

## **7. ESTUDIO RCM**

### **7.1 INTRODUCCIÓN**

Una vez estudiada la disposición y funcionamiento de la instalación de climatización, se tiene suficiente información para ver qué partes de ella son más críticas.

Para ver las partes más críticas se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Toda la instalación de climatización está monitorizada, lo que permite detectar la condición de ciertos elementos y los fallos.
- La climatización de un edificio tan grande como un hospital tiene bastante inercia térmica, con lo cual una avería que dure unos pocos minutos tiene generalmente un efecto prácticamente despreciable.
- Hay muchas zonas del hospital donde un fallo de la climatización no es crítico. El que haga más calor o frío durante un cierto periodo de tiempo solo influye sobre el confort, pero no tiene efectos graves en la salud de los pacientes o del resto de usuarios del hospital.
- Hay zonas en las que un pequeño cambio de temperatura puede influir de manera decisiva en la salud de los pacientes.

Teniendo en cuenta estos factores se divide la instalación de climatización en dos zonas: la zona crítica y la zona no crítica. La zona crítica está compuesta por los quirófanos y sala de hemodinámica. La zona no crítica es el resto del hospital.

El mantenimiento de la zona no crítica se realiza de la siguiente manera:

1. Se consulta el programa de mantenimiento recomendado por el fabricante.
2. Se consultan las exigencias legales de mantenimiento.
3. Se consulta a expertos en planes de mantenimiento de cada tipo de maquinaria.
4. Se recopilan todos los datos de las consultas anteriores y se diseña un plan de mantenimiento anual que cumpla todos los requisitos anteriores.
5. Una vez que se ha determinado el plan de mantenimiento a realizar éste se registra en una tabla de Access. Ésta incluye todos los datos suficientes para que el personal de mantenimiento mediante consulta diaria sepa exactamente cómo, dónde y cuándo tiene que realizar el mantenimiento.
6. Por último cada operario imprime un informe que especifica, hora, fecha y resultado de la operación de mantenimiento, que se guarda como comprobante de cada operación. La plantilla del informe está recogida en el anejo 1.

El mantenimiento de la parte crítica requiere un estudio más detallado, que se realiza mediante la metodología RCM (que tendrá en cuenta entre otros factores, tanto las exigencias legales como las recomendaciones del fabricante). Se trata de diseñar un plan mantenimiento que permita practicante disminuir el riesgo de fallos a cero. Una vez diseñado este programa de mantenimiento se introduce en la tabla de Access y donde es consultado por el personal de mantenimiento.

## 7.2. ESTUDIO RCM DE LA CLIMATIZACIÓN DE QUIRÓFANOS

Como los 23 quirófanos con los que cuenta el hospital son exactamente iguales se estudia solo el quirófano uno y después se aplica el plan de mantenimiento resultante a todos los demás.

### - PASO 1:

El elemento a estudiar es toda la instalación que sirve para climatizar el quirófano uno. Esta instalación consta de los equipos que se detallan en la siguiente tabla:

Equipo Nº	Equipo	Función	Elementos principales
1	Calderas	Calentar el agua	1.a. Calderas.
2	Enfriadoras	Enfriar el agua	2.a. Enfriadoras.
3	Red de distribución	Transportar el agua fría y caliente	3.a. Tuberías. 3.b. Válvulas. 3.c. Bombas.
4	Climatizadora de quirófano	Filtrar el aire, calentarlo o enfriarlo y introducirlo en el quirófano	4.a. Compuerta de apertura. 4.b. Compuerta de expulsión. 4.c. Motor ventilador. 4.d. Correa. 4.e. Variador de velocidad. 4.f. Filtros. 4.g. Sensores.

**Tabla 1:** Equipos que constituyen instalación de climatización del quirófano 1.

### - PASO 2:

La climatización del quirófano uno tiene las siguientes funciones:

- . Mantener una temperatura fijada.
- . Filtrar totalmente el aire a la entrada.
- . Renovar periódicamente el aire del interior del quirófano.

### - PASO 3:

La temperatura ideal de realización de operaciones quirúrgicas es de 20 °C según la ASS (American society of surgeon), pero dependiendo del tipo de operación a realizar, esta temperatura puede variar sin afectar al resultado de la operación. Para la determinación del rango de temperaturas real, se ha llevado a cabo una consulta a distintos cirujanos de diferentes especialidades. Con el objeto de fijar el límite del incremento de temperatura se estudian las operaciones más críticas que se van a realizar en el quirófano. Éstas son las operaciones a corazón abierto, donde el incremento máximo de temperatura en alguna de sus fases no debe ser

superior a 4 °C. Se ha calculado que si el sistema de climatización falla totalmente la temperatura del quirófano, debido a la inercia térmica, tarda en variar 4 °C entre 10 y 20 minutos. Esta variación de tiempo se debe a las condiciones externas (temperatura exterior, temperatura interior, actividad dentro del quirófano...). Por tanto para garantizar la seguridad se considerará como fallo del sistema de climatización el cese total de su función durante 10 minutos o más.

