



Clase 3: Programación de semáforos



@comunidadingenio



/comunidadingenio/



Introducción

¿Cómo te movilizas para ir a tu colegio?

¿Consideras que es un viaje expedito? ¿Por qué?

¿Existe alguna hora del día en que el conflicto para poder movilizarse por la ciudad sea mayor?

¿Por qué crees que ocurre esto?

Introducción

En 1920, la cantidad de vehículos motorizados en Chile alcanzaba el número de 7.422. Sólo cuatro décadas más tarde se contabilizaban 126.331 y en 2017: ¡Se habían superado los 5 millones! Las calles de la ciudad no siguen el crecimiento del parque vehicular que aumenta cada año.

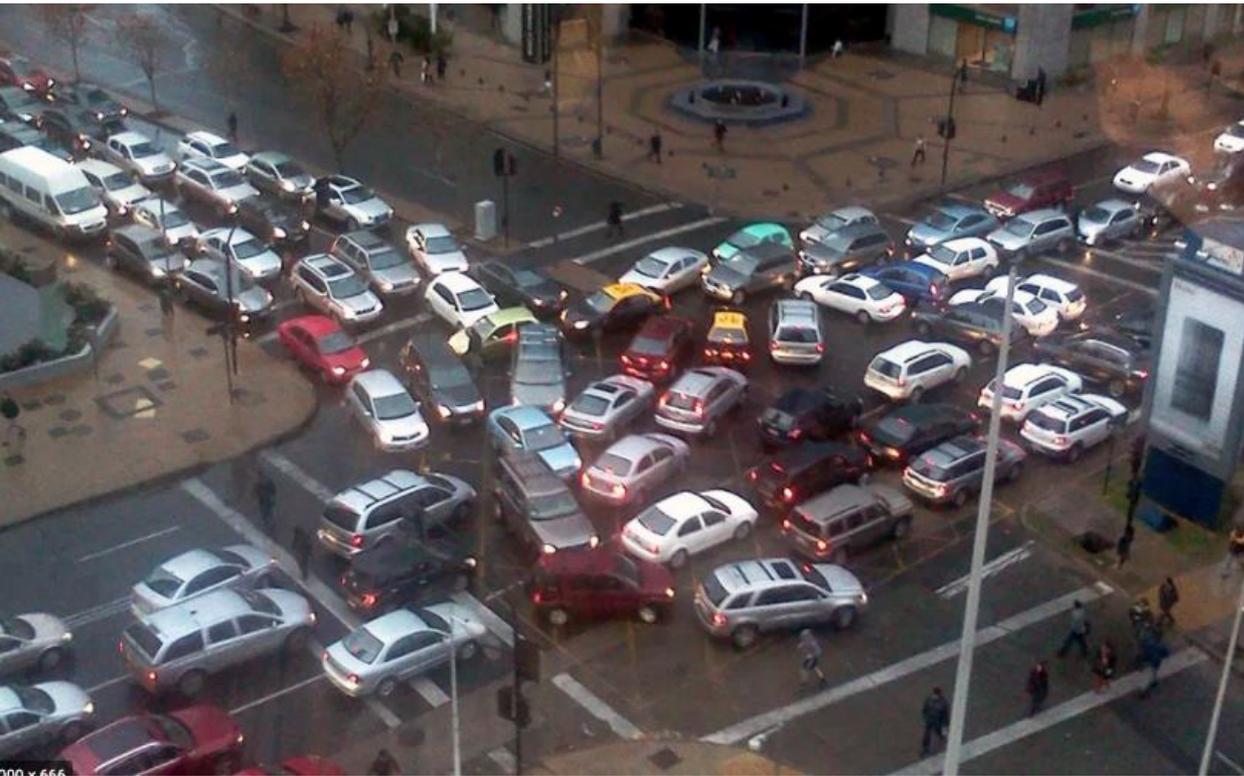


Introducción

¿Qué medidas conoces para evitar o reducir la congestión vehicular y los conflictos en las calles?

¿Qué tipo de señales de tránsito conoces para facilitar el flujo de vehículos en una intersección?

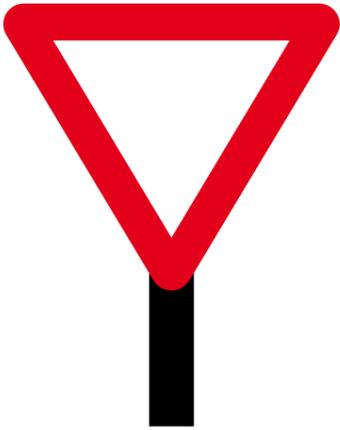
Problema



Al salir a la calle nos damos cuenta que debemos compartir el espacio.

¿Cómo ordenamos (gestionamos) el espacio de manera segura?

Intersecciones de prioridad



Detención en la vía secundaria sólo si hay tráfico en la vía prioritaria.



Detención obligada para la vía secundaria.

Rotonda

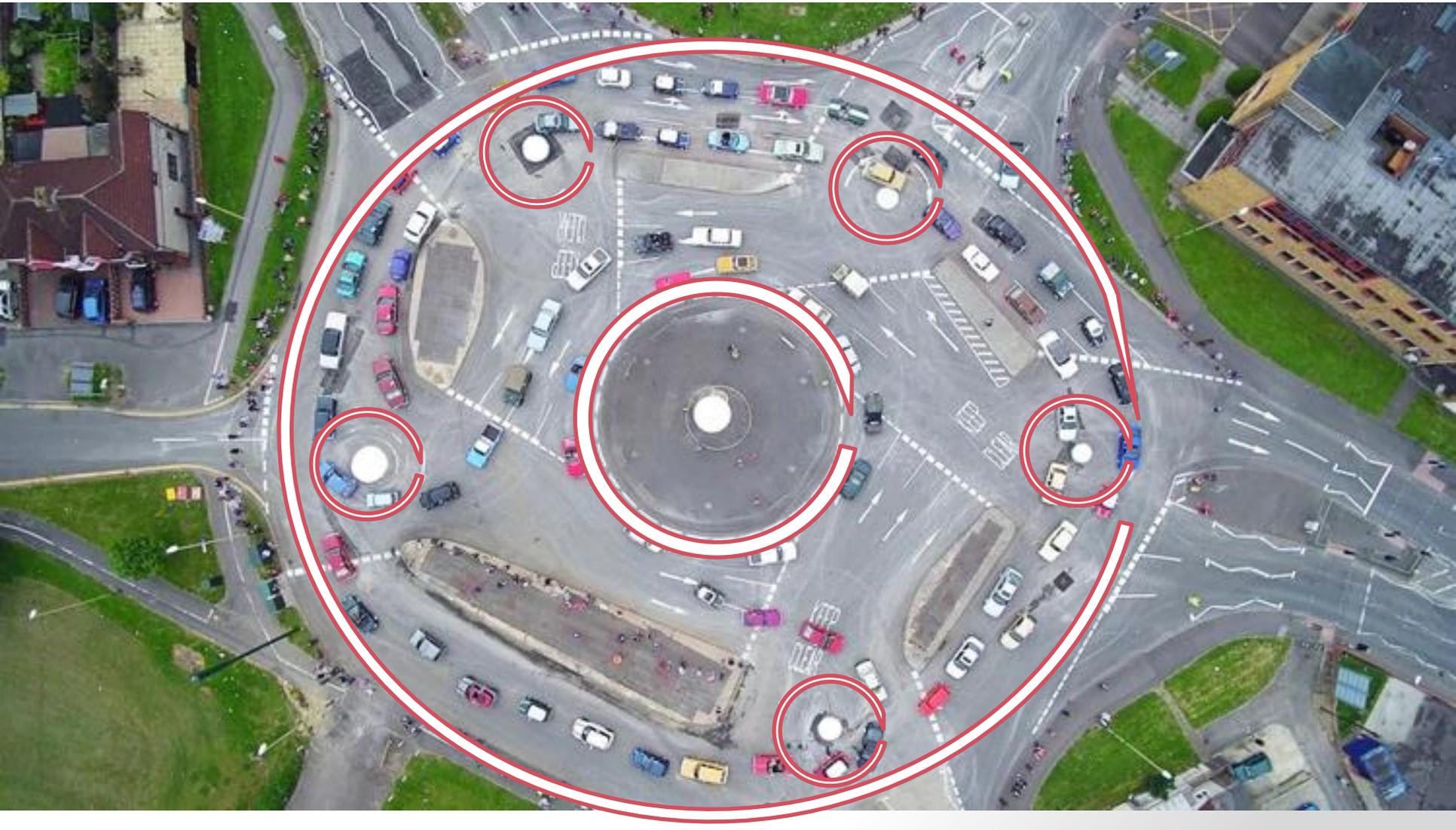
- Intersección prioritaria que consiste en el empalme de las ramas de acceso sobre un anillo circular, por el cual los vehículos giran hasta llegar a su rama de salida.
- En una rotonda «normal», todos los accesos tienen **Ceda el Paso**



Rotonda Grecia, Santiago 180 m diámetro

https://www.flickr.com/photos/fabro_max/5823312664/in/photostream/

Rotonda "The Magic Roundabout"



Semáforo

- Herramienta de gestión de tránsito que intenta **separar conflictos direccionales, temporalmente.**
- Derecho de paso alternado y en proporción al flujo.



