

CAPÍTULO 7

Centrífuga

Código (s) ECRI	Denominación (es) ECRI
15-115	Centrífugas de pie, baja velocidad, no refrigeradas, para bancos de sangre
15-116	Centrífugas de pie
15-117	Centrífugas de pie, baja velocidad, refrigeradas

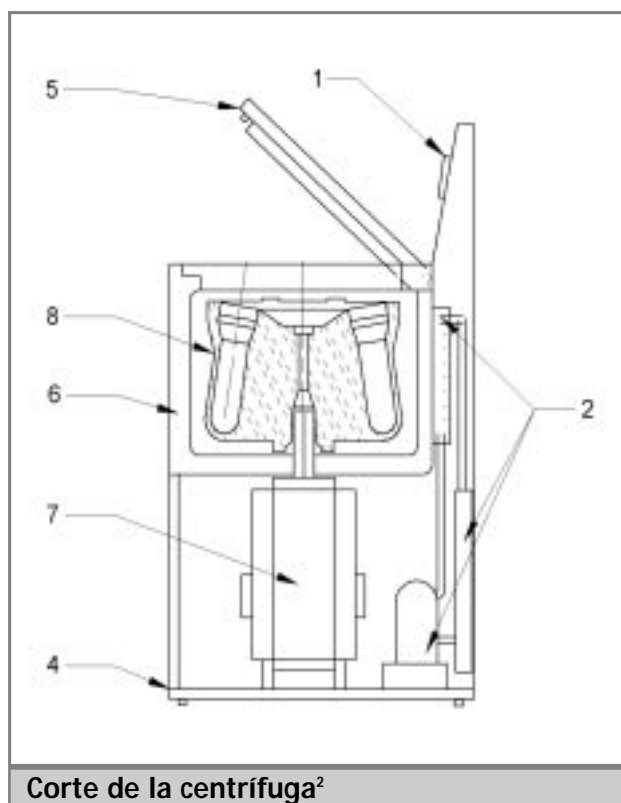
CENTRÍFUGA

La palabra *centrífuga* proviene de la palabra latina *centrum* que significa *centro* y de la palabra *fugare* que significa *huir*. La centrífuga está diseñada para utilizar la fuerza centrífuga que se genera en los movimientos de rotación, con el fin de separar los elementos constituyentes de una mezcla. Existe una amplia diversidad de centrífugas para poder atender necesidades específicas de la industria y la investigación. El presente capítulo se enfoca en analizar las centrífugas de pie que normalmente utilizan los laboratorios clínicos y de salud pública.

FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA¹



Fotografía



Corte de la centrífuga²

PROPÓSITO DE LA CENTRÍFUGA

La centrífuga se ha diseñado para utilizar la fuerza centrífuga –fuerza que se genera cuando un objeto rota alrededor de un punto–, para separar sólidos suspendidos en un medio líquido por sedimentación o para separar líquidos de diversa densidad. Los movimientos rotacionales permiten generar fuerzas mucho más grandes que la gravedad, en períodos controlados de tiempo. En el laboratorio las

¹ *Centrifuges, rotors, tubes and accessories*, Beckman Coulter Co. BR8102J.

² Los números de las partes corresponden a los componentes descritos más adelante.

centrífugas se utilizan, en general, en procesos como la separación por sedimentación de los componentes sólidos de los líquidos biológicos y, en particular, en la separación de los componentes de la sangre: glóbulos rojos, glóbulos blancos, plasma y plaquetas, entre otros, y para la realización de múltiples pruebas y tratamientos.

Hay diversas clases de centrífugas, entre las que se citan las siguientes: la centrífuga de mesa, la ultracentrífuga, la centrífuga para microhematocrito y la centrífuga de pie, que son las de más amplio uso en los laboratorios de salud pública, de investigación y clínicos, entre otros.

PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

Las centrífugas son una aplicación práctica de las leyes del movimiento de Newton. Cuando un cuerpo de masa $[m]$ gira alrededor de un punto central $[O]$, experimenta una fuerza $[N]$ denominada *centrípeta* en la dirección del eje de rotación, de magnitud igual $N = -m\omega^2R$, donde: $[m]$ es la masa del cuerpo, $[R]$ el radio de giro y ω la velocidad angular. La centrífuga dispone de un eje –giratorio– sobre el cual se encuentra montado un elemento denominado rotor, el cual dispone de un sistema de alojamiento, donde se colocan las muestras. La velocidad tangencial viene dada por la ecuación $Vt = \omega R$.

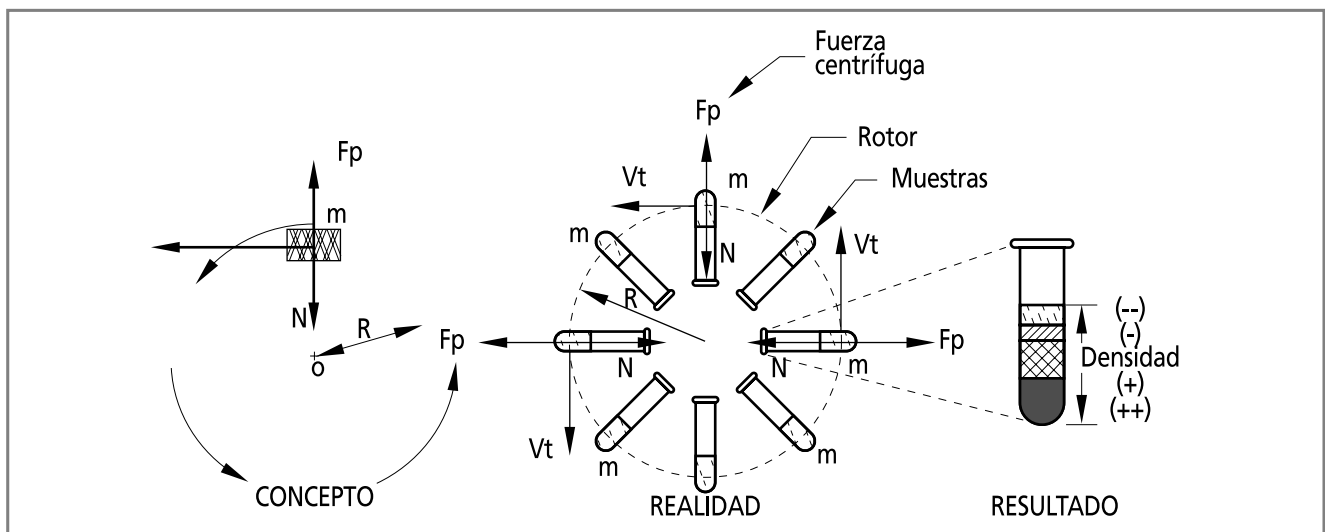


Ilustración 20: Concepto de fuerza centrífuga

Cuando el sistema gira a una velocidad de ω radianes por segundo, las muestras "parecen sentir" una fuerza **Fp**, de la misma magnitud de **N**, pero de sentido contrario. A esta fuerza comúnmente se la conoce como *fuerza centrífuga*. El esquema mostrado³ representa la situación mencionada y resalta un diagrama de cuerpo libre del concepto, un diagrama de su aplicación en la realidad y un diagrama del resultado obtenido. Dicha fuerza actúa sobre las partículas de la sustancia que está siendo centrifugada, produciendo que la misma se separe como resultado de las diferencias de densidad, de forma que en el fondo del tubo estarán las partículas más densas, las cuales se sedimentan en períodos de

tiempo más cortos, mientras que las más ligeras requieren de mayores tiempos de centrifugación para poder sedimentarse, y se encuentran depositadas sobre las de mayor densidad. La relación entre la aceleración centrífuga $[\omega^2r]$ a un radio dado $[r]$ y la fuerza de la gravedad $[g]$ se conoce como *campo o fuerza centrífuga relativa* [RCF]⁴.

$$RCF = \frac{\omega^2 r}{g}$$

El RCF es la herramienta que permite comparar rotores de diferentes especificaciones, cuando se requieren efectos centrífugos equivalentes.