Otros fallos muy importantes son la falta de filtrado del aire a la entrada del quirófano y la falta de renovación del aire del quirófano.

**- PASO 4 y 5:**

La identificación de cada una de las causas y efectos de los distintos modos de fallos se recoge en la siguiente tabla (Tabla 2):

Equipo	Elemento	Nº	Función	Modo de fallo	Nº del fallo	Causa del fallo	Efecto local	Efecto en la planta
Calderas	Caldera	1.a	Calentar agua	No calienta el agua	1.a.1	Fallo válvula de estanqueidad, falta de limpieza, mala combustión...	La caldera deja de funcionar	Si no fallan todas ninguno, calderas por duplicado
Enfriadoras	Enfriadora	2.a	Enfriar agua	No enfría el agua	2.a.1	Fallo válvula de expansión, pérdida de aceite, falta de caudal, fallo calentadores.	La enfriadora deja de funcionar	Si no fallan todas ninguno, enfriadoras por duplicado
Red de distribución	Tubería	3.a	Transportar agua	Rotura	3.a.1	Fatiga del material	El agua se fuga de las tuberías	Disminuye la cantidad de agua y por tanto el intercambio de calor que esta realiza.
Red de distribución	Tubería	3.a	Transportar agua	Atasco	3.a.2	Acumulación de impurezas y virutas	El agua no pasa por las tuberías	Disminuye la cantidad de agua y por tanto el intercambio de calor que esta realiza.
Red de distribución	Válvula	3.b	Regular paso de agua	Rotura	3.b.1	Fatiga de los materiales	El agua no es dirigida por las tuberías correctamente	No se intercambia bien el calor por exceso o defecto de agua según zona
Red de distribución	Bomba	3.c	Bombear agua	Rotura	3.b.2	Fatiga de los materiales	El agua no es bombeada	No se intercambia bien el calor por

						Mal contacto eléctrico Acumulación de impurezas	correctamente	exceso o defecto de agua según zona
Climatizadora de quirófano	Compuerta de apertura	4.a	Regular entrada de aire	No abertura	4.a.1	Fallo mecanismo de apertura	No entra aire	No se renueva el aire y no se puede modificar la temperatura interior modifica
Climatizadora de quirófano	Compuerta de apertura	4.a	Regular entrada de aire	No cierre	4.a.2	Fallo del mecanismo de cierre	Entra demasiado aire	No da tiempo a calentar o enfriar el aire
Climatizadora de quirófano	Compuerta de expulsión	4.b	Regular salida de aire	No abertura	4.b.1	Fallo mecanismo de apertura	No sale aire	No se renueva el aire
Climatizadora de quirófano	Compuerta de expulsión	4.b	Regular salida de aire	No cierre	4.b.2	Fallo del mecanismo de cierre	Sale demasiado aire	No da tiempo a calentar o enfriar el aire porque sale antes
Climatizadora de quirófano	Motor ventilador	4.c	Producir un par giratorio	Rotura	4.c.1	Fatiga materiales Mal contacto eléctrico	No entra aire	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire
Climatizadora de quirófano	Correa	4.d	Transmitir el par del motor a las aspas del ventilador	Rotura	4.d.1	Fatiga de los materiales	No entra aire	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire
Climatizadora de quirófano	Variador de velocidad	4.e	Variar la velocidad de giro del ventilador	Rotura	4.e.1	Fatiga de los materiales	El motor no funciona correctamente	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire correctamente
Climatizadora de quirófano	Filtro	4.f	Filtrar el aire	Obstrucción	4.f.1	Acumulación de suciedad	No entra suficiente aire	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire correctamente

Climatizadora de quirófano	Filtro	4.f	Filtrar el aire	Rotura	4.f.2	Fatiga de los materiales	El aire entra sin ninguna resistencia	Entran impurezas en el quirófano
Climatizadora de quirófano	Sensor de compuerta	4.g	Señalizar estado de compuerta	Rotura	4.g.1	Mal contacto eléctrico Fatiga de los materiales	Señala compuerta cerrada cuando está abierta y viceversa	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire correctamente
Climatizadora de quirófano	Sensor de motor ventilador	4.g	Señalizar estado del motor	Rotura	4.g.2	Mal contacto eléctrico Fatiga de los materiales	Señala mal funciona-miento del motor cuando éste está bien y viceversa	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire correctamente
Climatizadora de quirófano	Sensor variador de velocidad	4.g	Señalizar estado del variador	Rotura	4.g.3	Mal contacto eléctrico Fatiga de los materiales	Señala mal funciona-miento del variador de velocidad cuando éste está bien o viceversa	No se calienta, ni enfría, ni renueva el aire correctamente
Climatizadora de quirófano	Sensor de filtro (presión de aire)	4.g	Medir presión de aire antes y después del filtro	Rotura	4.g.4	Mal contacto eléctrico Fatiga de los materiales	Indica mal estado del filtro cuando este está bien y viceversa	No se renueva el aire correctamente
Climatizadora de quirófano	Sensor de temperatura	4.g	Medir temperatura	Rotura	4.g.5	Mal contacto eléctrico Fatiga de los materiales	Indica temperaturas que no son las verdaderas	No se calienta, ni enfría el aire correctamente