Semáforo

En 1926 se instaló el primer semáforo en Chile, con el objetivo de gestionar el tráfico en las calles, sólo tenía luz verde y roja. En la actualidad, hay más de 4.000 intersecciones semaforizadas y sólo en Santiago existen alrededor de 3.000. en proporción, hay más de estos aparatos que en la ciudad de Sao Paulo o Nueva York.

Semáforo

¿Cuál crees que es el principal objetivo al instalar un semáforo?

Semáforo

Según CONACET, sólo en el año 2020 se registraron 64.707 siniestros de tránsito y 1.485 perdieron la vida de los cuales 45 fueron por desobedecer la luz roja.



Cifra que tuvo una disminución de 8,2% respecto a los fallecidos informados el año 2019 de 89.983



Problema de indagación



@comunidadingenio



/comunidadingenio/

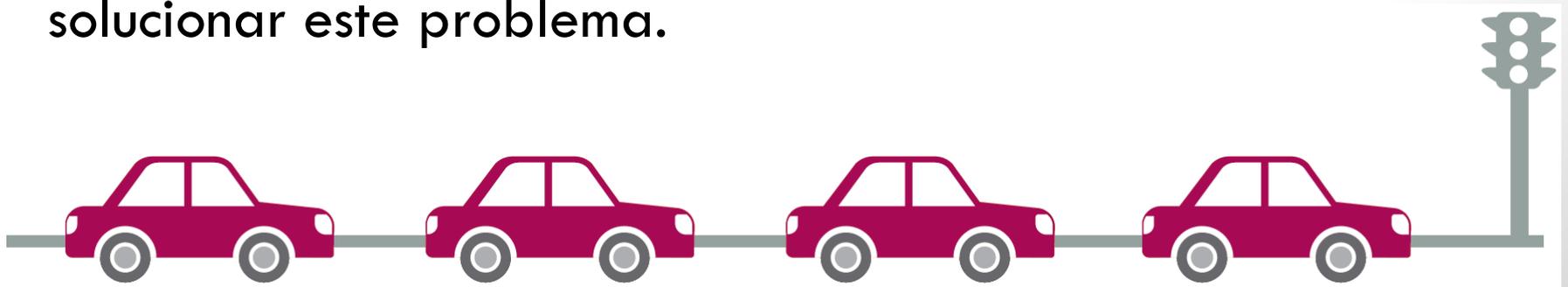


Descongestionar un cruce

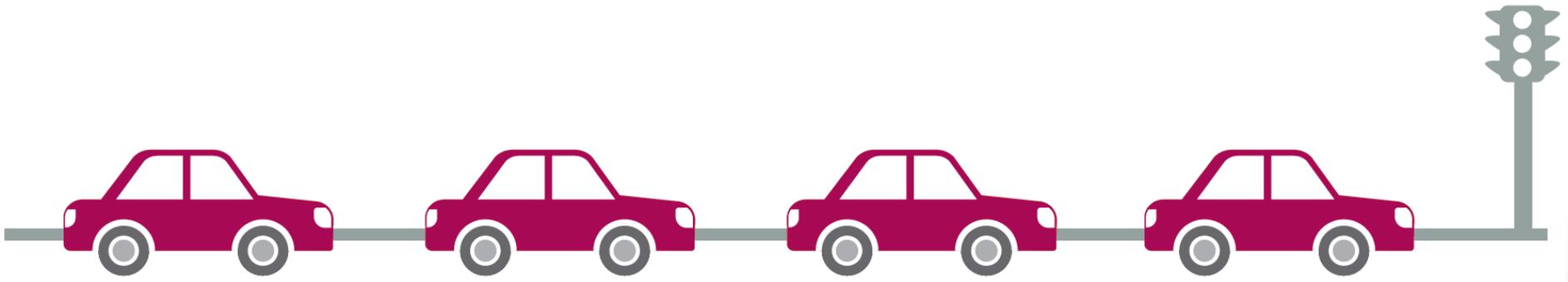
En un cruce semaforizado los automovilistas están furiosos, pues el tiempo de luz **verde** no es suficiente para avanzar.

Esto significa que hay congestión vehicular.

Es necesario encontrar un tiempo de luz verde eficiente para solucionar este problema.



Descongestionar un cruce



Como se muestra en la imagen, esta calle tiene una sola pista en cada sentido.

Adicionalmente se sabe que los vehículos **ingresan** al cruce con un flujo de **720 veh/h** y tienen una tasa de **descarga** de **1200 veh/h**.

Descongestionar un cruce

Dado que el tiempo de los semáforos usualmente se mide en segundos, y no en horas, es mejor conocer la cantidad de “**vehículos por segundo**” que ingresan al cruce.

Si al cruce **ingresan** a **720 veh/h**,

¿Cuántos segundos tarda en ingresar un vehículo?

$$\frac{720veh}{3600seg} = \frac{1veh}{xseg} \Rightarrow x = 5 \text{ segundos}$$

Descongestionar un cruce

De la misma manera que en la pregunta anterior, si el flujo de **descarga** de los vehículos del cruce es de **1200 veh/h**,

¿Cuántos segundos tarda en salir un vehículo?

$$\frac{1200veh}{3600seg} = \frac{1veh}{xseg} \Rightarrow x = 3 \text{ segundos}$$

Descongestionar un cruce

R

Sin los vehículos **ingresan** a una frecuencia de **720 veh/h**,

¿Cuántos segundos tarda en **ingresar** un vehículo?

$$\frac{720veh}{3600seg} = \frac{1veh}{xseg} \Rightarrow x = 5 \text{ segundos}$$

Si la tasa de **descarga** de los vehículos del cruce, es decir, la rapidez con que salen de él, es de 1200 veh/h.

¿Cuántos segundos se tarda en **descargar** un vehículo?

$$\frac{1200veh}{3600seg} = \frac{1veh}{xseg} \Rightarrow x = 3 \text{ segundos}$$

Descongestionar un cruce

Ahora tienes una nueva información: el tiempo del semáforo en rojo es de **10 segundos**.

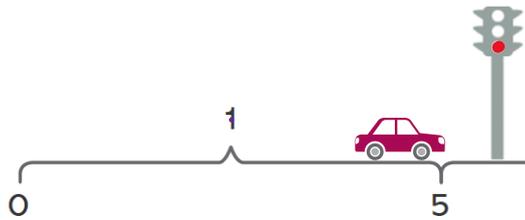


Si en un comienzo la calle está vacía y recién empieza el tiempo de **rojo**, ¿cuántos segundos debe estar en **verde** el semáforo, para que los vehículos que van llegando al cruce pasen y la calle vuelva a quedar vacía?

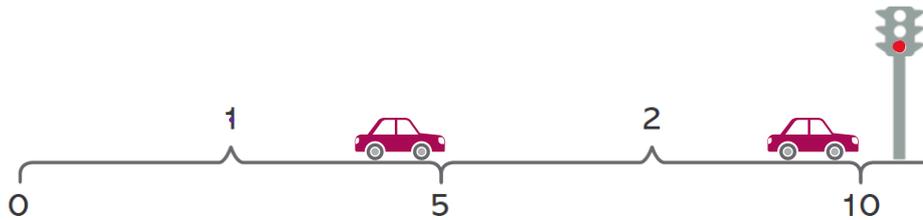
Descongestionar un cruce



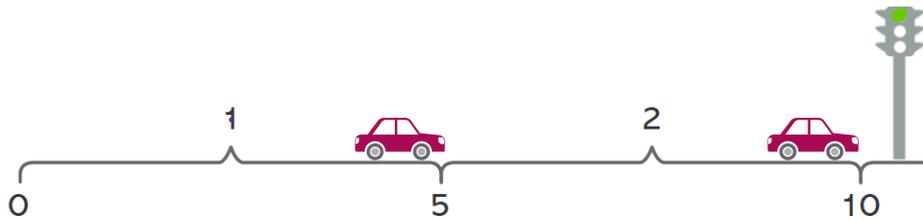
Descongestionar un cruce



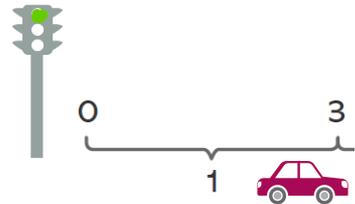
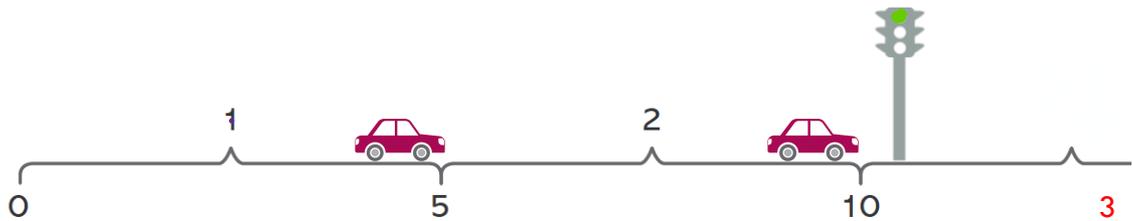
Descongestionar un cruce