³ Las leyes del movimiento de Newton, junto con las explicaciones de los marcos inerciales de referencia, pueden consultarse en libros de física, capítulos de movimiento circular uniforme.

⁴ RCF. *Relative Centrifugal Field, Campo Centrifugo Relativo.*

COMPONENTES DE LA CENTRÍFUGA

Los componentes más importantes de una centrífuga son los siguientes⁵:

El control eléctrico/electrónico que dispone generalmente de los siguientes elementos:


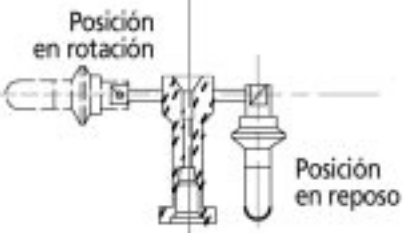

1. Control de encendido y apagado, control de tiempo de operación –temporizador–, control de velocidad de rotación –en algunas centrífugas–, control de temperatura –en centrífugas refrigeradas–, control de vibraciones –mecanismo de seguridad– y sistema de freno.
2. Sistema de refrigeración, en las centrífugas refrigeradas.
3. Sistema de vacío, en ultracentrífugas. (No consta en la ilustración).

4. Base.
5. Tapa.
6. Carcaza.
7. Motor eléctrico.
8. Rotor. Existen rotores de diverso tipo, los más comunes son los de ángulo fijo, los de cubo pivotante, los de tubo vertical y los de tubo casi vertical, los cuales se explican a continuación.

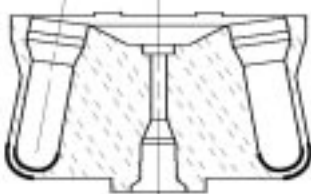
Tipos de rotores

Las centrífugas utilizan diversas clases de rotores. Dentro de los más utilizados están los siguientes:

Tipos de rotores

TIPO DE ROTOR	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA CORTE TRANSVERSAL
Rotores de ángulo fijo	Son rotores de propósito general. Mantienen los tubos en un ángulo fijo [α] que por diseño está especificado entre los 20 y los 45 grados. Se utilizan para sedimentar partículas subcelulares. El ángulo acorta la trayectoria de las partículas y los tiempos de centrifugado, si se comparan con los rotores de cubo pivotantes.	
Rotores de cubo pivotante	Se utilizan para realizar estudios isopícnicos –separaciones como una función de la densidad– y estudios de tasa zonal –separaciones como una función de los coeficientes de sedimentación–, donde se requiere máxima resolución de zonas de la muestra.	
Rotores de tubo vertical	Este tipo de rotor mantiene los tubos paralelos al eje de rotación. Así se logran obtener bandas separadas, a través del diámetro de tubo y no la longitud del tubo. Estos rotores se usan para realizar estudios isopícnicos y en algunos casos separaciones de tasa zonal, donde la reducción del tiempo de centrifugado es importante. Estos rotores utilizan tubos de diseño especial.	

⁵ Los números que identifican cada componente corresponden a los indicados en el esquema.

TIPO DE ROTOR	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA CORTE TRANSVERSAL
Rotores de tubo casi vertical	Este tipo de rotor está diseñado para centrifugación gradiente, cuando hay componentes en la muestra que no participan en el gradiente. El ángulo pequeño de estos rotores reduce el tiempo de centrifugado, en comparación con los rotores de ángulo fijo.	

Normalmente, los fabricantes especifican los rotores de las centrifugas mediante la publicación de tablas especializadas que contienen la siguiente información:

1. *Tipo de rotor.* Precisa el tipo de rotor para el cual suministra la información técnica.
2. *Capacidad nominal del rotor.* Define la capacidad en litros o submúltiplos de litro. Por ejemplo: 6 litros; 250 ml, etc.
3. *Velocidad máxima de operación.* Indica a qué velocidad máxima deberá operarse ese tipo particular de rotor en revoluciones por minuto (RPM).
4. *Máximo Campo Centrifugo Relativo (RCF)* obtenido por ese tipo de rotor.
5. *Factor k* que es el coeficiente de sedimentación, el cual está definido por la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\ln(r_{max} / r_{min})}{3600} \times 10^{13}$$

donde:

- ω = velocidad angular en radianes por segundo
- r_{max} = radio máximo en mm, medido en el tubo de centrifugación
- r_{min} = radio mínimo en mm, medido en el tubo de centrifugación

Este factor permite calcular el tiempo en horas requerido para la sedimentación.

