

**TÍTULO: UTILIZACIÓN DE LÁMPARAS UVC PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y AHORROS DE ENERGÍA ASOCIADOS**

**AUTOR/ES: VICENTE CASADO GONZÁLEZ**

**EMPRESA / ORGANISMO: STERIL-AIRE, S.L.**

## **1. CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE LA NORMATIVA ACTUAL**

- 1989; ASHRAE introduce la norma Standard 62-1989, Ventilación para una aceptable Calidad de Aire Interior
- La Norma identifica dos componentes principales de una pobre C.A.I.: Partículas y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)
- La Norma Standard 62-1989 ofrecía al proyectista dos metodologías con las cuales podía diseñar:
  - **Procedimiento de la Tasa de Ventilación:**  
Se basa en el concepto de que “la solución a la contaminación del aire es la dilución”. Inducir cantidades masivas de aire exterior dentro de los espacios ocupados. MUY COSTOSO
  - **Procedimiento de la calida de Aire:**  
Explicación sencilla: instalación de filtros de alta eficacia para reducir la cantidad de aire exterior.
- Revisión de Norma ASHRAE 62:

### **Controlando el crecimiento microbiano:**

El crecimiento sostenible puede llegar a ser una seria preocupación para los procedimientos de mantenimiento de los sistemas y un tema cuestionable para la salud y el confort de los ocupantes. Como principio general, el crecimiento de bacterias y hongos es inaceptable.

### **Consideraciones de proyecto:**

- Las bandejas de recogida de agua de condensación constituyen un nicho favorable para el crecimiento de microorganismos.
- El crecimiento microbiano en las superficies internas de los sistemas de CVAC en ó cerca de los equipos generadores de humedad (por ejemplo: baterías de frío, humectadores, etc....) es un problema de importancia para la salud y el confort de los ocupantes así como para el mantenimiento del sistema.

## **2. NOVEDADES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR**

ASHRAE ha identificado un tercer componente, aparte de las Partículas y los Compuestos Orgánicos Volátiles, que contribuye a una pobre Calidad de Aire Interior: los Bioaerosoles.

Los Bioaerosoles son microorganismos aéreos y de superficie que se multiplican y se propagan por todo el sistema de Aire Acondicionado. Pueden ser de tres tipos:

- Patógenos:  
Virus, bacterias y hongos que causan una gran cantidad de enfermedades infecciosas
- Alérgicos:  
Bacterias y esporas de moho que son las causantes de rinitis, asma, fiebres y neumonías.
- Tóxicos:  
Endotoxinas y micotoxinas que son las causantes de reacciones tóxicas alérgicas, irritaciones y olores.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha atribuido a estos aerosoles biológicos más del 60% de todos los problemas de Calidad de Aire Interior.

A día de hoy, muchos investigadores coinciden en que este porcentaje está más cerca del **80%**.

Como consecuencia de esta preocupación ASHRAE creó en el año 2005 un comité para estudiar los "UVC Standards" (ASHRAE SPC 185.1P : "Method of Testing UVC Lights for use in Air Handling Units or Air Ducts to inactivate Airborne Microorganisms").

En el año 2006 se ha creado un subcomité para estudiar la SPC 185.2P : "Standard to test UVC devices to eliminate microbial contamination on surfaces in Air Conditioning Equipments".

### **3. ¿CUÁL ES EL PROBLEMA?**

En un principio no podemos contar con la ayuda de los filtros de aire por dos razones:

- 1) El crecimiento microbiano se produce aguas abajo de los filtros por lo que los microorganismos invaden todo el sistema y espacios.
- 2) Los virus y bacterias son demasiado pequeños para ser retenidos por los filtros que normalmente se utilizan en la UTAS.



Observemos algunos datos microbianos básicos:

<b><u>TIPO</u></b>	<b><u>TAMAÑO</u></b>
Bacteria	0.5 a 4 micras
Hongo (Moho)	1 a 5+ micras
Virus	10 a 750 milimicras

Miremos ahora la velocidad a la que se multiplican las bacterias. En condiciones ideales estos se duplican cada 20 minutos. Esto significa  $2^n$  y en 24 horas tenemos  $2^{72}$ .

Los hongos no se multiplican tan rápidamente; precisan de 6 horas para duplicarse, esto nos lleva a considerar que necesitan aproximadamente de 18 días para producir 72.000.000.000 de UFC.