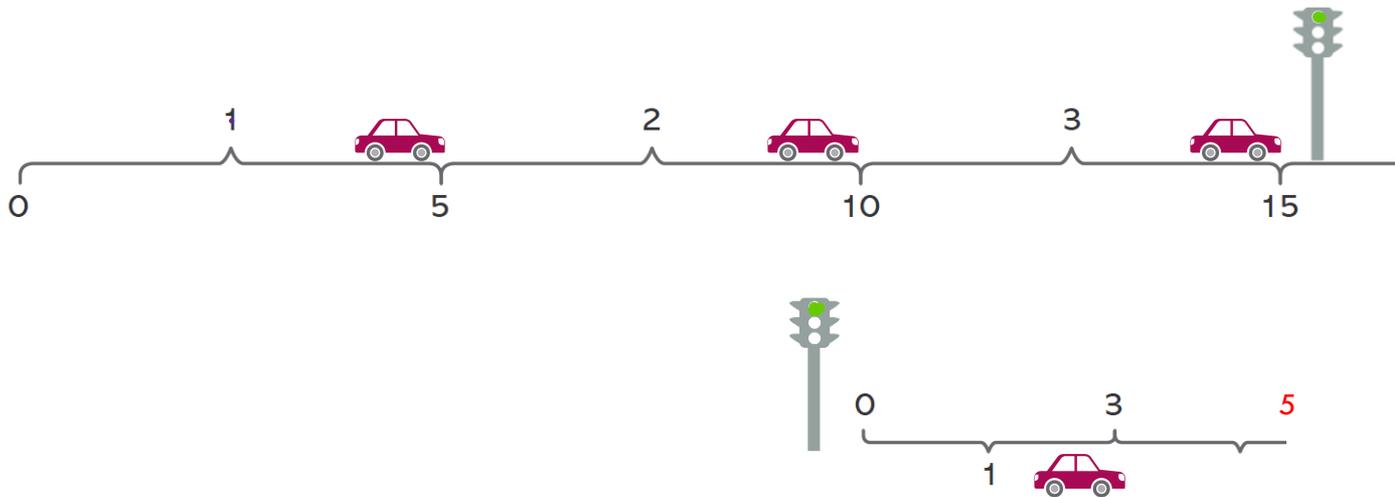
Descongestionar un cruce



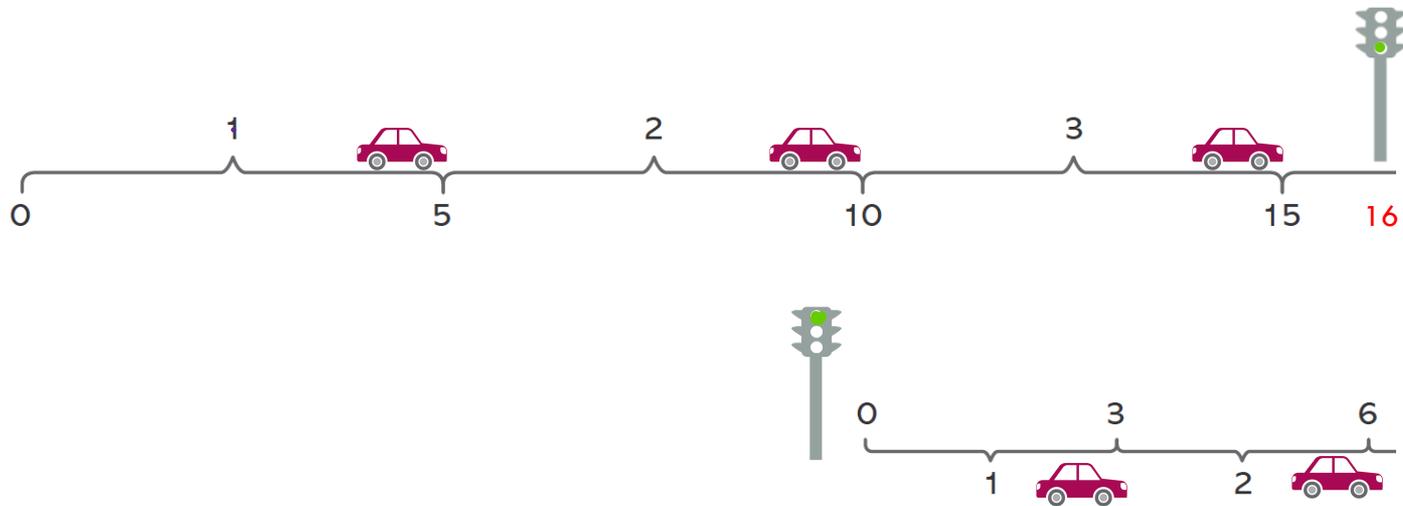
Descongestionar un cruce



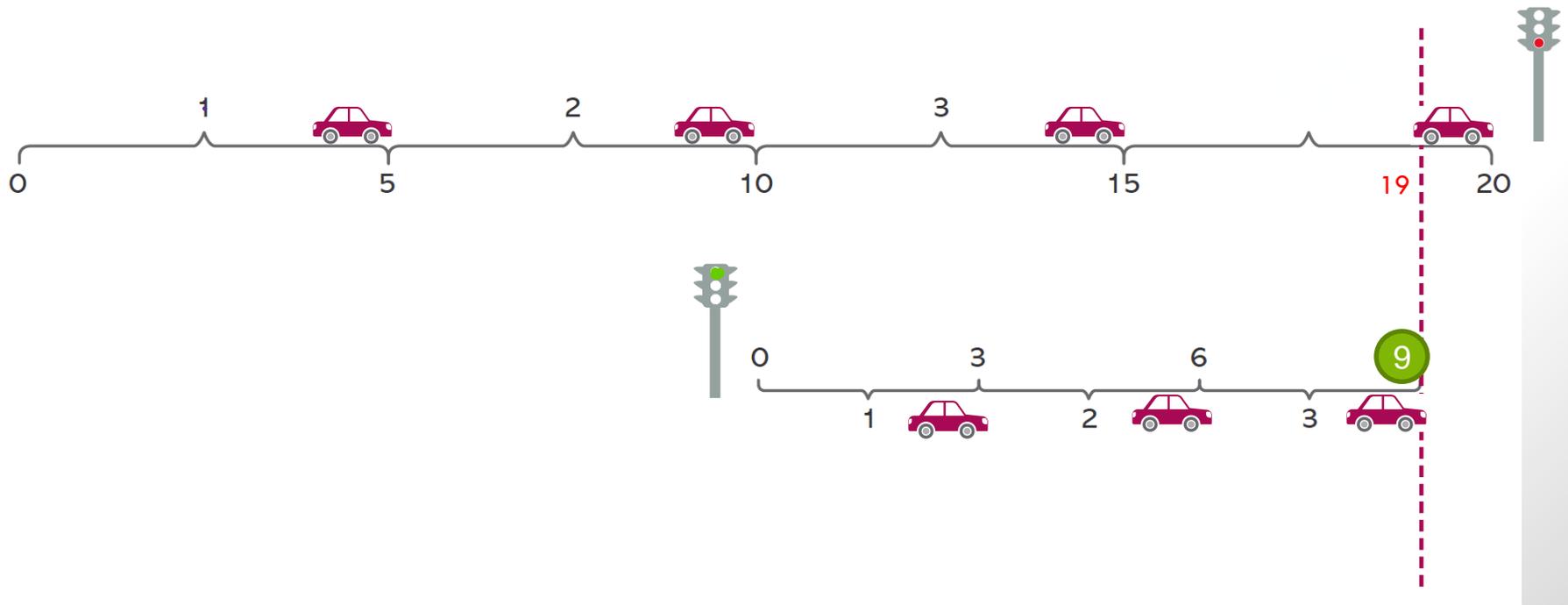
Descongestionar un cruce



Descongestionar un cruce



Descongestionar un cruce



Descongestionar un cruce

¡El problema está resuelto! Pero las personas no están del todo conformes.