6. Información sobre la compatibilidad del rotor en mención con otros modelos de centrifuga del mismo fabricante.

Las centrifugas de fabricación reciente han incorporado, en su diseño, innumerables mejoras que buscan una mayor seguridad y una

mayor duración y vida útil. Entre los avances en mención, se encuentran los controles con base en microprocesadores que, mediante *software*, permiten tener en memoria diversos programas de operación, los cuales se controlan a través de un teclado. De acuerdo con el tipo de rotor que se utilice y el tipo de procedimiento a realizar, los programas controlan el tiempo de centrifugado, la temperatura requerida, las revoluciones del rotor, la aceleración y desaceleración, y un sistema completo de alarmas avisa al operador sobre cualquier anomalía que se presente durante la operación.

Por otra parte, los fabricantes han instalado motores de inducción –sin escobillas– en las centrifugas, ya que tienen la ventaja de controlar electrónicamente las corrientes y campos magnéticos que regulan la velocidad del rotor, aspecto que reduce la periodicidad de los procedimientos de mantenimiento. La operación y mantenimiento de tales equipos deben realizarse de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes.

SERVICIOS REQUERIDOS

Las centrifugas requieren para su normal operación de lo siguiente:

1. Acometida eléctrica con capacidad adecuada al consumo del equipo, que suministre voltaje estable de tipo monofásico o trifásico –depende del modelo y especificación dada por el fabricante–. Por lo general, utilizan 110 V o 220 V/60 Hz.
2. Un ambiente limpio, libre de polvo que disponga de piso firme y nivelado.

3. Si la centrífuga es refrigerada, requiere de un espacio libre en el lado del condensador, para que pueda haber una transferencia de calor adecuada.
4. Un mueble en el cual puedan guardarse los accesorios que, como los rotores alternos, complementan la dotación de las centrífugas.

RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Las rutinas de mantenimiento que requiere una centrífuga dependen de múltiples factores, tales como la tecnología incorporada, la intensidad de uso, la capacitación de los usuarios, la calidad de la alimentación eléctrica y las condiciones del ambiente donde se encuentra instalada. A continuación, se presentan las recomendaciones generales para la adecuada utilización y las rutinas de mantenimiento más comunes para garantizar una correcta operación. Las rutinas o reparaciones especializadas dependerán de las recomendaciones que, para cada marca y modelo, establezcan los fabricantes.

Recomendación prioritaria: Verificar que únicamente el personal que haya recibido y aprobado la capacitación de manejo, uso, cuidado y riesgos de la centrífuga la opere. Es responsabilidad de los directores de los laboratorios vigilar y tomar las precauciones que consideren oportunas para que el personal que las opera entienda las implicaciones de trabajar esta clase de equipo.

RECOMENDACIONES DE CONSERVACIÓN Y MANEJO ADECUADO⁶

Rotores

1. Registrar la fecha de compra de cada uno de los rotores, incluyendo información relacionada con el número de serie y modelo.
2. Leer y entender los manuales de los rotores, equipo y tubos, antes de que los mismos sean utilizados. Cumplir con las indicaciones de uso y cuidado que especifica el fabricante.
3. Utilizar los rotores únicamente en las centrífugas para las cuales han sido fabricados. No intercambiar rotores sin verificar la compatibilidad con la centrífuga en la cual se instala.
4. Registrar los parámetros de operación para cada rotor en una bitácora, para poder determinar su vida útil remanente y gestionar a tiempo la adquisición de los reemplazos.
5. Utilizar las recomendaciones de velocidad máxima y densidad de las muestras que recomienda el fabricante. Cada rotor está diseñado para soportar un máximo nivel de esfuerzo; dichas especificaciones deben ser respetadas rigurosamente.
6. Acatar las recomendaciones relativas a reducir la velocidad de operación cuando se trabaja con soluciones de alta densidad, con tubos de acero inoxidable o adaptadores plásticos. Los fabricantes suministran la información correspondiente.
7. Utilizar rotores de titanio si se trabaja con soluciones salinas frecuentemente.
8. Proteger el recubrimiento de los rotores para evitar que se deteriore el metal base. No utilizar detergentes alcalinos o soluciones limpiadoras que pudieran remover la película protectora. Los rotores, generalmente fabricados de aluminio [Al], están recubiertos por una película de aluminio anodizado que protege la estructura del metal.
9. Utilizar cepillos plásticos en las actividades de limpieza de los rotores. Los cepillos metálicos rayan el recubrimiento protector y esto genera fuentes de futura corrosión, que se aceleran bajo las condiciones de operación que acortan la vida útil remanente del rotor.

