtwxrt.pdf>

El circuito de potencia se encarga de energizar el motor DC, y así generar que el ventilador se encuentre girando a la velocidad indicada por el usuario. Este sistema de potencia se puede adaptar para que su funcionamiento sea con un motor AC, sea monofásico o trifásico, con solo cambiar el relé.

Figura 34. Diagrama electrónico del circuito de potencia.



## 6. ENSAMBLAJE DEL DISEÑO

### 6.1 FILTROS Y SU POSICIÓN

El diseño cuenta con unas determinadas posiciones de sus filtros, se ubicó en primer lugar el Filtros HEPA proporcionando que éste atrape partículas grandes, su diseño con pliegues permite también la eliminación de partículas grandes que se encuentren en la atmosfera; siguiendo el recorrido el aire llega al segundo filtro: Carbón Activado cuyo objetivo es la destrucción y reducción de olores y humedad que a veces se encuentra en el ambiente. Continuando el recorrido pasará al tercer Filtro: Luz Ultravioleta al llegar a esta etapa del proceso la calidad del aire será mayor y éste se encargará de la destrucción de virus, bacterias y microorganismos suspendidos en el aire. Pasa a la última etapa de filtración del diseño ya con una calidad de aire libre de toda clase de partículas perjudiciales para la salud, pasa terminando el proceso por un filtro HEPA que se decidió poner al final garantizando así un aire con una purificación del 99.97%

#### 6.1.1 Primer Filtro HEPA

Este filtro característico en el sistema de purificación de aires, se ubicó en el primer lugar basándonos en la teoría: “El segundo nivel en la Jerarquía de Control de Infecciones es el uso de controles ambientales para prevenir la diseminación y reducir la concentración de gotitas infecciosas en el aire”. Debido a su eficacia de retiro mínimo de 99.97% de partículas en diámetro igual a 0.3  $\mu\text{m}$ . La principal característica de estos filtros HEPA es que pueden ser utilizados para limpiar el aire antes de que sea:

1. Extraído al exterior
2. Recirculados a otras áreas de las instalaciones de una institución hospitalaria.
3. Recirculados en un cuarto de aislamiento.

Este método de purificación del aire se considera un apoyo a otras medidas de ventilación

#### 6.1.2 Segundo Filtro Carbón Activado

El material de este filtro es carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado.

Los compuestos orgánicos se derivan del metabolismo de los seres vivos, y su estructura básica consiste en cadenas de átomos de carbono e hidrógeno. Entre ellos se encuentran todos los derivados del mundo vegetal y animal, incluyendo el petróleo y algunos compuestos que se obtienen de él (Derivados del Petróleo).

A la propiedad que tiene un sólido de adherir a sus paredes una molécula que fluye, se le llama “adsorción”. Al sólido se le llama “adsorbente” y a la molécula, “adsorbato”.

### 6.1.3 Tercer Filtro Luz UV

Estudios han demostrado que la luz UV es eficiente en eliminar o inactivar eficientemente las bacterias o virus en condiciones experimentales y en reducir la transmisión de las infecciones en hospitales, dormitorios militares y salones de clases.

Debido a los resultados de múltiples estudios y de la experiencia de los clínicos durante las décadas pasadas, UV se recomienda como suplemento o junto con otras medidas de control de infección y medidas de ventilación.

### 6.1.4 Cuarto Filtro HEPA

Este filtro se utiliza para remover y atrapar las partículas que pudiesen haber atravesado los otros dos filtros físicos que se encuentran anteriores a este. Además de esto, refuerza el efecto del filtro de luz ultravioleta, gracias a que aumenta el tiempo de exposición del fluido a la luz UV, ya que al fluido se le dificulta salir inmediatamente.

## 7. ANÁLISIS DE COSTOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Al inicio se tenía planeado hacer un diseño en general del filtro purificador de aire con tres filtros; pero en la etapa de diseño e investigación de purificación del aire se decidió agregar un filtro más al final del proceso, garantizando así que la calidad de aire entregada sea adecuada para el entorno de una sala de Urgencias libre de partículas o virus contaminantes.