Analicemos ahora la enorme superficie de su "hábitat" correspondiente a la superficie de las aletas de la batería de frío donde se nutren las partículas viables, tanto de alimento como de humedad.

De forma aproximada existen 6.200.000 colonias de hongos que encajan en 1  $\text{cm}^2$  de superficie.

Dada esta consideración, una batería de frío típica de 1,20 m. de altura x 1,80 m. de anchura (2,16  $\text{m}^2$  de área frontal), con 10 aletas por pulgada (720 aletas por metro lineal), y 200 mm. de profundidad, tendría una superficie total de aletas de 3.456.000  $\text{cm}^2$  (345  $\text{m}^2$ ), con 21 billones de UFC de hongos.

La consecuencia de todo esto es que el espacio entre las aletas se reduce, produciendo:

- Disminución del intercambio térmico y por consiguiente mucho mayor carga de trabajo de la unidad enfriadora.
- Disminución del caudal de aire o aumento de la potencia absorbida en los sistemas de caudal constante.

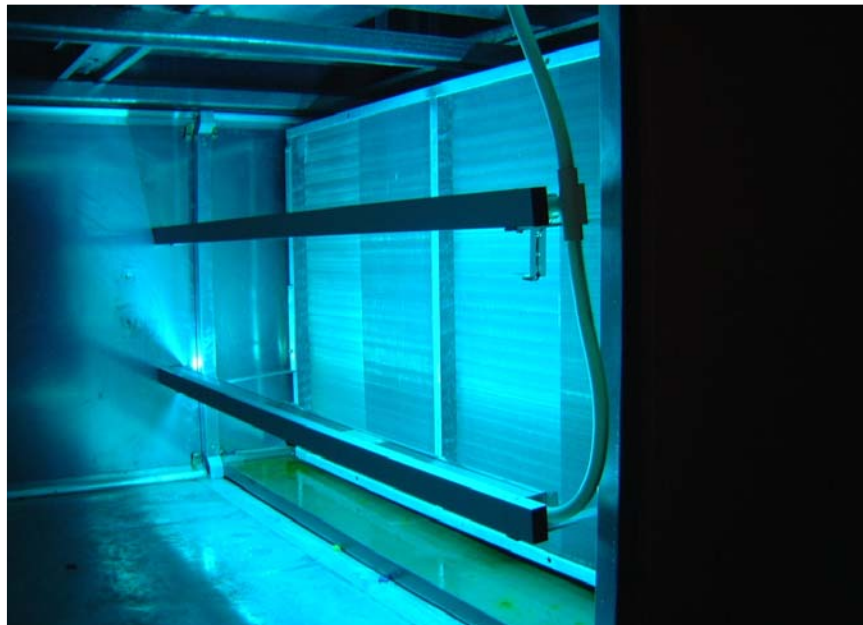
Según crece la contaminación microbiana sobre la batería de frío y aumenta la velocidad del aire, se desprende alguna cantidad de la sedimentación para aumentar la concentración en el aire y empeorar la Calidad de Aire Interior.

#### **4. ¿CUÁL ES LA SOLUCIÓN?**

Desde luego la solución **no** es lavar las baterías, bandejas de condensación y los plenum con productos químicos surfactantes o biocidas porque, independientemente de los problemas que pueden ocasionar, nada más acabar el proceso de lavado empezaría otra vez el proceso de crecimiento microbiano.

La única forma de mantener constantemente las baterías limpias es la instalación de Emisores UVC de alto rendimiento.

El rendimiento de estos nuevos equipos es muy superior al de las lámparas convencionales en corrientes de aire frío y deben instalarse justamente aguas abajo de las baterías de frío. De esta forma la irradiación barre también la bandeja de condensación y superficies interiores del plenum.

