

Fórmula para infusión controlada de soluciones

Mario Javier García · Bucaramanga, Santander

Con alguna frecuencia nos vemos en la imperiosa necesidad de tener que instilar e infundir soluciones en perfusión continua, cuya utilización es, sin lugar a dudas, delicada, y requiere precisión en la rata de infusión, por supuesto en la dosificación y ,además de todo, rapidez en la prescripción e inicio de la misma.

No es raro que en situaciones precarias esto es, en centros de salud periféricos o rurales e incluso en centros asistenciales de segundo o tercer nivel, o durante la remisión de un paciente a un centro de referencia, usted se vea en la obligación de instilar infusiones de adrenalina, dopamina, aminofilina, sulfato de magnesio, midazolam, fentanyl, lidocaína, etc., sin el apoyo de una *bomba de infusión*.

Por supuesto el asunto no deja de ser riesgoso y muy delicado dado el tipo de fármaco que usualmente se administra en infusión continua.

Por otro lado, también es cierto que en la mayoría de las circunstancias en las que un médico se ve en la necesidad de infundir una solución de manera controlada, se encuentra ante un paciente crítico que requiere el inicio de la medicación lo antes posible. Luego la variable tiempo se convierte en un factor importante en el momento de decidir la prescripción en infusión continua de un fármaco de delicado control.

Suponga usted que se encuentra en un centro de asistencia rural ante un paciente de 70 kg de peso, hipotenso, oligúrico, politraumatizado, al que después de haber controlado los sitios de sangrado, reanimado con líquidos endovenosos y transfundido, decide instilar una infusión de dopamina a 5 mcg/kg/min mientras lo remite al centro de referencia más cercano.

La enfermera que lo acompaña le dice que cuenta con una ampolla de dopamina, equipos de goteo B-D plastiset y bolsas de solución salina normal (SSN) de 1000 cc. La enfermera prepara la mezcla -una ampolla de dopamina en 1000 cc de SSN- purga el equipo y le pregunta: ¿A cuántas gotas/min le paso el goteo, doctor?

Usted puede sentarse a desarrollar una serie de reglas de tres simples directas hasta que dé con la respuesta. En un sondeo entre 40 estudiantes de medicina, internos y residentes, se observó que en promedio el tiempo invertido en realizar el cálculo del problema anterior fue 5 minutos 30 segundos con un rango entre 3'07" y 10'30" y el 40% de los mismos no pudo resolver el problema o su respuesta fue incorrecta.

Con la fórmula propuesta en la ecuación 1 este mismo cálculo no demanda más de 10 a 15 segundos.

Debe prestar especial atención a la utilización de las unidades de manera adecuada. En la Tabla 1 se definen las unidades para cada variable y se proporcionan algunos ejemplos.

Consideraciones

- En las velocidades de infusión tanto del fármaco como de la solución las unidades de tiempo son minutos (min).

Ecuación 1. Fórmula para infusión controlada de soluciones

$$\text{Vel. Inf. Fmco} = \frac{\text{Vel. Inf. Sl} \times \text{Masa} \times \text{K (de goteo)}}{\text{Vol. Total} \times 60}$$

Tabla 1. Unidades utilizadas para cada variable en la Fórmula para Infusión Controlada de Soluciones

Variable	Nombre	Unidades	Ejemplo
Vel. Inf. Fmco	Velocidad de infusión del fármaco	Masa/min	Mcg,mg/min
Vel. Inf. Sl	Velocidad de infusión de la solución	Gotas/min	Gotas/min
Masa	Cantidad total de fármaco preparada en la mezcla	Masa	Mcg,mg
K	Constante de goteo para el equipo utilizado	cc x min / gotas x h	-
Vol.	Volumen total preparado	cc	cc
60	Constante	min/h	-

- La unidad de masa puede ser cualquier unidad de masa (mg, mcg, gr, meq, mmol, etc.) desde que sea igual a la utilizada en la velocidad de infusión del fármaco (mg/min, mcg/min, gr/min, meq/min, mmol/min). Es decir debe existir coherencia entre las unidades de la *velocidad de infusión del fármaco* y de la *masa*.
- La velocidad de infusión de la solución siempre se expresa en gotas por minuto -en esta fórmula-.
- El volumen siempre se expresa en centímetros cúbicos o mililitros (cc o ml).