**Tabla 2: Fallos y efectos que se producen en la instalación de climatización del quirófano 1.**

- PASO 6:

Una vez descritos los fallos utilizamos la lógica RCM para seleccionar el plan de mantenimiento apropiado.

Elemento	Modo de fallo	Nº del fallo	Operación de mantenimiento propuesta	En caso de fallo (acción correctiva)	Tiempo correctivo (min)
Caldera	No calienta el agua	1.1	Mantenimiento recomendado por el fabricante y impuesto por la ley	Utilización de la caldera de reserva (lo realiza el sistema de control automáticamente)	1
Enfriadora	No enfría el agua	2.1	Mantenimiento recomendado por el fabricante y impuesto por la ley	Utilización de la enfriadora de reserva (lo realiza el sistema de control automáticamente)	1
Tuberías	Rotura	3.a.1	Pintar las tuberías con protector anti-corrosión. Revisión anual de posibles fugas y desperfectos.	Sistema de llenado automático (80 m <sup>3</sup> /hora) Reparar la fuga, mientras se sigue llenando.	1
Tubería	Atasco	3.a.2	Usar agua sin impurezas. Filtrado del agua interior para quitar virutas y resto de metal de las tuberías	Cuando se localiza pequeño atasco purgar y desatascar antes de que vaya a más.	10
Válvula	Rotura	3.b.1	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley. Realizar una prueba de funcionamiento dos veces al año.	Sustituir la válvula encargar comprar una nueva	10
Bomba	Rotura	3.b.2	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley	Automáticamente se ponen a funcionar la bomba auxiliar. (las bombas de impulsión están dobladas y en la de retorno hay siempre una de reserva)	1

Compuerta de apertura	No apertura	4.a.1	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley. Engrasar y revisar mecanismo cada seis meses.	Apertura manual	5
Compuerta de apertura	No cierre	4.a.2	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley. Engrasar y revisar mecanismo cada seis meses	Cierre manual	5
Compuerta de expulsión	No abertura	4.b.1	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley. Engrasar y revisar mecanismo cada seis meses.	Apertura manual	5
Compuerta de expulsión	No cierre	4.b.2	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley. Engrasar y revisar mecanismo cada seis meses.	Cierre manual	5
Motor ventilador	Rotura	4.c.1	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley.	Reparación o sustitución del motor, si hay sustitución se encarga uno nuevo.	10
Correa	Rotura	4.d.1	Sustitución una vez al año	Cambio de la correa	10
Variador de velocidad	Rotura	4.e.1	Mantenimiento recomendado por fabricante y impuesto por la ley	Sustitución o puenteo del variador, si hay sustitución se encarga uno nuevo	10
Filtro (tres tipos de filtro, misma operación)	Obstrucción	4.f.1	Sustitución anual o cuando el sensor del filtro detecte aumento de presión y mantenimiento recomendado por la ley.	Sustitución del filtro y se encarga uno nuevo.	10

Filtro (tres tipos de filtros misma operación)	Rotura	4.f.2	Sustitución anual o cuando el sensor del filtro detecte aumento de presión y mantenimiento recomendado por la ley.	Sustitución del filtro y se encarga uno nuevo.	10
Sensor de compuerta	Rotura	4.g.1	Revisión mensual.	Se anula el sensor y se controla la situación manualmente. Posteriormente sustitución y encargo de uno nuevo	5
Sensor de motor ventilador	Rotura	4.g.2	Revisión mensual.	Se anula el sensor y se controla la situación manualmente. Posteriormente sustitución y encargo de uno nuevo	5
Sensor variador de velocidad	Rotura	4.g.3	Revisión mensual.	Se anula el sensor y se controla la situación manualmente. Posteriormente sustitución y encargo de uno nuevo	5
Sensor de filtro (presión de aire)	Rotura	4.g.4	Revisión mensual.	Se anula el sensor y se controla la situación manualmente. Posteriormente sustitución y encargo de uno nuevo	5
Sensor de temperatura.	Rotura	4.g.5	Revisión mensual.	Se anula el sensor y se controla la situación manualmente. Posteriormente sustitución y encargo de uno nuevo	5

**Tabla 3: Operaciones de mantenimiento y acciones correctivas en la instalación de climatización del quirófano 1.**

## - PASO 7:

Una vez definidas, mediante el estudio RCM, las operaciones de mantenimiento a realizar en la instalación de climatización de los quirófanos, se estudian las exigencias legales de mantenimiento de las mismas. Se comparan las distintas operaciones de mantenimiento y se diseña una política de mantenimiento que cumpla tanto los requisitos legales como los del estudio RCM. Este plan de mantenimiento se introduce en una tabla de acces donde es consultado por el personal de mantenimiento.