En el mercado existen filtros purificadores de aire como:

### **VENTILADOR PURIFICADOR IONIZADOR FILTRO PERMANENTE**

1. Filtro patentado hemisférico tipo HEPA elimina el humo, el polen y el polvo.
2. La luz germicida ultravioleta UV mata las bacterias y gérmenes en el aire
3. Filtro foto catalizador reduce las pinturas tóxicas dañinas, los vapores de alfombras y otros productos químicos de uso doméstico.
4. Inyección de Iones negativos para refrescar el aire.

Se encuentra en el mercado con un precio aproximado de \$15.322.000 COP

**TORRE PURIFICADORA DE AIRE CON REMOVEDOR DE ALERGENOS HONEYWELL** es ideal para habitaciones pequeñas. Cuenta con un filtro HEPA Verdadero que captura de manera efectiva hasta el 99,97% de los alérgenos microscópicos del aire que pasa a través de sus filtros. El aire entra primero el pre-filtro, donde están atrapados los olores y las partículas más grandes, el filtro HEPA captura el polvo, el polen, la caspa de mascotas, humo y otras partículas de 0.3 micrones y más grandes. Su diseño compacto y elegante se ve muy bien en todas las habitaciones y el HPA060 es ENERGY STAR.

### **CARACTERISTICAS**

- Honeywell purificadores de aire son la marca # 1 recomendada por los alergólogos.
- El verdadero filtro HEPA captura hasta los 99,97% de los alérgenos microscópicos, 0,3 micras o más grandes de aire que pasa a través del filtro.
- Ayuda a capturar ciertos gérmenes en el aire desde el aire que pasa a través del filtro.
- Ayuda a reducir los olores, compuestos orgánicos volátiles y ciertos gérmenes.
- Calificación ENERGY STAR.
- Los controles manuales, 3 niveles de limpieza.
- Recordatorios de recambio de filtros electrónicos.

- Circula con aire hasta 5 veces por hora en base a AHAM CADR humo en tamaño de la habitación recomendada.

Este purificador de aire ha sido certificado AHAM para su uso en habitaciones de hasta 75 metros cuadrados

Se encuentra en el mercado con un precio aproximado de \$18.482.000 COP

## 7.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

- a. Cantidad de semanas trabajadas en un mes

$$\frac{30\text{Días}}{1\text{Mes}} \times \frac{1\text{Semana}}{7\text{Días}} = \underline{4,29} \frac{\text{Semanas}}{\text{Mes}}$$

- b. Cantidad de horas trabajadas en un mes

$$4,29 \frac{\text{Semanas}}{\text{Mes}} \times 48 \frac{\text{Horas}}{\text{Semana}} = \underline{205,7} \frac{\text{Horas}}{\text{Mes}}$$

- c. Precio promedio hora, tecnólogo profesional

$$\underline{\$1.288.000} \frac{\text{Pesos}}{\text{Mes}} \div 205,7 \frac{\text{Horas}}{\text{Mes}} = \$6.261 \frac{\text{Pesos}}{\text{Hora}}$$

- d. Horas invertidas durante el desarrollo del diseño

$$4\text{Meses} \times 100 \frac{\text{Hora}}{\text{Mes}} \times \$6.261 \frac{\text{Pesos}}{\text{Hora}} = \underline{\$2.504.618}$$

- 7.1.1 Costo total del sistema de gestión y supervisión del laboratorio de automatización (todos los valores en COP)

Cuadro 5. Cuadro de costos software y propuesta de diseño

<b>COSTO TOTAL DEL SISTEMA. CON LA LICENCIA ESTUDIANTIL, QUE POSEE EL PROGRAMA</b>	\$762.000
<b>COSTO DEL DISEÑO 30%</b>	\$2.504.618
	<b>\$3.266.618</b>