Dicen que el cruce queda vacío por poco tiempo y esto provoca que nuevamente exista congestión vehicular.

Exigen lo siguiente:

- 1) *La esquina debe quedar despejada.***
- 2) *El próximo auto en llegar al cruce en rojo debe hacerlo después de* **5 Segundos****

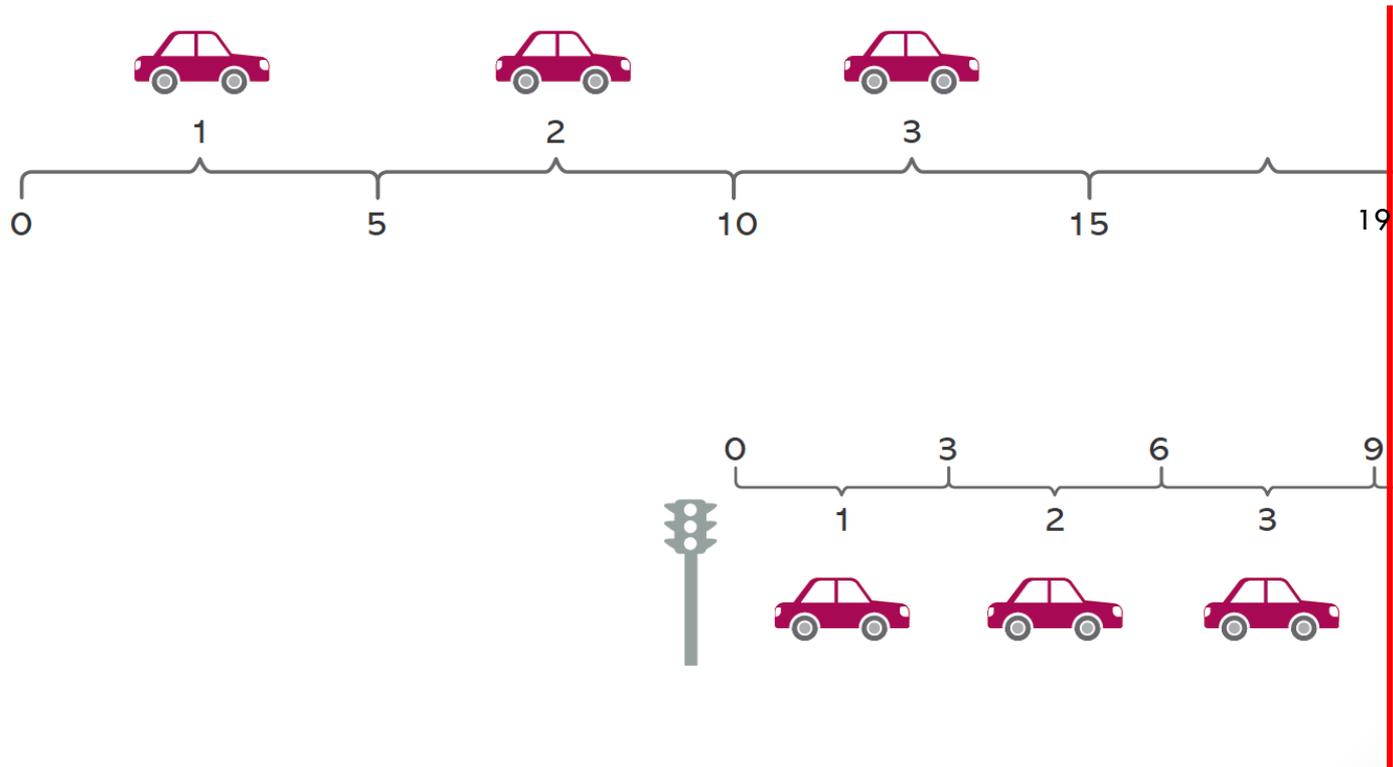
Descongestionar un cruce

¿Cuántos segundos debe estar en verde el semáforo para cumplir con la condición anterior?

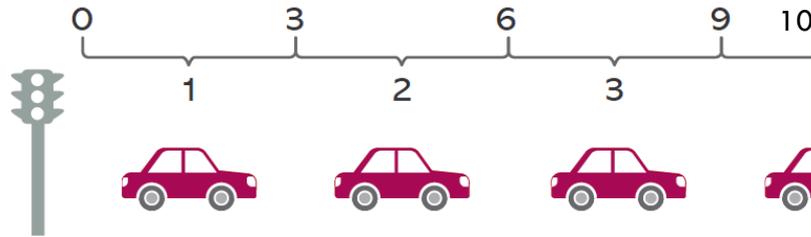
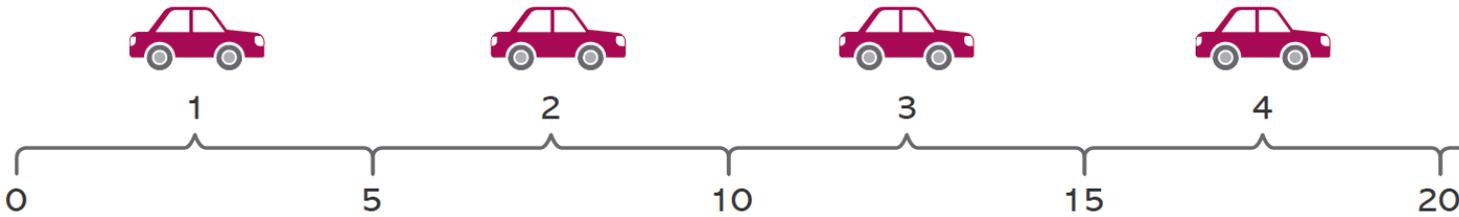


Descongestionar un cruce

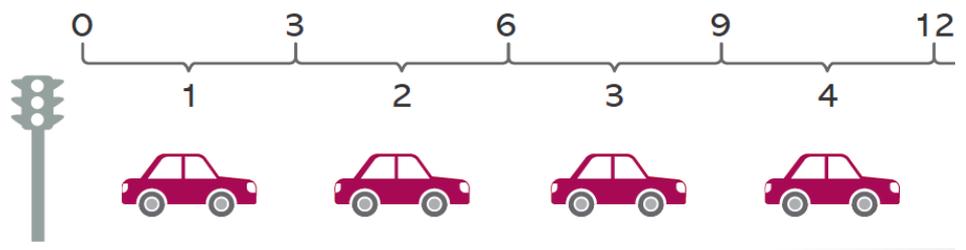
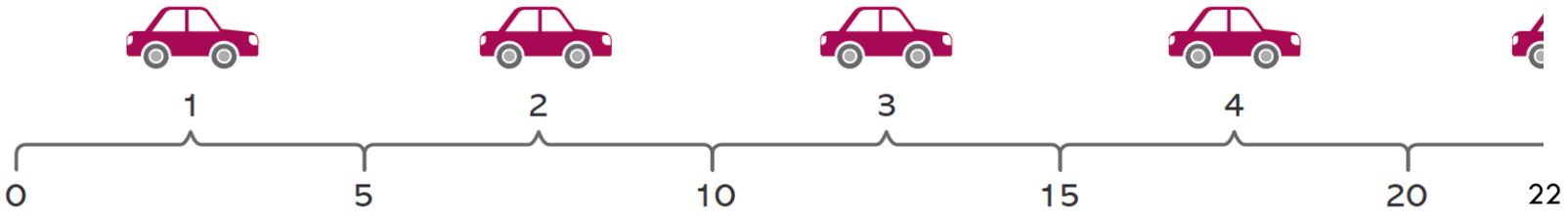
R