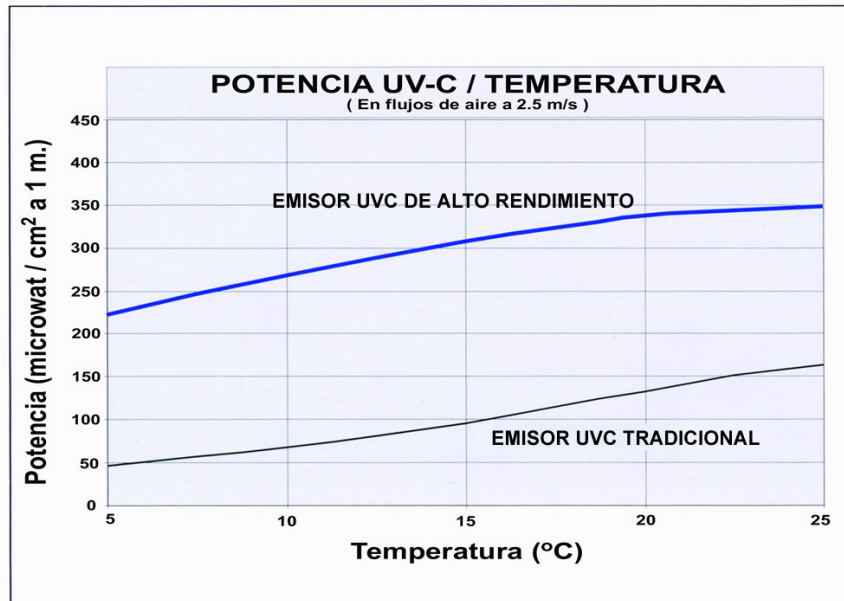


Se ha demostrado que el ADN de todos los seres vivos presenta un máximo de absorción cuando la onda electro-magnética tiene una longitud de 254 nm. Esta pertenece a la banda C.

Al ser el microorganismo irradiado con la suficiente energía se provoca una reacción fotoquímica que desactiva la molécula, paraliza el metabolismo y anula la posibilidad de reproducción.

La potencia de los emisores UVC depende de los siguientes factores:

- Velocidad del aire
- Temperatura
- Humedad
- Dimensiones de la batería
- Número de filtros
- Aletas por unidad de longitud



Vamos a exponer un caso práctico. Todos se resuelven, aplicando un programa, con el siguiente procedimiento:

### PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL TEST

Antes de instalar las lámparas UVC hay que tomar las siguientes medidas:

1. Caudal de aire
2. Caída de presión estática en la batería
3. Temperaturas de bulbos seco y húmedo en la entrada y salida de la batería
4. R.P.M. del ventilador
5. Consumo del motor en A.
6. Fecha del test

Después de instalar los emisores de UVC, repetir las lecturas a los 10, 30, 60 y 90 días.

Adicionalmente conseguir la siguiente información:

- Coste de limpieza de la batería incluyendo materiales y mano de obra.
- Coste del tratamiento de la bandeja de condensados (materiales y mano de obra)
- Precio del Kwh
- Cargo por consumo
- Horas de funcionamiento anual
- Coeficiente de Eficiencia Energética cuando se instaló

NOTA: Si el sistema es de volumen constante, anotar las R.P.M. del ventilador en cada toma.

## INSTALACIÓN DE LÁMPARAS UVC EN UNA UTA DE 180.000 m<sup>3</sup>/h

- Caudal: 180.000 m<sup>3</sup>/h
- Años de servicio: 10/15
- Batería: 28T-8R-3000L:
  - 8 filas
  - 12 aletas AL/pulgada
  - Paso: 2,1 mm.
  - Afo: 4,40 m<sup>2</sup>
  - Cantidad: 4

### 1) Condiciones de funcionamiento con lámparas UVC:

- Aire a la entrada: 26 °C / 45% HR
- Aire a la salida: 12 °C / 95% HR

Estas condiciones de funcionamiento se entienden de proyecto con las baterías totalmente limpias. Estas son las condiciones que se mantendrían al instalar lámparas UVC.

### Condiciones de funcionamiento sin lámparas UVC:

Datos de caudal de aire y de temperaturas del aire a la entrada y a la salida de la batería en proporción con los obtenidos en el edificio de SCACD en City of Industry, California.

### 2) Pérdida de carga del aire a través de la batería

Extrapolación de datos de pérdidas de carga para baterías húmedas – 8 filas en profundidad y 12 aletas por pulgada (paso: 2,1 mm.)