### 7.1.2 Costo de implementación y construcción aproximado

- a. Filtro HEPA x2: \$530.000
- b. Filtro Carbón Activo x1:\$75.000
- c. Lámpara Luz Ultravioleta x3: \$540.000
- d. Sistema de Control y Potencia: \$1.000.000
- e. Motor y sistema de ventilación: \$1.200.000
- f. Estructura: \$8.105.910
  - Mano de Obra: \$1.633.630
  - Equipos: \$2.972.280
  - Materiales y consumibles: \$2.500.000

Costo aproximado construcción: \$9.910.910

Costo Diseño= \$3.266.318

Costo total aproximado= \$13.177.228 COP.

## 8. CONCLUSIONES

- Se diseñó el purificador de aire bajo los parámetros de la resolución 4445 del 5 de julio de 1996, la cual establece que en las instituciones de salud se debe seguir los lineamientos en la construcción de sus sistemas de ventilación evitando así la propagación y proliferación de virus, bacterias y microorganismos presentes en el ambiente.
- Se logró tener una nueva y más amplia perspectiva sobre los sistemas de ventilación y purificación de aire en las instituciones hospitalarias.
- Se diseñó un sistema que aprovecha de manera adecuada cada filtro, ofreciendo así una reducción considerable de virus y bacterias suspendidas en el aire; mejorando la calidad del ambiente para los pacientes y trabajadores en los establecimientos prestadores de salud, y previniendo así la propagación de microorganismos y el efecto multiplicador de enfermedades y virus.
- El proyecto integrador logró explotar todas y cada una de las disciplinas adquiridas durante los ciclos de técnico y tecnología, de una manera muy completa.
- Los costos asociados al diseño y fabricación del prototipo, son valores aproximados, estos valores dependen de las condiciones económicas y sociales en las cuales se vaya a desarrollar el proyecto, ya que la mano de obra, los equipos y los materiales y consumibles, pueden variar su precio y disponibilidad.



## 9. RECOMENDACIONES

- Se deberá regir la construcción del purificador bajo la resolución 4445 del 5 de julio de 1996, en la cual se establece que en los centros asistenciales de salud se debe contar con un sistema purificador de aire que permita a los usuarios y trabajadores, respirar un aire sin muchos contaminantes y que se reduzcan sustancialmente los riesgos de contagio biológico.
- Para reducir aún más los costos del proyecto, se debe buscar una producción que minimice los costos de mano de obra y materiales, así se podrá ofrecer un costo de venta que sea más asequible a los centros de salud que lo requieran.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) {consultado el día 05 marzo 2015}[<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/radiacion>]
- [2]CPL Carbon Link. {Consultado el día 05 marzo 2015}«[Properties of Activated Carbon](http://www.activated-carbon.com/)» [<http://www.activated-carbon.com/>]
- [3] DOE EERE Indoor Air Quality - MERV 13 Air Filters {consultado el día 07 marzo 2015} [<http://www1.eere.energy.gov/buildings/info/design/construction.html#iaq>]
- [4]Fernández-Bravo Pedro Urda, 2008. El tuning en el embellecimiento y personalización de vehículo. Editorial Paraninfo. Madrid.{Consultado el día 08 de marzo de 2015}
- Filtración de aire en quirófanos y laboratorios .{Consultado el 15 de marzo 2015} [<http://www.retecsa.com/descargas/noti-retecsa/FILTRACION%20DE%20AIRE%20EN%20QUIROFANOS%20Y%20LABORATORIOS.pdf>]
- [5]Green Building Rating System - For Commercial Interiors Page 64 of 74.{Consultado 15 de marzo 2015} [<http://www.usgbc.org/Docs/LEEDdocs/CI-final%20content%20draft.pdf>]
- [6]Guía Práctica para el diseño y mantenimiento de la climatización en quirófanos. Ministerio de Sanidad y Consumo. INSALUD. Subdirección General de Obras, Instalaciones y Suministros. 1996.{Consultado 26 de marzo 2015}
- [7]H.M. Ang, M Tade, S Wang. (2007). "Volatile organic compounds in the indoor environment and photocatalytic oxidation: state of the art". *Environmental International* 33: 694-705.]{Consultado 28 marzo 2015} [[http://www.epa.gov/iaq/pdfs/residential\\_air\\_cleaners.pdf](http://www.epa.gov/iaq/pdfs/residential_air_cleaners.pdf)]
- [8]Hockberger, P. E. (2002). {Consultado 6 de abril 2015}«[A history of ultraviolet photobiology for humans, animals and microorganisms](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve%5C&db=pubmed%5C&dopt=Abstract%5C&list_uids=12511035)». *Photochem. Photobiol.* **76**. 561-579. [[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve%5C&db=pubmed%5C&dopt=Abstract%5C&list\\_uids=12511035](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve%5C&db=pubmed%5C&dopt=Abstract%5C&list_uids=12511035)]
- [9]Instalaciones hospitalarias bioingeniería. {Consultado 10 abril 2015} [<http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Acondicionamiento%20de%20aire2.pdf>]
- [10] J.R. Sterling 1952.Rectificación Mecánica. Librería y Editorial Alsina. Argentina.{Consultado 10 de abril 2015}
- [11]Los purificadores de aire Bionaire. ¿Por qué utilizarlos? {Consultado 15 abril}[<http://www.bionaire.com.co/>]