⁶ <http://www.sunysb.edu/facilities/ehs/lab/cs.shtml>

10. Lavar el rotor inmediatamente en el caso de que se presenten derrames de sustancias corrosivas.
11. Secar el rotor con aire seco, siempre que haya sido limpiado y enjuagado con agua.
12. Almacenar los rotores de tubo vertical o tubo casi vertical, con el lado superior hacia abajo y sin las respectivas tapas.
13. Almacenar los rotores en ambientes secos. Evitar dejarlos en la centrifuga.
14. Almacenar los rotores de cubo pivotante sin las tapas de los compartimentos.
15. Lubricar las roscas y los anillos tipo O, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
16. Observar las recomendaciones relacionadas con tiempos de garantía y vida útil de cada tipo de rotor.
17. Evitar utilizar rotores a los cuales se les ha terminado el período de vida útil.
18. Utilizar blindajes si se usa la centrifuga con material radiactivo.
19. Cargar o descargar los rotores dentro de una cabina de seguridad biológica, si se trabaja con materiales clasificados como de *bioriesgo* de nivel II o superior.
20. Nunca tratar de abrir la tapa de una centrifuga que esté funcionando y nunca intentar detener el rotor con la mano.

Tubos

El cuidado de los tubos abarca aspectos como el llenado del tubo, la selección adecuada de temperatura, las limitaciones de velocidad de centrifugación, el lavado y la esterilización. Las principales recomendaciones en relación con los aspectos mencionados son las siguientes:

1. Lavar los tubos, adaptadores y demás accesorios a mano, utilizando un detergente suave, diluido en una relación de 1:10 en agua y un cepillo de textura suave –no metálico–. Evitar usar lavaplatos automáticos.
2. Evitar el uso de alcohol y acetona, pues dichos materiales afectan la estructura de los tubos. Los fabricantes recomiendan el tipo de solvente que debe utilizarse con cada tipo de material con que se fabrican los tubos de centrifugación.
3. Evitar secar los tubos en un horno de secado. Secar siempre con un chorro de aire seco.
4. Verificar si los tubos utilizados son reutilizables o no. Si son desechables, utilizarlos solo una vez.
5. Para esterilizar, previamente es necesario verificar el tipo de material del tubo, pues no todos soportan la esterilización por calor. La cristalería se esteriliza normalmente con vapor a 121 °C durante 30 minutos.
6. Almacenar los tubos y las botellas en un lugar seco, oscuro y fresco, alejado de fuentes de vapores químicos o fuentes de radiación ultravioleta.
7. Verificar los niveles de llenado y el selle en los tubos de pared delgada, para evitar su colapso dentro del rotor por acción de la fuerza centrífuga. Cumplir las recomendaciones de los fabricantes.

Mantenimiento preventivo

Advertencia: Nunca efectuar una intervención técnica en una centrifuga, si la misma no ha sido previamente descontaminada.

Las rutinas de mantenimiento más importantes que se le efectúan a una centrifuga son estas:

Frecuencia: Mensual

1. Verificar que los componentes externos de la centrifuga se encuentren libres de polvo

y de manchas. Evitar que el rotor se afecte por derrames. Limpiar el compartimiento del rotor, utilizando un detergente suave.