### 3) COP (Factor de rendimiento) de equipos frigoríficos de agua enfriada: 3,5

### 4) Horas de funcionamiento al año al 100% de carga frigorífica:

Se establece el siguiente cálculo:

- Al 100% de carga: 3 meses/año x 28 días/mes x 12 horas/día = 1.008 horas/año
- Al 75% de carga: 3 meses/año x 28 días/mes x 12 horas/día = 754 horas/año
- Al 50% de carga: 3 meses/año x 28 días/mes x 12 horas/día = 504 horas/año



- Al 25% de carga: 3 meses/año x 28 días/mes x 12 horas/día = 252 horas/año

Total horas/año de funcionamiento a plena carga..... 2.518 horas/año

5) Costo del kW/h: 0,05 €

6) Disminución anual de costos en productos de limpieza y mano de obra:

Estimados

7) Costo de los equipos y lámparas UVC:

El correspondiente al tamaño del proyecto

8) Costo del montaje en obra:

Calculado para obra en Madrid de dificultad media

9) Costo anual de energía consumida por las lámparas UVC:

Funcionamiento 24 horas/día y 365 días/año para mayor eficacia germicida y eliminación o reducción en la formación de colonias de hongos y otros micro-organismos en el mismo climatizador y en la red de conductos.

10) Estimación de la amortización de la inversión:

Basada en precios constantes

## APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE AHORRO ENERGÉTICO

<b>Nombre del Proyecto</b>	<input type="text" value="x"/>	<b>Cliente</b>	<input type="text" value="x"/>
		<b>Ingeniería</b>	<input type="text" value="x"/>
<b>Lugar</b>	<input type="text" value="Madrid"/>	<b>Fecha</b>	<input type="text" value="17 de Junio de 2005"/>
<b>Denominación UTA</b>	<input type="text" value="Climatizador Principal"/>		
	<input type="text" value="Q= 180.000 m3/h"/>		

**Altitud sobre el nivel del mar** m s.n.m.

### Instalación de lámparas UVC

		Sin lámparas	Con lámparas
	Fechas		
Caudal	m <sup>3</sup> /h	<input type="text" value="165.600"/>	<input type="text" value="180.000"/>
Aire en entrada a la batería			
Temperatura seca	°C	<input type="text" value="25,3"/>	<input type="text" value="26,0"/>
Temperatura húmeda	°C	<input type="text" value="17,7"/>	<input type="text" value="18,0"/>
Aire en salida de la batería			
Temperatura seca	°C	<input type="text" value="12,2"/>	<input type="text" value="12,0"/>
Temperatura húmeda	°C	<input type="text" value="12,0"/>	<input type="text" value="11,4"/>
Ganancia en potencia frigorífica	kW	<input type="text" value="205,00"/>	
COP del equipos frigorífico	-	<input type="text" value="3,5"/>	
Reducción de la potencia absorbida	W	<input type="text" value="58.572"/>	
Caída de presión en la batería	Pa	<input type="text" value="180"/>	<input type="text" value="120"/>
Reducción de la caída de presión	Pa	<input type="text" value="60"/>	
Rendimiento del ventilador	%	<input type="text" value="70"/>	
Reducción de potencia absorbida por ventilador	W	<input type="text" value="4.286"/>	
Reducción total de potencia consumida	kW	<input type="text" value="62,9"/>	
Horas anuales de funcionamiento	h	<input type="text" value="2.518"/>	
Ahorro total de energía eléctrica	kWh	<input type="text" value="158.277"/>	
Costo del kWh	€	<input type="text" value="0,05"/>	
Disminución del costo de la energía	€	<input type="text" value="7.913,84"/>	
Disminución anual de costo de productos de limpieza y biocidas en batería y bandeja	€/año	<input type="text" value="500,00"/>	
Disminución de costo de mano de obra	€/año	<input type="text" value="500,00"/>	
Disminución del costo de mantenimiento	€/año	<input type="text" value="1.000,00"/>	
Disminución del costo de explotación	€/año	<b><input type="text" value="8.913,84"/></b>	