- [12]Organización Mundial de la Salud (2003) {Consultado 16 abril 2015}  
[<http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>]
- [13] Ozonolux de Colombia, S.A. {Consultado 18 abril 2015}  
<http://1027.co.all.biz/contacts>
- [14]Pickrell, John. *National Geographic News*, 8 de julio de 2003. Consultado el 18 de abril de 2015 (en inglés).  
[[http://news.nationalgeographic.com/news/2003/07/0708\\_030708\\_ultravioletmammals.html](http://news.nationalgeographic.com/news/2003/07/0708_030708_ultravioletmammals.html)]
- [15]Purificación de aire por oxidación catalítica {Consultado el 19 de abril de 2015}  
<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=660>
- [16]Sistemas de aire acondicionado en entidades de salud {Consultado el 19 de abril 2015 }  
<http://www.minsa.gob.pe/dgiem/cendoc/pdfs/SISTEMA%20AIRE%20ACONDICIONADO%20INSTALACIONES%20DE%20SALUD.pdf>
- [17]Whitman William C. Johnson William M. Junio 1 de 2000. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Editorial Paraninfo. Madrid.{Consultado el 20 de abril 2015}.

## ANEXOS

### PROGRAMA EN MATLAB PARA CARACTERIZACION DE PLANTA

```
disp 'Análogo'
disp '-----'
disp '-----'
disp 'Funcion de Transferencia planta S'
Ts=0.04302;
Gps=tf([1.58],[1 0.00236])
disp 'Funcion de transferencia controlador S'
Kp=3.45;
Ki=15;
Gcs=tf([Kp Ki],[1 0])
disp '-----'
disp '-----'
disp 'Discretizado'
disp 'Funcion de Transferencia planta discretizada'
Gpz=c2d(Gps,Ts)
disp 'Funcion de Transferencia del controlador discretizado'
Gcz=tf([3.7726 -3.1274],[1 -1],Ts)
disp 'Lazo abierto'
lazoabierto=series(Gpz,Gcz)
disp 'Lazo cerrado'
lazocerrado=feedback(lazoabierto,1)
figure(1)
impulse(10*lazocerrado)
title('Respuesta del sistema a un impulso')
figure(2)
step(10*lazocerrado)
title('Respuesta del sistema a un step')
```