## **OTRAS INCIDENCIAS**

En el análisis anterior no se ha tenido en cuenta el caso de un fallo de suministro eléctrico, ya que el hospital cuenta con un sistema de protección cuya actuación es la siguiente:

1. Se realiza el registro automático de la situación de la situación de uso en la que se encuentra cada quirófano (actividad o inactividad).
2. En el momento de que se vaya la corriente solo funciona la climatizadora pequeña, la bomba de quirófanos y el sistema de control.
3. El sistema de control utiliza los datos del registro automático y cierra o abre las válvulas necesarias para que la climatización de los quirófanos en uso sea la más eficiente posible.
4. La energía necesaria para realizar este sistema se obtiene de los generadores, (dos grupos electrógenos en paralelo de 730 KVAS cada uno), que empiezan a funcionar justo al perderse el suministro eléctrico.
5. Solo funciona la climatización de las partes críticas porque es prácticamente imposible tener un generador que cubra todas las necesidades energéticas del hospital.
6. Los planes de climatización de los quirófanos se probaron en simulacros antes de que se pusiera en marcha el hospital, y funcionan correctamente.
7. El generador es una parte importante de este sistema además es crítica porque es un sitio típico donde se pueden encontrar fallos ocultos, por lo que debe realizarse un estudio RCM del mismo.

El estudio de los planes de mantenimiento de este sistema incluido el grupo electrógeno, no forma parte del objeto del presente proyecto, que afecta exclusivamente al sistema de climatización, por lo que no se realiza el citado estudio.

### 7.3. ESTUDIO RCM DE LA SALA DE HEMODINÁMICA

La sala de hemodinámica es el lugar donde están situadas las máquinas que producen los rayos X. Estos rayos se utilizan para ir viendo, de manera continua el paciente mientras se le realiza un cateterismo. Estas máquinas producen una gran cantidad de calor y si no se refrigeran rápidamente dejan de funcionar ocasionando un gran riesgo para el paciente. Por tanto se considera esta sala como una parte crítica y se estudia con el método RCM:

- **PASO 1:**

El elemento que analizamos es la sala de hemodinámica.

- **PASO 2:**

En esta sala están situadas las máquinas productoras de rayos X que producen una gran cantidad de calor y que solo funcionan si están a una temperatura inferior a 25 grados.

- **PASO 3:**

Se considerará fallo del sistema cuando la temperatura a la que se encuentra la sala no permite el funcionamiento de las máquinas productoras de rayos X. Esta temperatura es 25 °C. Para dejar tres grados de margen de seguridad, se considera fallo del sistema cuando la temperatura sube de 22 °C.

- **PASO 4:**

El fallo de la climatización en esta sala se puede producir por multitud de causas, ya que esta parte del hospital no tiene un diseño especial, como era el caso de los quirófanos. Por tanto, los fallos se pueden producir desde en las enfriadoras o calderas hasta en los fancoils, pasando por todas la red de distribución (bombas, válvulas, tuberías....). Asegurar que no se produzca un fallo en esta zona es lo mismo que asegurar que no se produzca un fallo en ninguna de las otras partes de hospital. Esto además de innecesario, es tremendamente caro por lo que se busca otra solución que solo asegure que no se produzcan fallos en las zonas críticas.

- **PASO 5:**

Cada uno de los fallos que se pueden producir en el apartado anterior tiene como consecuencia que la máquina productora de rayos no trabaje por no estar suficientemente refrigerada.

- **PASO 6:**

Utilizando la lógica RCM se llega a una solución bastante práctica que es la instalación de un *split*, es decir un aparato totalmente independiente del resto de la instalación. Después de un estudio de las características de la habitación se ha optado por la instalación del modelo *ASG24F GeneralFujitsu*. Este aparato está conectado a la red y está programado para que cuando se alcanza una temperatura superior a 22 °C empieza a funcionar.

El *split* también está conectado al generador para que en caso de que se interrumpa el suministro eléctrico siga funcionando con el mismo rango de funcionamiento.

A este aparato se le realiza un estudio RCM ya que es una pieza muy importante del sistema y un lugar típico donde se pueden encontrar fallos ocultos.