### Composición de la batería de lámparas emisoras de radiación UVC

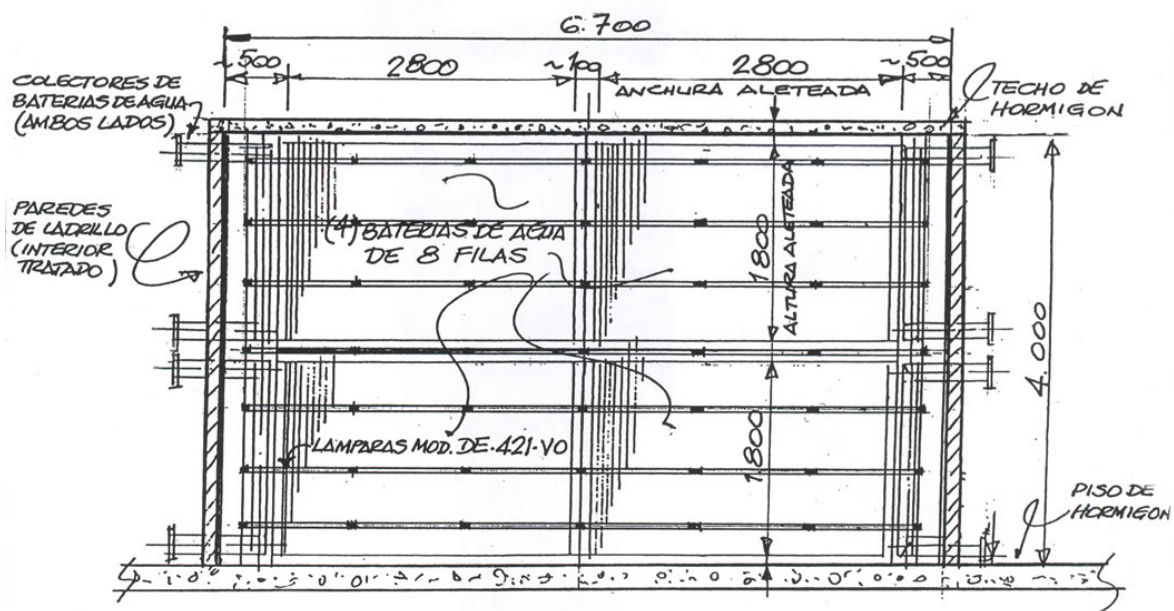
Modelo	Número	Longitud mm	Consumo eléctrico		Costo instalación		Costo reposición	
			unitario W/ud	total W	unitario €/ud	total €	unitario €/ud	total €
UVC LAMP	36	1.050	80	2.880	600,00	21.600,00	126,00	4.536,00

### Costos de instalación

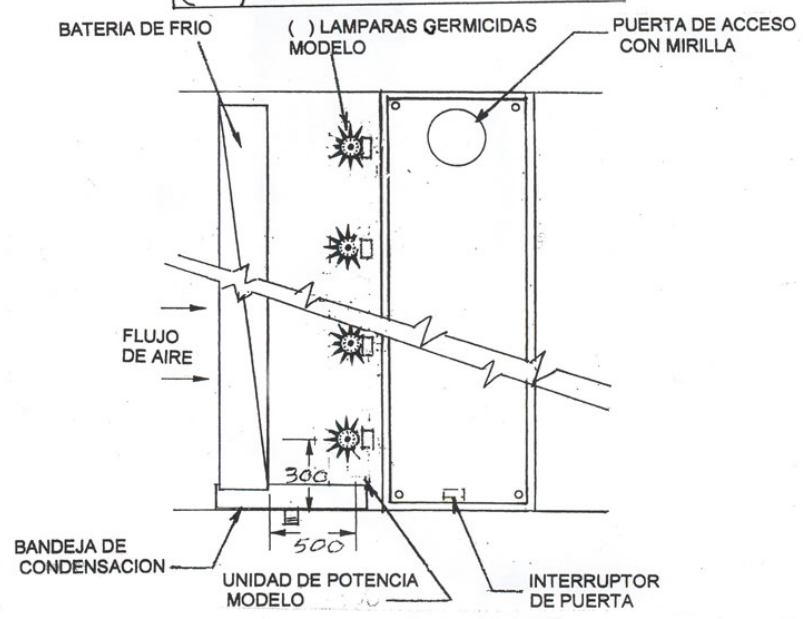
AÑO		1°	2°	3°	4°
Costo total lámparas	€	21.600,00			
Costo de mano de obra	€	0,00			
Costo anual de energía consumida	€/año	362,59	362,59	362,59	362,59
Aumento anual del costo de reposición			1,00	1,05	1,08
Costo anual de reposición lámparas	€/año		4.536,00	4.762,80	4.898,88
<b>Costo total de instalación y operación</b>	€	21.962,59	4.898,59	5.125,39	5.261,47
<b>Menor costo anual</b>	€	<b>-13.048,76</b>	<b>4.015,24</b>	<b>3.788,44</b>	<b>3.652,36</b>
<b>Período de retorno</b>	años	<b>2,46</b>			
<b>Menor costo acumulativo</b>	€	<b>-13.048,76</b>	<b>-9.033,51</b>	<b>-5.245,07</b>	<b>-1.592,71</b>