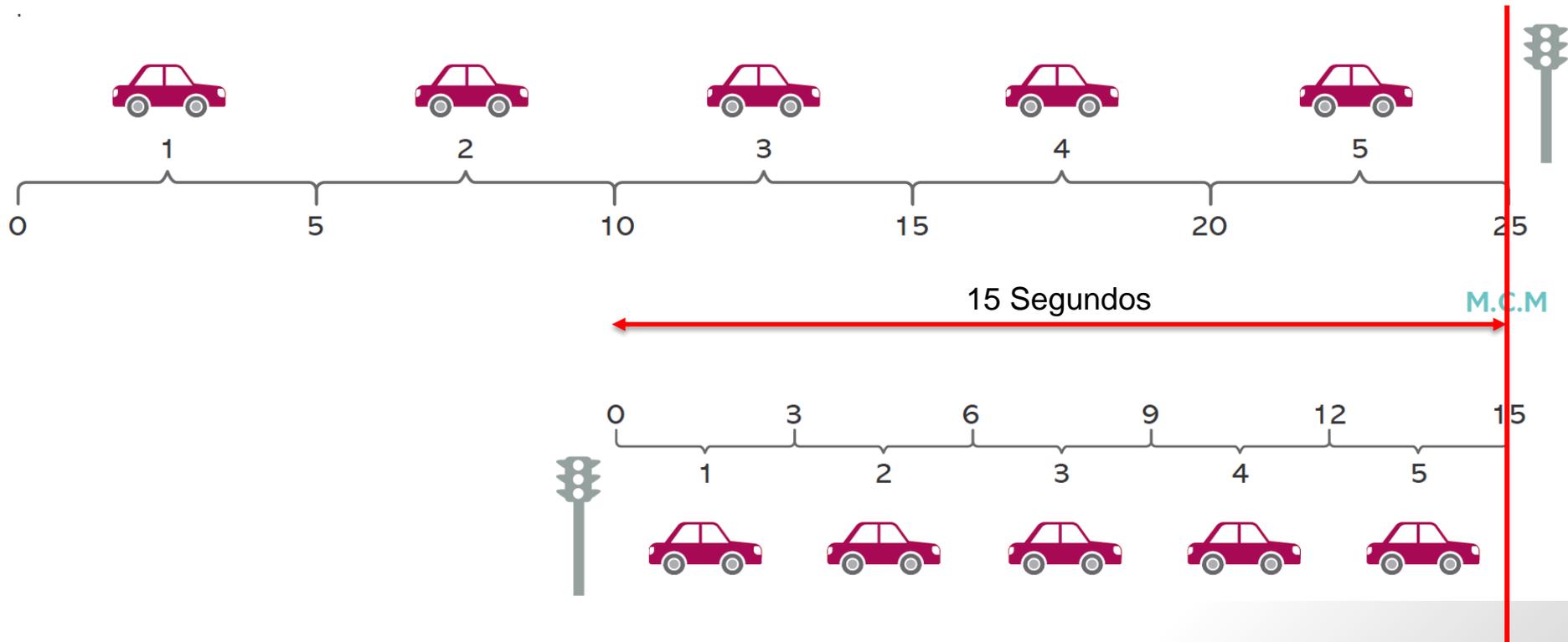
Descongestionar un cruce



Descongestionar un cruce



Descongestionar un cruce



Observar que a los 15 segundos de luz verde coincide el ingreso de 5 vehículos por segundo con la salida de 3 vehículos por segundo. En este caso, 15 es el mínimo común múltiplo de 5 y 3.

Descongestionar un cruce

¿Podemos solucionar cualquier tipo de problema con este sistema?

¿Qué otro método ocuparías?

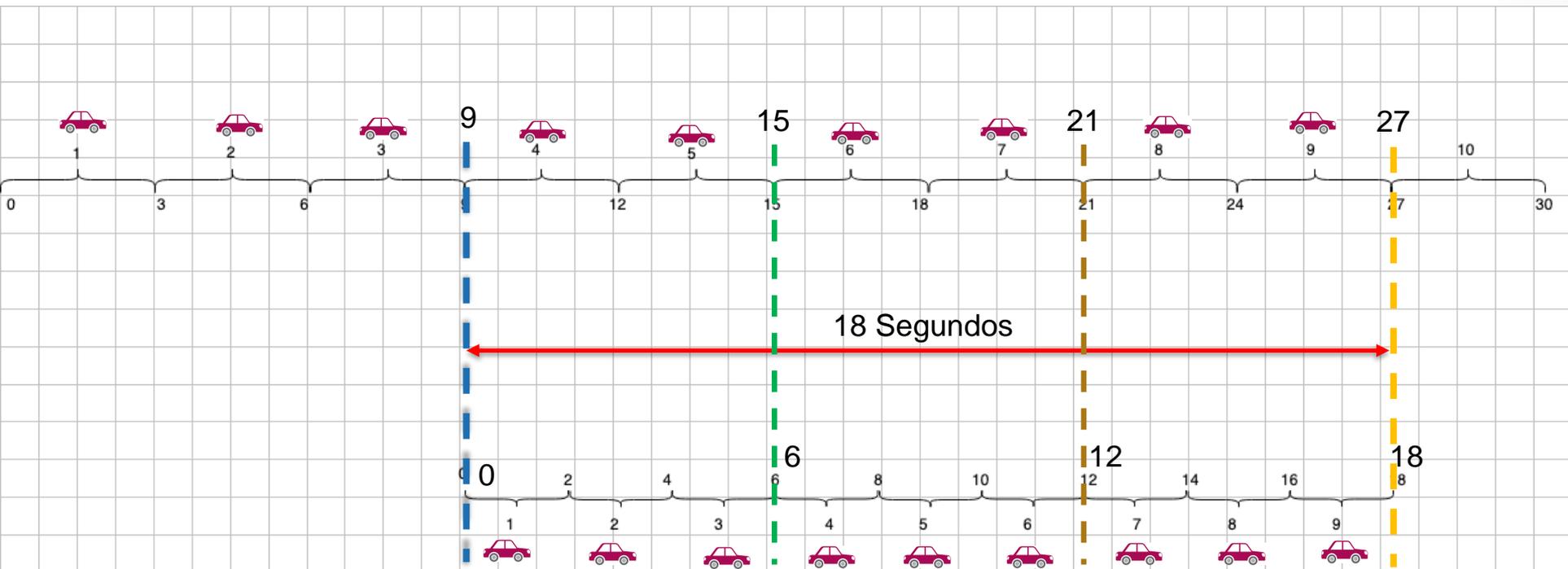
Si los vehículos ingresan al cruce
semaforizado a 1200 veh/h, salen a 1800
veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de
9 segundos:

¿Cuántos segundos debe estar en **verde** el semáforo?



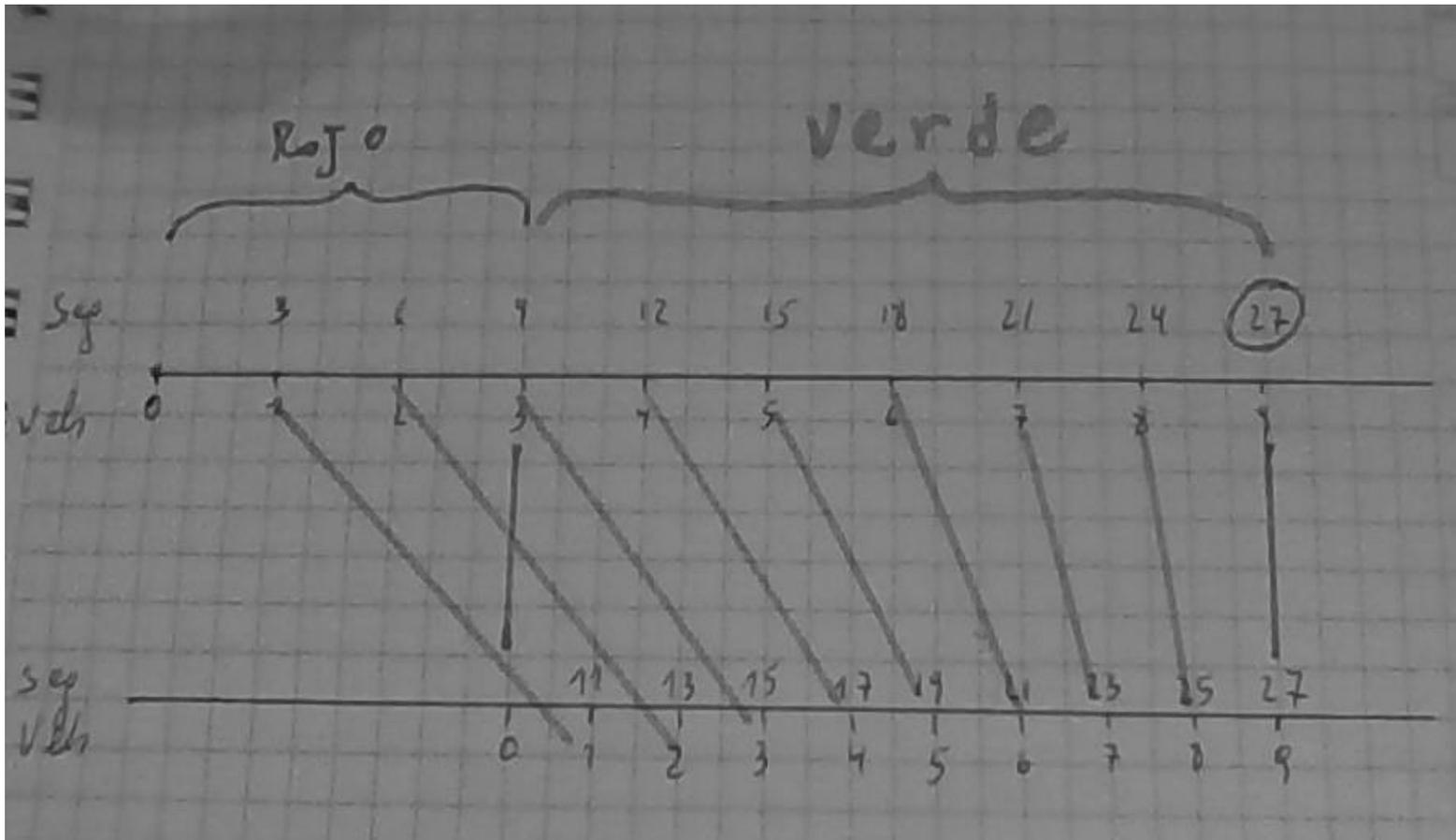
Descongestionar un cruce

Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado a 1 200 veh/h, salen a 1 800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 9 segundos:



Graficar los resultados

Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado a 1200 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 9 segundos:

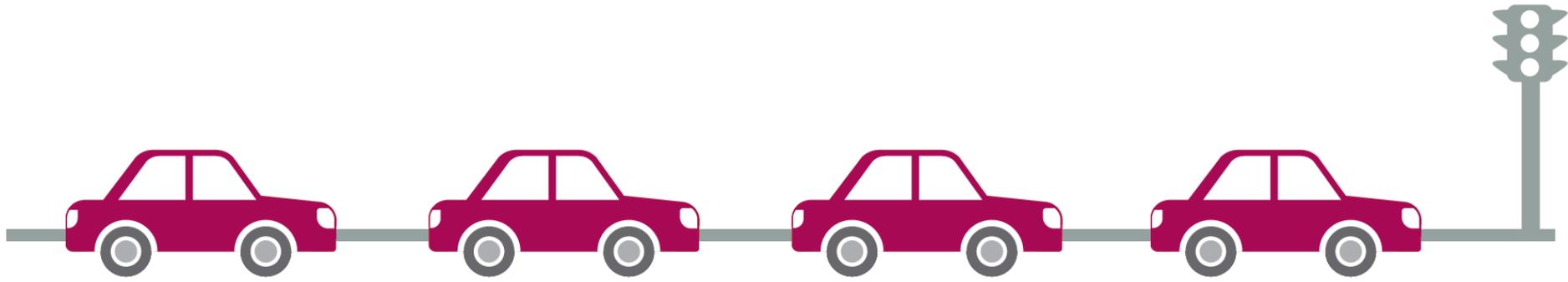


Graficar los resultados

¿Cómo representarías gráficamente el funcionamiento de un semáforo?

¿Qué funciones utilizarías?

Descongestionar un cruce



Si los vehículos **ingresan** al cruce con un flujo de **720 veh/h** y tienen una tasa de **descarga** de **1200 veh/h**. y el tiempo en rojo del semáforo es de **10 segundos**.

Funcionamiento del semáforo

Función “llegada de vehículos”

Si los vehículos **ingresan** al cruce con un flujo de **720 veh/h**

$$\frac{720veh}{3600seg} = \frac{1veh}{xseg} \Rightarrow x = 5 \text{ segundos}$$

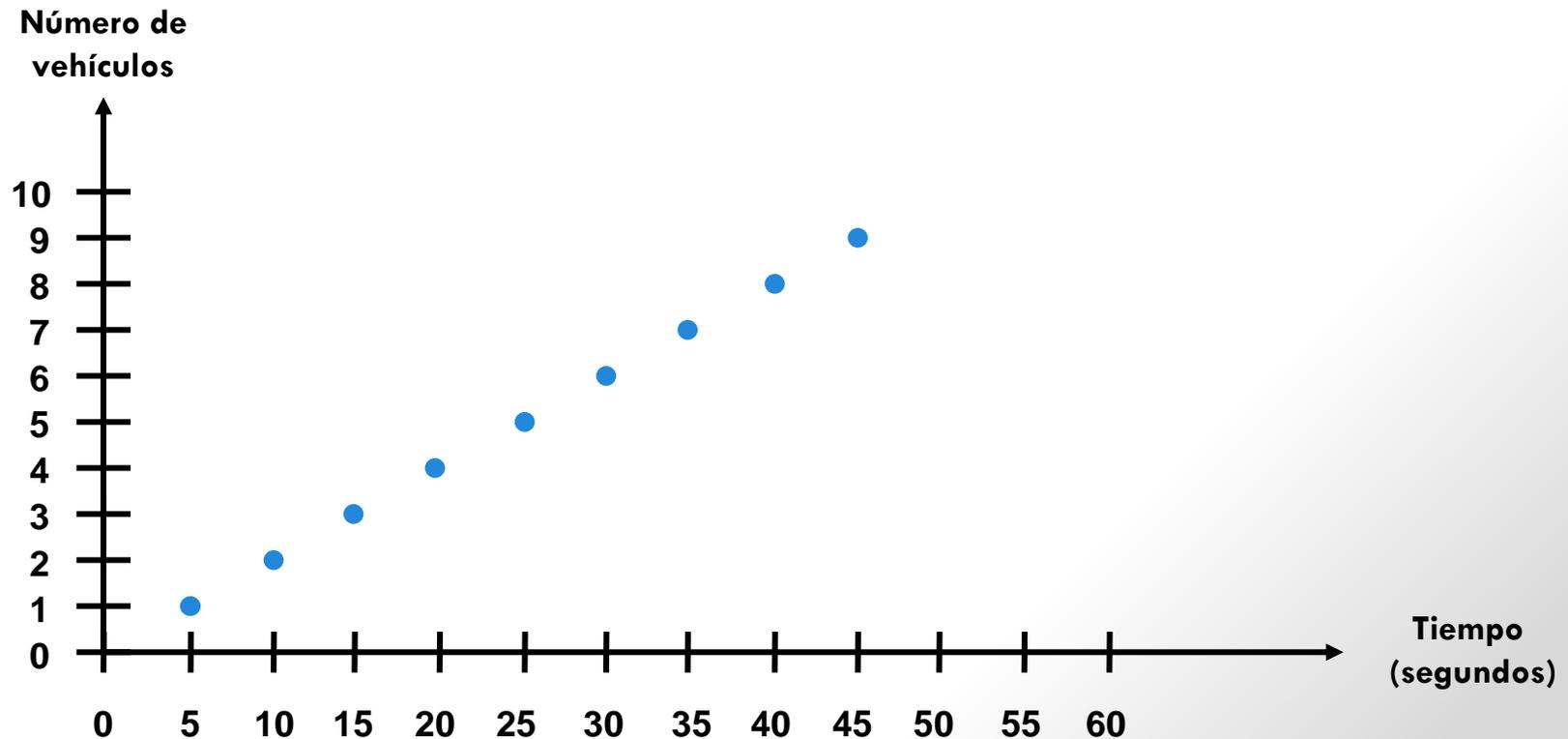
$$(x,y) = (\text{Tiempo, vehículos}) = (0,0); (5,1)$$

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \Leftrightarrow \frac{y - 0}{x - 0} = \frac{1 - 0}{5 - 0}$$