Volviendo al problema planteado, la pregunta de la enfermera: ¿A cuántas gotas/min le paso el goteo doctor? se refiere a la *velocidad de infusión de la solución (Vel.Inf.SI)*.

Si reemplazamos en la ecuación 1 obtenemos:

$$350 \text{ mcg/min} = \frac{\text{Vel.Inf.SI(gotas/min)} \times 200,000 \text{ mcg} \times 4 \text{ (cc} \times \text{min/gotas} \times \text{h)}}{1.000 \text{ cc} \times 60 \text{ (min/h)}}$$

- 4 es la constante de goteo del equipo que se va a utilizar. Las constantes de goteo se calculan de la manera siguiente:

$$= 60/\text{No. de gotas por cc en el equipo utilizado}$$

Este equipo de goteo proporciona 15 gotas por cc, luego su constante es 4.

Ahora, con la fórmula anterior usted no tiene que aprenderse las constantes de goteo de memoria. Simplemente observa cuántas gotas por cc dispensa el equipo utilizado y deduce la constante.

Un equipo Baxter® de macrogoteo proporciona 10 gotas por cc, luego su constante es 6. Un equipo Baxter® de microgoteo proporciona 60 gotas por cc, luego su constante es 1.

- 350 mcg/min es la velocidad de infusión del fármaco. En el ejemplo descrito, se trata de un paciente de 70 kg a quien se le administrará dopamina a una rata de 5 mcg/kg/min.
- 200.000 mcg es la cantidad de dopamina que se diluye en la solución. Una ampolla de dopamina contiene 200 mg (200.000 mcg) de dopamina.
- 1.000 cc es el volumen total de solución preparado.

Por supuesto la idea es despejar la velocidad de infusión de la solución (Vel.Inf.SI):

$$\frac{350 \text{ mcg/min} \times 1.000 \text{ cc} \times 60 \text{ min/h}}{200.000 \text{ mcg} \times 4 \text{ (cc} \times \text{min/gotas} \times \text{h)}} = \text{Vel.Inf. SI} = 26,25 \text{ gotas/min}$$

La ecuación 1 es una deducción matemática no aproximada. No tiene por qué producir errores salvo que quien la utilice no conserve la coherencia adecuada entre las unidades.

Tiene una gran versatilidad, lo cual le permite utilizar cualquier volumen de dilución, cualquier cantidad de fármaco para disolver y cualquier equipo de goteo. No le

restringe a "recetas" prediseñadas, las cuales ante variaciones en la disponibilidad de los recursos se ven limitadas en su utilidad.

Otra gran ventaja que presenta el uso adecuado de esta fórmula es que permite iniciar infusiones de cualquier fármaco a una rata específica, sobre goteos ya instaurados. Es decir, no es necesario canalizar una vena adicional o instalar otro equipo de goteo.

Si al mismo paciente traumatizado del ejemplo anterior se le está infundiendo SSN a 60 gotas/min y quedan aún 700 cc de SSN en la bolsa, es posible despejar la masa necesaria de dopamina para adicionar a estos 700 cc de solución salina y garantizar una infusión a 5 mcg/kg/min. Lo único que se debe hacer es despejar, en la fórmula de la ecuación 1, la masa necesaria para diluir en los 700 cc de SSN:

$$\frac{350 \text{ mcg/min} \times 700 \text{ cc} \times 60 \text{ (min/h)}}{60 \text{ (gotas/min)} \times 4 \text{ (cc} \times \text{min/gotas} \times \text{h)}} = \text{Masa} = 61250 \text{ mcg}$$

Es decir 61,25 mg. En este caso usted podría tomar aproximadamente 61,25 mg de dopamina y mezclarlos en los 700 cc de solución salina que quedan aún en la bolsa, y sin variar el goteo está garantizando la infusión de una solución de dopamina que administra 350 mcg/min.

Si cuenta con el beneficio de una bomba de infusión puede utilizar la fórmula compacta, que simplemente omite la constante de goteo = (cc z min / gotas z h) y la constante 60 (min/h). Se reduce entonces a lo señalado en la ecuación 2.

Debe tomar en cuenta que cuando utiliza una bomba de infusión las unidades de tiempo son *horas*. Luego las unidades de velocidad de infusión del fármaco (Vel.Inf.Fmco) serán unidades de masa sobre hora (mg/h; mcg/h; gr/h; etc.) y las unidades de la velocidad de infusión de la solución (Vel.Inf.SI) serán cc sobre hora (cc/h). Las unidades de volumen siguen siendo en cc y las de masa de manera coherente con las de la velocidad de infusión del fármaco.