2. Comprobar que el mecanismo de acople y ajuste de los rotores se encuentre en buen estado. Mantener lubricados los puntos que recomienda el fabricante.
3. Verificar el estado del mecanismo de cierre / seguridad de la tapa de la centrífuga, pues es fundamental para garantizar la seguridad de los operadores. El mecanismo mantiene cerrada la tapa de la centrífuga, mientras el rotor se encuentra girando.
4. Confirmar la lubricación de los elementos que recomienda el fabricante, como sellos tipo O. Utilizar siempre lubricantes de acuerdo con las recomendaciones del fabricante –frecuencia y tipo de lubricantes–. En centrífugas de fabricación reciente se usan rodamientos sellados que no requieren lubricación.
5. Verificar el estado de los empaques y juntas de estanqueidad.

Frecuencia: Anual

1. Verificar que las tarjetas electrónicas se encuentren limpias y bien conectadas.
2. Comprobar el grupo de control, el cual dispone de selectores de velocidad, tiempo de centrifugado, temperatura de operación, alarmas e instrumentos análogos o digitales para registrar los parámetros de operación de la centrífuga.
3. Verificar el cumplimiento de normas eléctricas. Utilizar un analizador de seguridad eléctrica: pruebas de resistencia a tierra, corrientes de fuga.
4. Si la centrífuga es refrigerada, comprobar la temperatura mediante el termómetro electrónico. La temperatura no debe variar más de ± 3 °C.
5. Examinar la exactitud de los controles de tiempo. Utilizar un cronómetro. El tiempo

medido no debe variar más de ± 10 % del tiempo programado.

6. Verificar la velocidad de rotación real contra la seleccionada, utilizando una carga normal. La comprobación se efectúa con un tacómetro o un fototacómetro. Si la compuerta no es transparente, debe seguirse el procedimiento que para el efecto indique el fabricante.
7. Confirmar el funcionamiento del sistema de freno.
8. Verificar el funcionamiento del sistema de refrigeración; solo en centrífugas refrigeradas. Las actividades más importantes son las siguientes:
 - a) Controlar que las temperaturas seleccionadas no difieran más de 3 °C, de las temperaturas medidas con el termómetro digital.
 - b) Verificar el estado del filtro de la toma de aire. Si el filtro se encuentra obstruido, limpiar o sustituir por un equivalente.
 - c) Efectuar una limpieza detallada de las aletas difusoras del condensador, para eliminar la suciedad que se deposita sobre ellas. Esto mantiene las tasas de transferencia de calor, según las especificaciones de diseño. Si se detecta un funcionamiento anormal, solicitar servicio técnico especializado.
 - d) Verificar el estado de las escobillas del motor, si la centrífuga dispone de motor con escobillas. Sustituir por nuevas –de la misma especificación original–, en caso de ser requerido. Realizar esta rutina cada seis meses.

Nota: Evitar derrames de líquidos sobre el teclado de control. Los teclados de membrana deben operarse con la yema de los dedos. Evitar que el operador utilice la punta de la uña, pues termina perforando la membrana de protección.

Herramientas e instrumentación requerida

Para poder realizar las inspecciones de mantenimiento requeridas normalmente por una centrífuga, son necesarios los siguientes instrumentos o herramientas:

1. Una llave para apretar o aflojar la tuerca del rotor.

2. Un analizador de seguridad eléctrica o un instrumento para medir corrientes de fuga
3. Un cronómetro.
4. Un termómetro electrónico con exactitud de 0,5 °C para centrífugas refrigeradas únicamente.
5. Un tacómetro o fototacómetro.