$$y = \frac{1}{5} x$$

Funcionamiento del semáforo

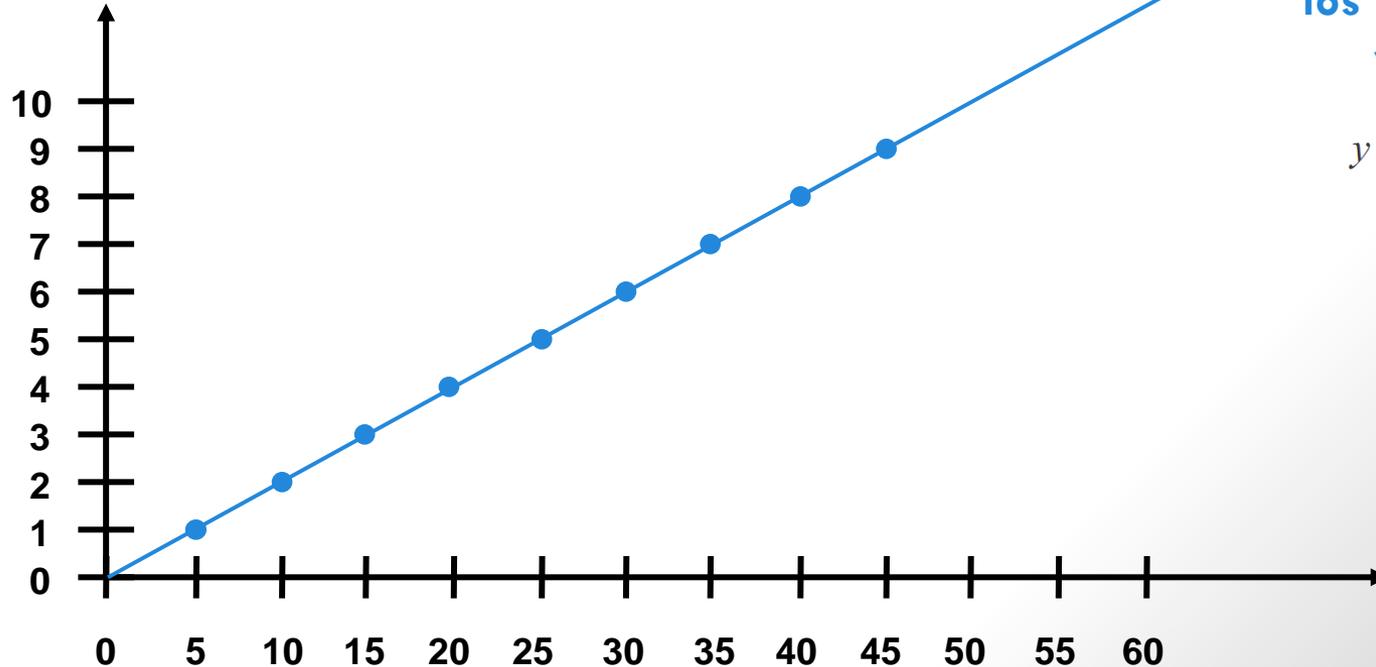
A la calle llegan vehículos constantemente con una cierta frecuencia o tasa (1 vehículo cada 5 segundos)



Funcionamiento del semáforo

A la calle llegan vehículos constantemente con una cierta frecuencia o tasa (1 vehículo cada 5 segundos)

Número de vehículos



Función lineal que representa la llegada de los vehículos

$$y = mx$$

$$y = \frac{1}{5} x$$

Tiempo (segundos)

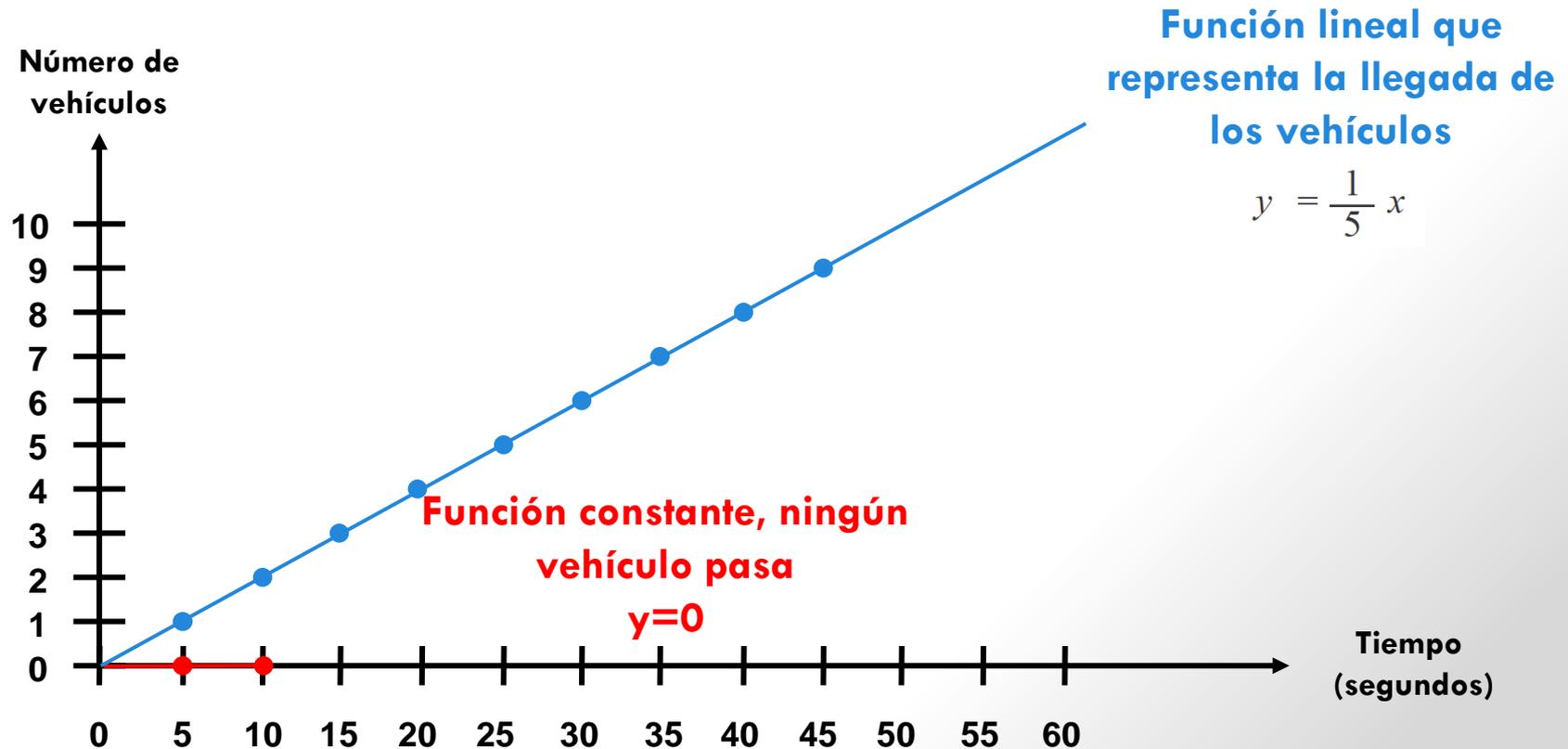
Funcionamiento del semáforo

Función “*Descarga de vehículos*” durante los primeros 10 segundos

$$y=0$$

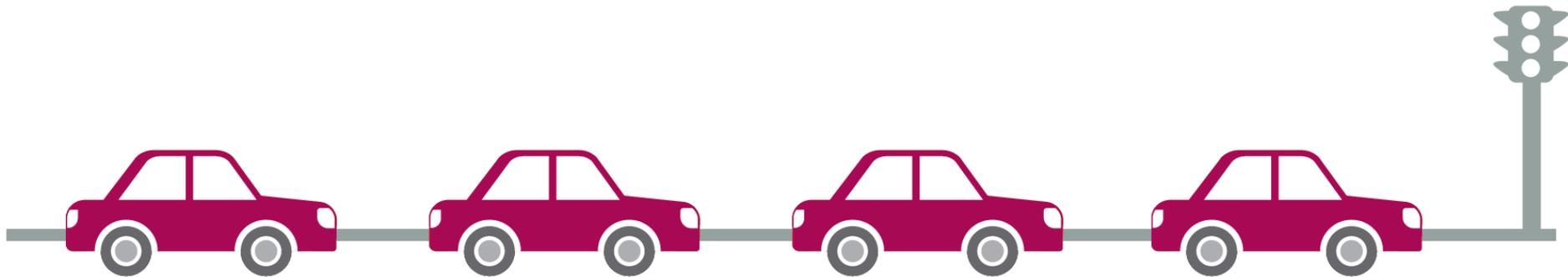
Funcionamiento del semáforo

Si el semáforo está en **rojo**, los vehículos deben **esperar**, es decir, **ninguno** atraviesa la intersección.