## PROGRAMA EN PIC C COMPILER PARA CONTROL DE MICROCONTROLADOR

```
#include <16F887.h>           //Archivo para control del pic 16f876a
#define adc=8                 //Configuración conversor AD a 8 bits
#define fuses XT,NOWDT
#define use_delay(clock=4MHz) //frecuencia de reloj 20 MHz
#define BYTE PORTA=0X05
#define byte portb=0x06
#define byte trisa=0x85
#define BYTE TRISB=0X86
#define byte trisc=0x87
#define byte portc=0x07
#define byte wpub=0x95
#define BYTE OPTION_REG=0X081
#define use_portb_kbd TRUE    //Configuración puerto b control lcd
#include <kbd.c>
#include <lcd.c>              //archivo para control del lcd
#include <stdlib.h> //Sirve para ejecutar subprocessos o comandos del sistema
operativo
#include <math.h> // Archivo para operaciones matemáticas básicas
//archivo control teclado

/***** Definición de las variables globales *****/

INT MENU=1, TECLA, ENTER, NUMERO, DIG=0, BANDERA=0, CONT=0;
Long int SP2=0,DATO;
FLOAT LecturaActual=0.0,SP=0;
FLOAT lectura_adc=0,Eo=0.0,yp=0.0,E1=0.0,yo=0.0,y1=0.0,yi=0.0,SP1=0 ;

/***** Prototipos de las funciones *****/

void main (void);           //función principal
void ccp2_int (void);       //función por interrupción

/*****/
```

```

/***** MUESTREO *****/

#include <int_timer1.h>
void MUESTREO()
{
    SET_TIMER1(22516); //Tiempo de muestreo 40ms
    SET_ADC_CHANNEL(0); //INICIA LA CONVERSION DE ANALOGO A
    DIGITAL DE 0 A 255
    DELAY_US(30); //ESPERA 20 us PARA LUEGO LEER EL VALOR DE LA
    CONVERSION
    lectura_adc=READ_ADC(); //Almacena la conversion en la variable lectura_adc
    LecturaActual=(lectura_adc*4000)/255; // Imprime en pantalla el valor RPM

    //Escala el valor ingresado de 0 a 255
    SP1=SP/1000;
    SP2=ceil(SP1*63.75);
    ////////////

/***** sub rutina de interrupción *****/
    Eo=SP2-lectura_adc; // Error actual
    yp=floor(1.7727*Eo); //Ganancia Proporcional
    yi=floor(1.1234*E1); //Ganancia integrativa
    E1=Eo; //Error anterior
    //m(k)=1.7727*e(k)-1.1234*e(k-1)+m(k-1));
    yo=yp-yi+y1; //Ecuacion en diferencias
    y1=yo; //Respuesta anterior

    // LecturaActual=(SP*1023)/4;

    if (yo>255){
        yo=255;
    }
    if (yo<0){
        yo=0;
    }

    yo=floor(yo); //Lo aproxime a su entero menor

```

```

int mk=(int)yo;//Convierte el valor en entero
SET_PWM2_DUTY(mk);}//Cambio del duty cycle del PWM dependiente del yo

//salida=yo;
//y1=yo;

//PORTC=salida;

/*****
/***** FUNCIÓN PRINCIPAL *****/

void main(){

{
bit_clear(OPTION_REG,7);// limpia el registro 7
trisA=1;//configuracion del puerto como entrada o salida
SETUP_TIMER_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_2);// reconoce la entrada
interna del reloj | segunda parte nos da el preescalador
SET_TIMER1(22516);// Tiempo de muestreo

TRISC=0;//configuracion del puerto como entrada o salida
//CONFIGURACION PUERTO ANALOGO
SETUP_ADC(ADC_CLOCK_DIV_8);// usa como reloj del conversor la
frecuencia del reloj del micro/8 y el CLOCK_INTERNAL usa un clock propio
derivado de un RC.
SETUP_ADC_PORTS(SAN0);//Define el puerto de entrada del conversor A/D

DELAY_MS(20); //ESPERA 20 us

/* SE CONFIGURA EL PWM 1 DEL SISTEMA*/

SETUP_CCP1(CCP_PWM);//ACTIVA EL PWM por el puerto cpp1
SETUP_TIMER_2(T2_DIV_BY_16,255,1);//ACTIVA EL TIMER2 para el PWM

PORTA=0;
TRISB=0;