Tabla de solución de problemas

Rotores⁷

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
Vibración severa.	Rotor desbalanceado.	Balancear la carga del rotor. Llenar todos los tubos opuestos con el mismo nivel de líquido de la misma densidad. Distribuir simétricamente el peso de tubos opuestos. Cargar los rotores de ángulo fijo o de tubo vertical de forma simétrica.
	Velocidad seleccionada cerca del rango de velocidad crítica del rotor.	Seleccionar una velocidad de rotación fuera del rango de velocidad crítica.
	Rotor mal montado.	Verificar el montaje del rotor. Comprobar que se encuentre bien ajustado.
	Falta lubricación en los soportes de los rotores de cubo pivotante.	Lubricar los ejes de pivote según recomendación del fabricante. Por ej. cada 250 procedimientos de centrifugado.
Tapas de los rotores, canister o cubos difíciles de aflojar después de la centrifugación.	Producción de vacío durante la centrifugación.	Abrir el conducto de ventilación en la parte superior del rotor o cubo, para eliminar el vacío.
	Roscas contaminadas con suciedad, lubricantes secos o partículas metálicas.	Efectuar limpieza rutinaria a las roscas y lubricar. Utilizar insumos recomendados por los fabricantes.

Tubos

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
Los tubos presentan fugas.	Tapas mal aseguradas.	Ajustar las tapas.
	Tubos demasiado llenos.	El menisco deberá estar más bajo para prevenir las fugas.
	En tubos sin tapa, se ha excedido el nivel máximo recomendado.	Verificar las recomendaciones de volumen y la velocidad de centrifugado recomendada.
	En tubos de sello rápido, se presume un sellado deficiente.	Presionar suavemente, después de sellar en caliente –solo si no se afecta el contenido–. Si se presentan fugas, sellar de nuevo.

⁷ *Rotors and Tubes for Beckman Coulter J2, J6 and Avanti® J series centrifuges, User's Manual*, Palo Alto, California, The Spinco Business Center of Beckman Coulter, 2001.

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
Los tubos se rajan o rompen.	Los tubos pueden romperse o volverse frágiles si se usan por debajo del límite de la temperatura recomendada.	Calentar hasta 2 °C, si la muestra está congelada, antes de centrifugar. Evaluar antes de centrifugar el comportamiento de los tubos a baja temperatura.
	Los tubos se vuelven frágiles con la edad y el uso.	Desechar tubos vencidos, utilizar nuevos.

Sistemas varios

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
El interruptor principal está en posición de encendido pero la centrífuga no funciona.	No hay energía eléctrica.	Verificar suministro de energía eléctrica.
La tapa de la centrífuga no abre.	Centrífuga apagada.	Encender la centrífuga. Presionar la manija y abrir la tapa.
El indicador de balanceo se activa.	Carga a centrifugar desbalanceada.	Balancear la carga a centrifugar.
	Centrífuga desnivelada.	Nivelar la centrífuga.
Existe vibración a baja velocidad.	Mecanismo de ajuste del rotor flojo.	Ajustar correctamente el sistema de fijación.
	Carga desbalanceada.	Verificar el balanceo de la carga a centrifugar.
	Velocidad seleccionada cercana al punto de resonancia del rotor.	Seleccionar una velocidad de rotación más elevada o utilizar un tipo de rotor diferente.
Existen fluctuaciones en la velocidad de rotación.	Correas de transmisión en mal estado (*).	Apagar la centrífuga. Verificar la condición y estado de las correas. Las correas deben estar templadas.
La velocidad de rotación no llega a la velocidad seleccionada.	Escobillas defectuosas.	Apagar la centrífuga. Verificar el estado de las escobillas. Sustituir si es del caso por otras de la misma especificación de las originales.
	Calibración del control de velocidad desajustado.	Ajustar calibración del control de velocidad.
La cámara está fría pero el rotor caliente.	Selección incorrecta de la temperatura.	Verificar selección de la temperatura.
El testigo de estado de escobillas está encendido.	Escobillas en mal estado.	Apagar la centrífuga. Verificar estado. Sustituir escobillas por otras de igual especificación.

* Procedimiento válido en centrífugas, con sistema de transmisión de potencia por correas.

DEFINICIONES BÁSICAS

Densidad. Masa de un cuerpo por unidad de volumen.

$$[D = \frac{m}{V}] \quad \text{Se expresa generalmente en gramos por cm}^3.$$

Escobilla. Dispositivo mediante el cual se efectúa la transmisión de la energía eléctrica, entre la acometida externa –cables en estado estático– y los componentes internos –en rotación–

de un motor. Por lo general, las escobillas son fabricadas en grafito de textura muy blanda y son un insumo que debe cambiarse con regularidad (cada seis meses) en los motores que las utilizan.