### CÁLCULOS

Presión atmosférica	943 mbar			
	Sin lámparas		Con lámparas	
Batería	Entrada	Salida	Entrada	Salida
<b>Presión parcial del vapor a saturación</b> a la temperatura húmeda	2.026	1.403	2.064	1.348 Pa
<b>Humedad específica a saturación</b> a la temperatura húmeda	13,65	9,39	13,92	9,02 g/kg
<b>Humedad específica</b>	10,48	9,31	10,58	8,77 g/kg
<b>Entalpía</b>	52,15	35,75	53,12	34,20 kJ/kg
<b>Volumen específico</b>	0,9236	0,8814	0,9259	0,8801 m <sup>3</sup> /kg
<b>Potencia de refrigeración</b>	816,61		1021,61	kW
<b>Ganancia en potencia frigorífica</b>				<b>205,00 kW</b>



SECCION DE CLIMATIZADOR  
 DISPOSICION DE BATERIAS  
 (36) LAMPARAS GERMICIDAS



## **5. MEJORA DE LA CALIDAD DE AIRE INTERIOR POR LIMPIEZA DE LOS CONDUCTOS DE AIRE**

Más de un 50% de los compuestos sedimentados en los conductos son de origen orgánico. Los microorganismos encuentran en ellos un buen caldo de cultivo, al estar expuestos en un ambiente oscuro y con humedad y temperatura adecuadas, para su reproducción.

Debido a esto es necesario limpiar los conductos por medio de cualquiera de los procedimientos actuales, pero después de la limpieza hay que proceder a la desinfección por medio de emisores UVC.

Por las trampillas de inspección de los conductos se introducen los módulos con emisores UVC que irradian toda la superficie durante el tiempo previamente calculado para la aniquilación de las colonias de microorganismos detectadas y seleccionadas.

Se ha comprobado lo siguiente:

- En instalaciones nuevas con calidad de filtración F5 o superior y emisores de UVC instalados aguas abajo de la batería de frío, los conductos permanecen limpios

## 6. ¿CUÁNTO MEJORA LA CALIDAD DE AIRE INTERIOR?

Evidentemente esta es la pregunta del millón.

La ecuación característica de desintegración logarítmica es:

$$\ln \frac{N}{N_0} = - KIt$$

$N_0$  = nº inicial de microorganismos o Unidades de Formación de Colonias (UFC)

$N$  = nº de UFC que sobreviven después de la irradiación con emisores UVC durante un tiempo ( $t$ )

$I$  = Intensidad de irradiación en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

$t$  = tiempo de irradiación en segundos

$K$  = constante para cada microorganismo. Se expresa en  $\text{cm}^2/\mu\text{J}$  o  $\text{cm}^2/\mu\text{W.s}$

La constante estándar, coeficiente de aniquilamiento,  $K$  define la sensibilidad de un microorganismo a la acción germicida de la irradiación UVC y por tanto es única para cada microbio.