```

```

PORTB=0;

/* SE HABILITA LA INTERRUPCION POR DESBORDAMIENTO DEL TMR1
Y EL BIT DE INTERRUPCION GENERAL*/
ENABLE_INTERRUPTS(INT_TIMER1);
ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);

//se inician la pantalla y el teclado
//PORT_B_PULLUPS(TRUE);

LCD_INIT();
KBD_INIT();

LCD_GOTOXY(1,1);//posiciona la informacion dentro de la pantalla
LCD_PUTC("LEC:");//Lo que imprime en pantalla
LCD_GOTOXY(1,2);//posiciona la informacion dentro de la pantalla
PRINTF(LCD_PUTC,"SP: %F",SP1);//Lo que imprime en pantalla
LCD_GOTOXY(15,2);//posiciona la informacion dentro de la pantalla
LCD_PUTC("***");//Lo que imprime en pantalla

//MENU DE INICIO EN LA PANTALLA
//un ciclo do para ingresar valores al teclado y imprimirlos en la pantalla
//LECTURA DEL TECLADO Y ACTUALIZACION DEL VALOR DE LA
MEDICION EN PANTALLA
NUEVO:
DO
{
//ACTUALIZA LA INDICACION EN PANTALLA CADA VEZ QUE SE REALIZA
800 CUENTAS DE CONT
IF (CONT==800)
{
LCD_GOTOXY(8,1);//posiciona la informacion dentro de la pantalla
PRINTF(LCD_PUTC,"%F",LecturaActual);//Lo que imprime en pantalla con la
variable capturada
CONT=0;//contador
}
TECLA=KBD_GETC(); //LEE EL TECLADO

```



```

    CONT=CONT+1;
}
    WHILE (TECLA==0); //POR LO TANTO SE BUSCA LA FUNCION QUE
CORRESPONDE LA ACCION DE LA TECLA OPRIMIDA
    {
        SWITCH (TECLA)//ASIGNACION DE LAS FUNCIONES A LAS TECLAS
NUMERICAS Y DE SIMBOLOS ESPECIALES
        {
            CASE 0X23: IF (ENTER==0)
                {ENTER=10;          //EVALUA SI FUE OPRIMIDA LA TECLA
ENTER PARA
                    LCD_GOTOXY(15,1); //CONMUTAR ENTRE EL MODO DE
ESCRITURA O EL MODO
                    LCD_PUTC("??"); //DE SELECCION EN EL DISPLAY.
ENTER=0 MODO SELECCION,ENTER=10 MODO ESCRITURA
                    DIG=0;
                }
            ELSE
            {
                ENTER=0; //SI ES OPRIMIDA LA TECLA ENTER EVALUA SI
EL DATO FUE MODIFICADO

                    IF (BANDERA==1) //ESTO ES INDICADO POR EL
REGISTRO BANDERA EL CUAL SE PONE EN 1
                    {          //CADA VEZ QUE SE REALIZA UNA ENTRADA DE
DATO
                        SWITCH(MENU) //SI EL DATO FUE MODIFICADO, LE
ASIGNA EL VALOR AL REGISTRO QUE SE ESTA DESPLEGANDO EN EL
MENU.
                            {
                                CASE 1: SP=DATO;//SP= al valor ingresado
                                BREAK;
                            }
                        BANDERA=0; //LA BANDERA ES RETORNADA A SU
VALOR INICIAL ESPERANDO OTRA MODIFICACION DEL REGISTRO DE
ENTRADA
                    }
                }
            }
        }
    }