En la Tabla 2 se comparan las unidades utilizadas en la ecuación 1 -fórmula extendida- y en la ecuación 2 -fórmula compacta-.

Con la propuesta planteada no se pretende caer en la irresponsabilidad de generalizar el hecho de manejar soluciones que requieren una infusión controlada sin el equipo adecuado, en este caso, sin bomba de infusión. Pero sí, que ante la imperiosa necesidad de tener que infundir soluciones de delicado control, el médico general o especialista cuente con un apoyo adicional en la fórmula

Ecuación 2. Fórmula compacta para infusión controlada de soluciones con bomba de infusión.

$\text{Vel.Inf.Fmco} = \frac{\text{Vel.Inf. SI} \times \text{Masa}}{\text{Vol}}$
--

Tabla 2. Comparación de las unidades utilizadas en la fórmula extendida - para uso sin bomba de infusión- y en la fórmula compacta -para uso con bomba de infusión.

Variable	Fórmula extendida Ecuación 1 Con equipo de goteo	Fórmula compacta Ecuación 2 Con bomba de infusión
Vel.Inf.Fmaco	Masa/min	Masa/h
Vel.Inf.SI	Gotas/min	Gotas/h
Masa	Masa	Masa
K	cc x min / gotas x h	-
Vol.	cc	cc
60	min/h	-

propuesta, que le ahorre tiempo y se muestre muy versátil, lo cual, sin ninguna duda, es de gran utilidad en situaciones críticas.

No es menos cierto que en las condiciones actuales de salud los centros asistenciales de primero y segundo nivel, rurales o periféricos, no cuentan con bombas de infusión para el manejo de medicamentos en infusión continua.

Como se citó anteriormente, la fórmula descrita corresponde a un ordenamiento matemático que compacta las variables necesarias para calcular un goteo cualquiera a una dosis específica. Su deducción es como sigue:

1. La masa perfundida por unidad de tiempo corresponde al volumen perfundido por unidad de tiempo multiplicado por la concentración de la solución perfundida.

$$\frac{\text{masa}}{\text{min}} = \left[\frac{\text{Vol}}{\text{min}} \right] \times [\text{Solución}]$$

$$\frac{\text{Masa}}{\text{min}} = \left[\frac{\text{gotas}}{\text{min}} \right] \times \left[\frac{\text{masa}}{\text{Vol (cc)}} \right]$$

2. Dado que se emplean dos unidades de volumen dentro de la misma fórmula, es necesario introducir una constante de conversión para que no exista incompatibilidad entre las unidades. Para esto utilizaremos la constante K , ampliamente conocida por las enfermeras y que transforma cc/h en gotas/min y se calcula así:

$K = 60/\text{número de gotas por cc del equipo de goteo utilizado}$

$K = 60/(\text{gotas/cc})$.

$$\frac{\text{masa}}{\text{min}} = \left[\frac{\text{gotas}}{\text{min}} \right] \times \left[\frac{\text{Masa}}{\text{Vol (cc) x (gotas/cc)}} \right]$$

$$\frac{\text{masa}}{\text{min}} = \left[\frac{\text{gotas}}{\text{min}} \right] \times \left[\frac{\text{masa}}{\text{Vol(cc) x (60/k)}} \right]$$

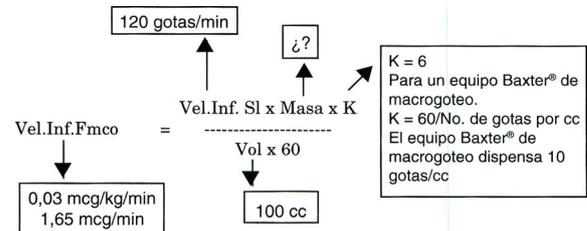
3. Ahora la variable masa/min la podemos llamar *velocidad de infusión del fármaco* ($Vel.Inf.Fmco$) y la

variable gotas/min la podemos llamar *Velocidad de infusión de la Solución* ($Vel.Inf.SI$). Reordenando obtenemos:

$$Vel.Inf.Fmco = \frac{Vel.Inf.SI \times Masa \times K}{Vol \times 60}$$

Ejemplos

1. Un residente de anestesiología atiende en el quirófano a un paciente de 60 años y 55 kg de peso con sepsis de origen abdominal a quien se le realizará una laparotomía exploratoria. Tras la inducción anestésica y a pesar del flujo alto de líquidos el paciente se muestra muy hipotenso (tensión arterial 70/30) por lo cual decide iniciar un goteo de adrenalina a 0,03 mcg/kg/min. Instala una bolsa nueva de solución salina 0,9% de 1000 cc. con un equipo de macrogoteo Baxter® a 120 gotas/min. ¿Cuánta adrenalina debe colocar en la bolsa para garantizar el flujo deseado (0,03 mcg/kg/min)?