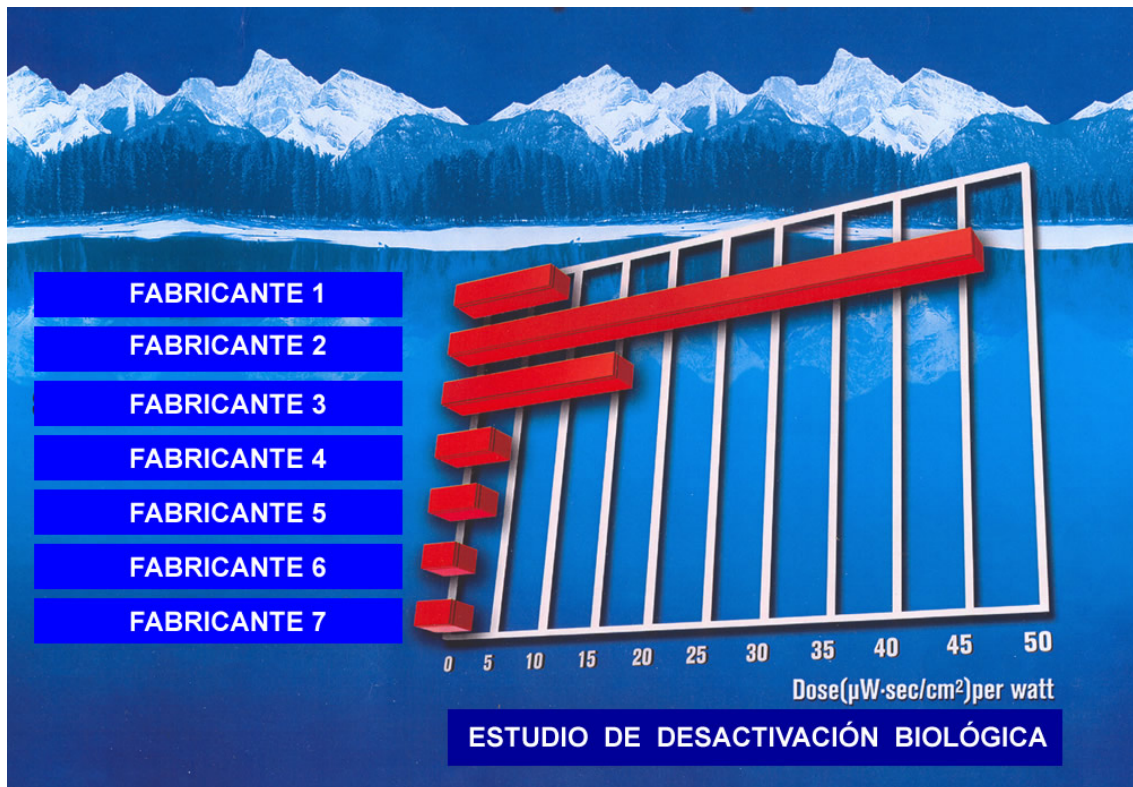
Esta constante se ha calculado experimentalmente en el laboratorio por un gran número de investigadores y en muchos de los casos con resultados dispares.

BACTERIAS	$\mu\text{J}/\text{cm}^2$	GÉRMENES	$\mu\text{J}/\text{cm}^2$
Bacillus anthracis	4.520	Saccharomyces cerevisiae	6.000
Bacillus megaterium	1.300	Saccharomyces ellipsoides	6.000
Bacillus megaterium spores	2.730	Levadura de cerveza	3.300
Bacillus subtilis	7.300	Levadura de pan	3.900
Bacillus subtilis spores	12.000		
Corynebacterium diphtheriae	3.370	ESPORAS DE MOHO	$\mu\text{J}/\text{cm}^2$
Escherichia coli	3.000		
Micrococcus lutea	19.700	Asperigius flavus	60.000
Micrococcus spheroides	10.000	Asperigius glaucus	44.000
Nisseria catarrhalis	4.400	Asperigius niger	132.000
Proteus vulgaris	2.640	Mucor racemosus	17.000
Pseudomonas aeruginosa	3.500	Oospora lactis	6.000
Pseudomonas fluorescens	8.000	Penicilium digitatum	44.000
Salmonella enteritidis	4.000	Penicilium expansum	13.000
Salmonella typhimurium	8.000	Penicilium roqueforti	13.000
Serratia marcescens	2.420	Rhizopus nigricans	111.000
Shigells paradysenteriae	1.680		
Spiriyoum rubrum	4.400		
Staphylococcus albus	1.840		
Staphylococcus aureus	2.600		
Streptococcus hemolyticus	2.160		
Streptococcus lactis	6.150		
Streptococcus viridans	2.000		

La tabla adjunta nos da la energía en  $\mu\text{J} / \text{cm}^2$  necesaria para aniquilar el 90% de los microorganismos especificados. Para rendimientos del 99%, 99,9% y 99,99% hay que multiplicar por diversos factores de corrección.