Fuerza centrífuga. Fuerza que actúa sobre una partícula y trata de alejarla del centro de rotación; se entiende también como la tendencia que tiene todo sólido en rotación a alejarse del eje. Es uno de los componentes del vector de inercia que equilibra el conjunto de

fuerzas que actúan sobre una partícula. Su magnitud siempre es $-m \times a_N$ y su dirección, radial alejándose del centro.

Radián. Unidad angular en la cual la longitud del arco que lo forma es igual al radio del círculo. Se expresa como el cociente entre el arco formado por el ángulo, con su vértice en el centro de un círculo, y el radio de dicho círculo.

RCF (Campo Centrífugo Relativo). Relación de la aceleración centrífuga a una velocidad y un radio específicos, dado $[r\omega^2]$ con la aceleración normal de la gravedad. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RCF = \frac{\quad}{g}$$

donde:

R = radio en mm
 ω = velocidad angular en radianes por segundo $\left[\frac{2\pi \times rpm}{60} \right]$

g = aceleración estándar de la gravedad = 9 807 mm/s²

Recubrimiento anodizado. Capa delgada y dura de óxido de aluminio que se deposita en la superficie de un rotor mediante procesos electroquímicos, con el fin de prevenir la corrosión. El recubrimiento también logra acabados de diferente color para una mejor estética.

Resonancia. Situación en la que un sistema mecánico vibra como respuesta a una fuerza aplicada con la frecuencia natural del sistema.

Sedimentación. Asentamiento de las partículas de una suspensión como resultado de la acción de la fuerza gravitacional de la tierra. En la centrífuga, este proceso es mucho más acelerado y las partículas se alejan del eje de rotación.

Separación isopícnica. Método para separar partículas con base en la densidad de flotación de la partícula. Se le conoce como sedimentación en equilibrio. La velocidad de la partícula, debido a las diferencias de densidad, está dada por la fórmula:

$$v = (d^2(\rho_p - \rho_c) / 18\mu) \times g$$

donde:

v = velocidad de sedimentación $\left(\frac{dr}{dt} \right)$
d = diámetro de la partícula
 ρ_p = densidad de la partícula
 ρ_c = densidad de la solución
 μ = viscosidad del medio líquido
g = aceleración estándar de la gravedad

Velocidad angular. Tasa de giro de un cuerpo medida en radianes por segundo. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{2\pi \times rpm}{60}$$

donde:

rpm = revoluciones por minuto
 π = constante con valor de 3,1416

Bibliografía

Mantenimiento y reparación de equipos de laboratorio, diagnóstico por imagen y hospital, Ginebra, Suiza, Organización Mundial de la Salud, 1996.

Manual de operación y cuidados del equipo del laboratorio clínico, Proyecto de mantenimiento hospitalario, San Salvador, El Salvador, GTZ-Ministerio de Salud Pública, 1998, 5-7. (<http://www.gruposaludgtz.org/proyecto/mspas-gtz/Downloads/Laboratorio-Clinico.pdf>)

Rotors and Tubes for Beckman Coulter J2, J6 and Avanti® J series centrifuges, User's Manual, Palo Alto, California, The Spinco Business Center of Beckman Coulter, 2001. (<http://arcturi.swmed.edu/cue/centrifuges/JR%26T.pdf>)

Rotors and Tubes for Beckman Coulter tabletop preparative ultracentrifuges Optima TM MAX and MAX C, User's Manual, Palo Alto, California, The Spinco Business Center of Beckman Coulter, 2001.

SERO-FUGE Centrifuge, Mod 0521 and 0522, Operator manual, Clay Adams, Division of Becton Dickinson and company.

Universal Medical Device Nomenclature System™ (UMDNS), *Product Categories Thesaurus*, ECRI, 5200 Butler Pike, Plymouth Meeting, PA, USA, 2000.

(<http://web.princeton.edu/sites/ehs/labsafetymanual/sec7i.htm>)