```

```

        LCD_GOTOXY(15,1);      //ESCRIBE AL FINAL DE LA
SEGUNDA LINEA ?? 0 [] PARA INDICAR SI EL SISTEMA SE ENCUENTRA
        LCD_PUTC("***");      //EN MODO DE VISUALIZACION O
ENTRADA DE DATOS RESPECTIVAMENTE
    }
    BREAK;
    BREAK;
    CASE 0X2A: DIG=0;          //BORRA EL CONTENIDO DEL REGISTRO
SELECCIONADO EN EL MENU
        DATO=0;
        LCD_GOTOXY(5,1);
        LCD_PUTC("0");
        BREAK;
    CASE 0X31: IF(ENTER==0){MENU=MENU+1;} //EVALUA LA TECLA
NUMERO 1, SI ESTA EN MODO DE SELECCION DE MENU
        //ELSE{NUMERO=TECLA-48;}      //SE MUEVE EL REGISTRO
MENU PARA EL SIGUIENTE, DE LO CONTRARIO
        BREAK;                      //SE ASIGNA EL NUEMRO
CORRESPONDIENTE AL REGISTRO NUEMRO (1)
    CASE 0X33: IF(ENTER==0){MENU=MENU-1;} //EVALUA LA TECLA
NUMERO 3, SI ESTA EN MODO DE SELECCION DE MENU
        //ELSE{NUMERO=TECLA-48;}      //SE MUEVE EL REGISTRO
MENU PARA EL ANTERIOR, DE LO CONTRARIO
        BREAK;                      //SE ASIGNA EL NUEMRO
CORRESPONDIENTE AL REGISTRO NUEMRO (3)
    DEFAULT: NUMERO=TECLA-48;
        BREAK;
}
}

//DIRECCIONA QUE HACER DEPENDIENDO EL MODO EN QUE SE
ENCUENTRA EL SISTEMA <ENTRADA DE DATOS O VISUALIZACION>
//SI EL REGISTRO ENTER SE ENCUENTRA EN CERO ES MODO
VISULAIZACION Y POR LO TANTO LAS TECLAS 1 Y 3 PERMITEN
//ROTAR EL MENU EN LA PANTALLA
IF (ENTER==0)
{
    LCD_GOTOXY(1,2);

```

```

        SWITCH (MENU)    //SI EL REGISTRO ENTER ES CERO INDICA QUE
EL SITEMA SE ENCUENTRA EN MODO VISUALIZACION
        {
            //Y POR LO TANTO LAS TECLAS 1 Y 3 SIRVEN PARA
ROTAR EL MENU EN PANTALLA; ESTO LO INDICA EL REGISTRO MENU
            CASE 1: PRINTF(LCD_PUTC,"SP: %F",SP);
                BREAK;

            DEFAULT: IF(MENU==0)
            {
                MENU=1;
                PRINTF(LCD_PUTC,"SP: %F",SP);
            }
        }
    }

ELSE
    {
        //SI EL REGISTRO ENTER ES DIFERENTE A CERO INDICA
QUE EL SISTEMA SE ENCUENTRA EN MODO DE ENTRADA DE DATOS
        IF((DIG<4)&&(TECLA!=0X2A)&&(TECLA!=0X23))    //LIMITA A 4 LA
CANTIDAD DE DIGITOS QUE SE ENTRA A TRAVES DEL TECLADO
        {
            IF(DIG==0){DATO=1*NUMERO;}    //HACE LA CONVERSION DEL
NUMERO TECLEADO A UN NUEMRO EN COMA FLOTANTE
            ELSE {DATO=DATO*10+NUMERO*1;} //QUE SE VA ACUMULANDO
CADA VEZ QUE SE OPRIME EL SIGUIENTE NUMERO
            LCD_GOTOXY(5,2);    //EL REGISTRO DIG, PERMITE LIMITAR
EL MAXIMO NUMERO A 4 ENTRADAS MAXIMO
            PRINTF(LCD_PUTC,"%4lu",DATO);
            IF(DATO>4000){DATO=4000;}// Si el dato ingresado es mayor de 5000
coloque 5000
            DIG=DIG+1;
            BANDERA=1;//ESTE REGISTRO INDICA QUE HUBO POR LO MENOS
UNA MODIFICACION DE ALGUN DATO

        }
    }
    GOTO NUEVO;
}
}

```