La dosis recibida por un microorganismo, o sea, la intensidad de irradiación UVC por el tiempo de exposición a la misma, depende de muchos factores:

- Tipo de lámparas. Las intensidades tabuladas por cada fabricante son muy distintas como se muestra en el gráfico adjunto



- Transmitancia en la penetración de la radiación UVC en el medio y posibles interferencias de los sólidos o gases en suspensión.
- Posibles sombras de objetos sólidos que hacen de pantalla
- Condiciones del aire: temperatura, humedad, turbulencias...
- Reflectancia de las superficies de baterías, plenum o conductos. Este es un factor muy importante como se observa en la tabla siguiente.

MATERIAL	REFLECTANCIA (%)
Óxido de magnesio	75 a 90
Folio de aluminio pulido	60 a 90
Pintura de aluminio	40 a 75
Enlucido blanco	40 a 60
Cromo	40
Niquel	40
Acero inoxidable	25 a 40
Pintura blanca al agua	10 a 35
Revestimiento típico de conducto	0 a 1

- Distancia. Los fabricantes dan para sus lámparas la intensidad en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  a 1 metro de distancia. Por tanto hay que aplicar un factor de intensidad de acuerdo con la distancia.

Existen ya programas informáticos dónde se integran todos estos factores.

## **7. APLICACIÓN A LAS BATERÍAS**

La intensidad emitida por la lámpara UVC debe ser capaz de atravesar la batería y aniquilar los microorganismos más lejanos.

En este caso el tiempo no es un problema porque los microorganismos están en reposo.

Conseguida la limpieza de la batería la mejora de la Calidad de Aire Interior está demostrada.

## **8. APLICACIÓN A LOS CONDUCTOS**

Para este caso el tiempo es fundamental y por tanto hay que hacer ensayos y deducir los microorganismos que queremos aniquilar aplicando la fórmula para deducir la velocidad del módulo de UVC.

## **9. APLICACIÓN A LOS MICROORGANISMOS**

Evidentemente que con los emisores instalados aguas abajo de la batería de frío no aniquilamos la mayoría de los microorganismos más resistentes a la UVC ya que el tiempo de estancia en el pleno de las lámparas es muy pequeño.

Pero un microorganismo, en una instalación de aire recirculado, recibe una determinada cantidad de energía en el primer paso, la cual almacena, y al cabo



de un determinado número de recirculaciones de aire ese microorganismo ha almacenado la energía suficiente para su desactivación.

Si todo el aire es exterior habría que calcular todos los factores para que se produjera su aniquilamiento en una sola pasada. Ejemplos de esta aplicación son los quirófanos, salas de aislamiento y salas de inmunodeprimidos.

## **SUMARIO**

Los emisores de UVC:

- Suprimen la limpieza de la batería y de la bandeja de condensación
- Mantienen el rendimiento de la batería como el primer día
- Hacen que el aire sea realmente “AIRE ACONDICIONADO”
- Eliminan MOHOS, BACTERIAS y VIRUS
- Reducen el absentismo e incrementan la productividad
- Aportan beneficios para la salud
- Ahorran en costos de mantenimiento
- Ahorran en COSTOS DE ENERGÍA

## **CONCLUSIONES**

- Los emisores UVC funcionan en todos los sistemas de CVAC y presentan unos rendimientos certificados por laboratorios independientes.
- Los costos de los equipos instalados son bajos y varían entre 0,25 y 0,35 €/m<sup>3</sup> de aire.
- Sin contaminantes secundarios tales como aquellos presentes con ionizadores o biocidas.
- Costes operativos anuales tan bajos como 0,06 €/m<sup>3</sup> de aire.
- Baterías limpias. Los ahorros anuales amortizan el costo de los emisores UVC en menos de 1 año en aplicaciones medias.
- Eliminación de los costos de limpieza de baterías y de otros costos de mantenimiento.
- El rendimiento original de las baterías se mantiene inalterado a lo largo de su vida útil.
- Intensifica la Calidad de Aire Interior al aniquilar todos los microorganismos que anidan en la batería.
- De acuerdo con el número de recirculaciones y porcentaje de aire exterior, los emisores UVC eliminan también la mayoría de los COV'S y microorganismos en suspensión.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Scheir, R., and F.B. Fenci 1996 – Using UVC Technology to Enhance IAQ.  
(Heating/Piping/Air Conditioning – Febrero 1997)
  
- Boletines técnicos de Steril-Aire, Inc.
  
- Lemonick, Michael D. “The killers all around”  
(Time, 12 de septiembre de 1994)
  
- Boletín de Philips Lighting