Despejando la masa obtenemos:

$$\text{Masa} = \frac{Vel.Inf.Fmco \times Vol \times 60}{Vel.Inf.SI}$$

$$\text{Masa} = \frac{1,65 \times 1.000 \times 60}{120 \times 6} = 137,5 \text{ mcg}$$

2. Un paciente de 60 años y 70 kg de peso consulta a un servicio de urgencias por presentar un cuadro clínico de inicio súbito de dificultad respiratoria marcada, estertores en ambos campos pulmonares e hipertensión arterial severa (tensión arterial 220/160). Usted diagnostica una emergencia hipertensiva con edema pulmonar secundario y decide iniciar una infusión de nitroprusiato de sodio a 1 mcg/kg/min. Desafortunadamente no cuenta con bombas de infusión. En cambio tiene a su disponibilidad equipos de microgoteo Baxter®. Si prepara una ampolla de nitroprusiato de sodio de 50 mg en 500 cc de solución salina 0,9% ¿a cuántas gotas por minuto debe pasar la infusión?

$$Vel.Inf.Fmco = \frac{Vel.Inf.Fmco \times Masa \times K}{Vol \times 60}$$

¿Qué tenemos?

Vel.Inf.Fmco = 1 mcg/kg/min = 70 mcg/min

Volumen = 500 cc

Masa = 50 mg = 50,000 mcg

= 1 : La constante del equipo de microgoteo Baxter® es 1 (uno) dado que dispensa 60 gotas/cc. Recordemos K= 60/número de gotas por cc del equipo.

$$\text{Vel.Inf.SI} = \frac{\text{Vel.Inf.Fmco} \times \text{Vol} \times 60}{\text{Masa} \times K}$$

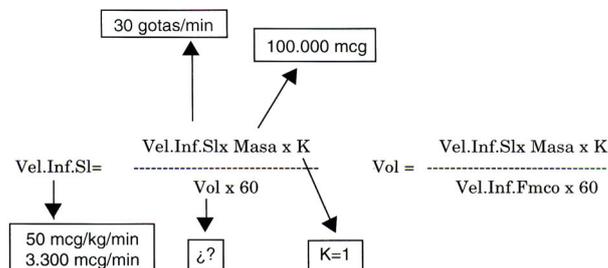
$$\text{Vel.Inf.SI} = \frac{70 \times 500 \times 60}{50.000 \times 1} = 42 \text{ gotas/min}$$

3. Tras controlar una taquicardia supraventricular usted decide dejar una infusión de esmolol a 50 mcg/Kg/min a un paciente de 45 años y 66 Kg. Usted cuenta con una ampolla de esmolol de 100 mg y un equipo Baxter® de microgoteo.

En muchas circunstancias usted se ve abocado a ordenar goteos imposibles de pasar, por ejemplo 2 gotas/min, 550 gotas/min; es decir, los goteos muy altos o muy bajos son muy difíciles de ajustar para el personal de enfermería. En algunas circunstancias es conveniente ajustar el volumen de la mezcla de acuerdo con una velocidad de goteo predefinido.

Suponga usted que en el caso relatado la enfermera le sugiere dejar una infusión a 30 gotas/min ya que resulta más fácil de ajustar.

¿En qué volumen debe diluir la ampolla de esmolol para que infunda los 50 mcg/Kg/min a 30 gotas/min?



$$\text{Vol} = \frac{30 \times 10.000 \times 1}{3.300 \times 60} = 15,15 \text{ cc}$$

Luego en este caso no sería práctico diluir la ampolla en 250 o 500 cc de solución salina porque los goteos serían demasiado altos. Sería razonable entonces realizar la dilución a 15 cc en un buretrol y pasarla como se señaló.

Se debe recordar siempre la necesidad absoluta de que las unidades aplicadas en la fórmula sean consistentes.