Funcionamiento del semáforo

Cuando la luz del semáforo cambia a **verde**, los vehículos empiezan a pasar con una cierta frecuencia o tasa de *descarga de 1200 veh/h.*



Funcionamiento del semáforo

Función “descarga de vehículos”

Cuando empieza la luz **verde** y los vehículos se **descargan** a una tasa de **1200 veh/h**.

$$\frac{1200\text{veh}}{3600\text{seg}} = \frac{1\text{veh}}{x\text{seg}} \Rightarrow x = 3 \text{ segundos}$$

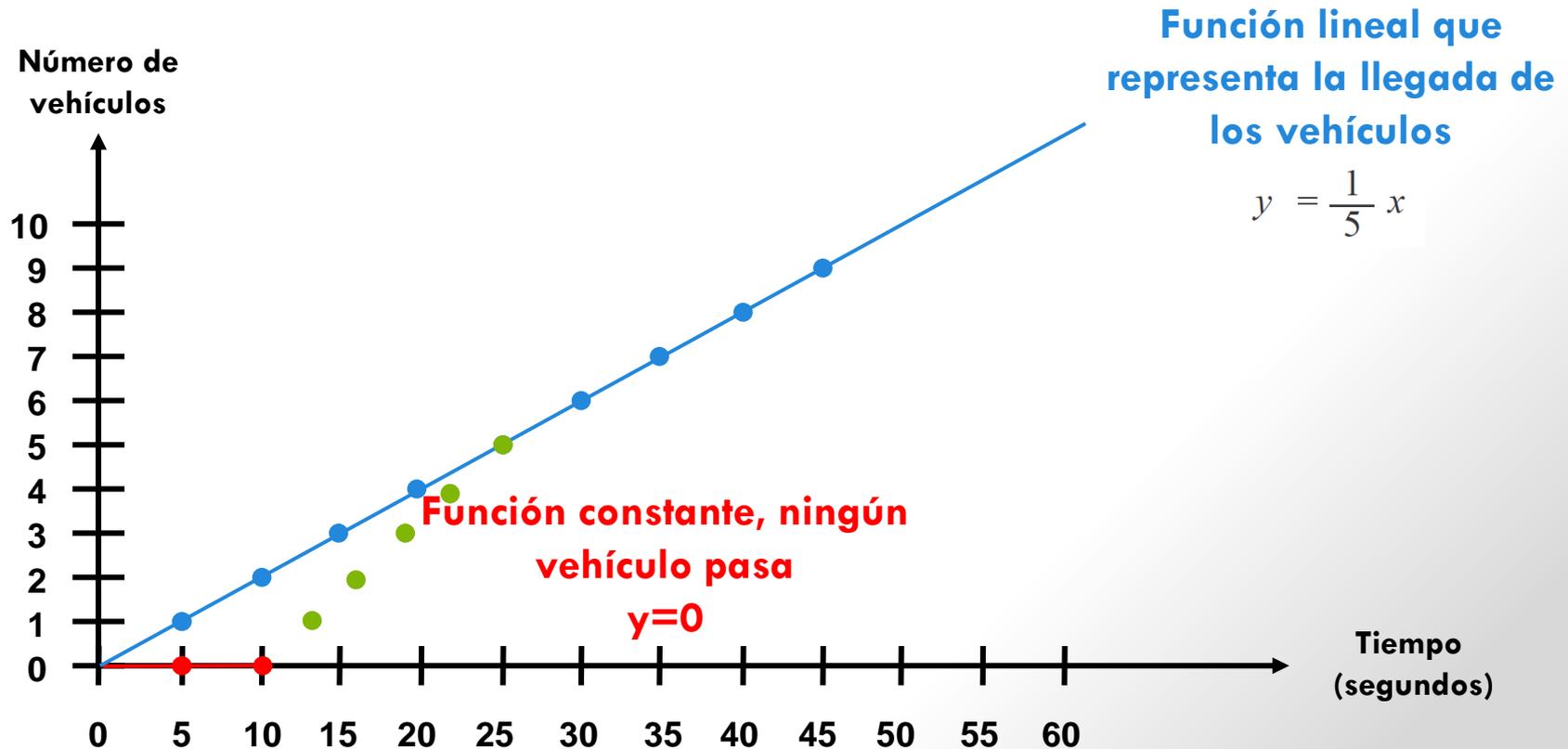
$$(x,y) = (\text{Tiempo, vehículos}) = (10,0); (13,1)$$

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \Leftrightarrow \frac{y - 0}{x - 10} = \frac{1 - 0}{13 - 10}$$

$$y = \frac{1}{3}x - \frac{10}{3}$$

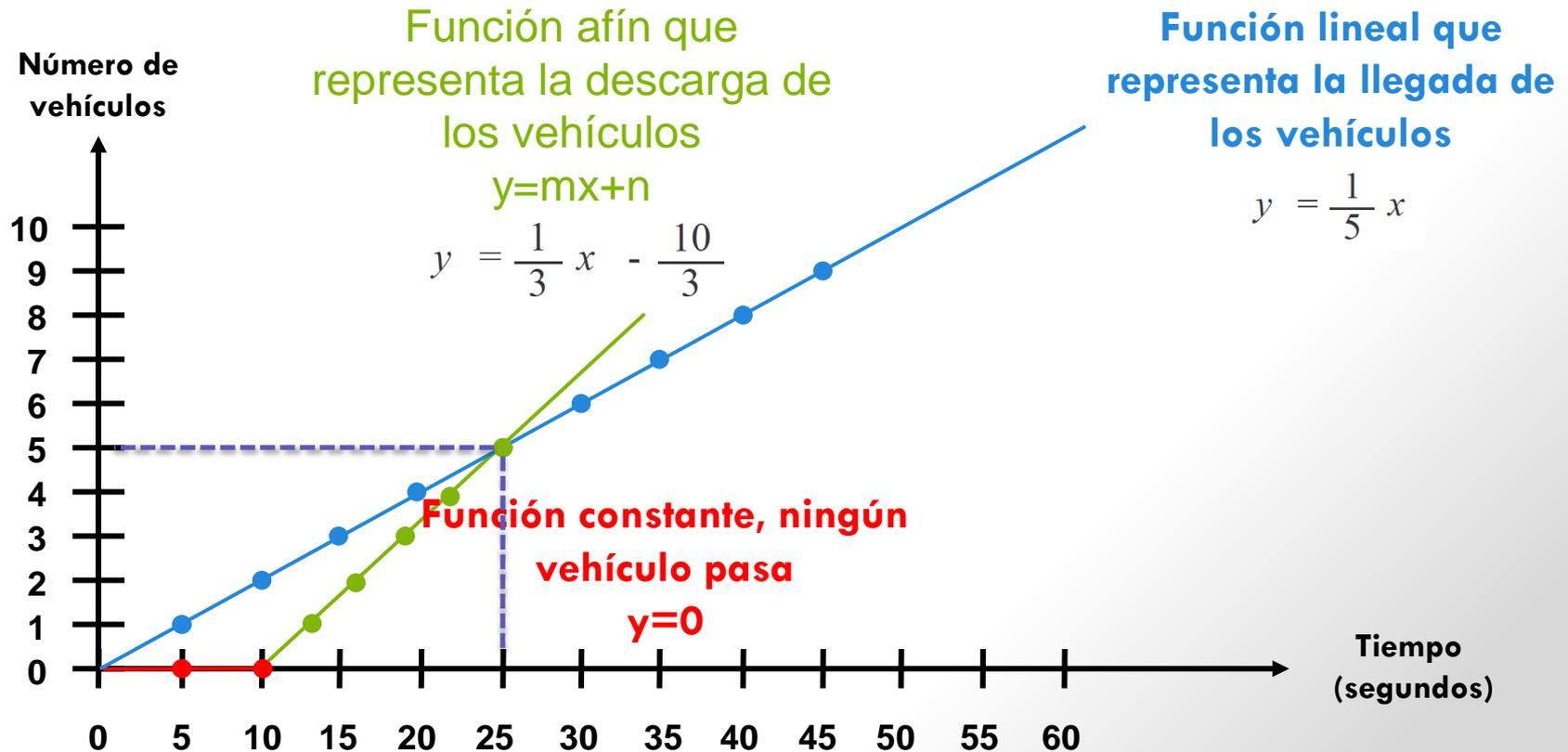
Funcionamiento del semáforo

Cuando la luz del semáforo cambia a **verde**, los vehículos empiezan a pasar con una cierta frecuencia o tasa de *descarga* (1 vehículo cada 3 segundos)



Funcionamiento del semáforo

Cuando la luz del semáforo cambia a **verde**, los vehículos empiezan a pasar con una cierta frecuencia o tasa de *descarga* (1 vehículo cada 3 segundos)



Funcionamiento del semáforo

Restamos la ecuación de la **descarga** de vehículos a la ecuación de **llegada** de vehículos

$$\begin{array}{l} \text{Descarga} \rightarrow y = \frac{1}{3}x - \frac{10}{3} \\ \text{Llegadas} \rightarrow y = \frac{1}{5}x \end{array} \Rightarrow 0 = \frac{2}{15}x - \frac{10}{3}$$

Por lo tanto...

$$\begin{array}{l} x = 25 \\ y = 5 \end{array}$$

El tiempo de verde debe ser el tiempo que encontramos, menos el tiempo de rojo, es decir $25 - 10 = 15$ segundos

Componentes de la “demora uniforme”

Grafiquemos ahora los siguientes problemas, tal como lo hicimos con el ejercicio anterior

- Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado con una frecuencia de 600 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 12 segundos.
- Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado a 1200 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 9 segundos.

Componentes de la “demora uniforme”

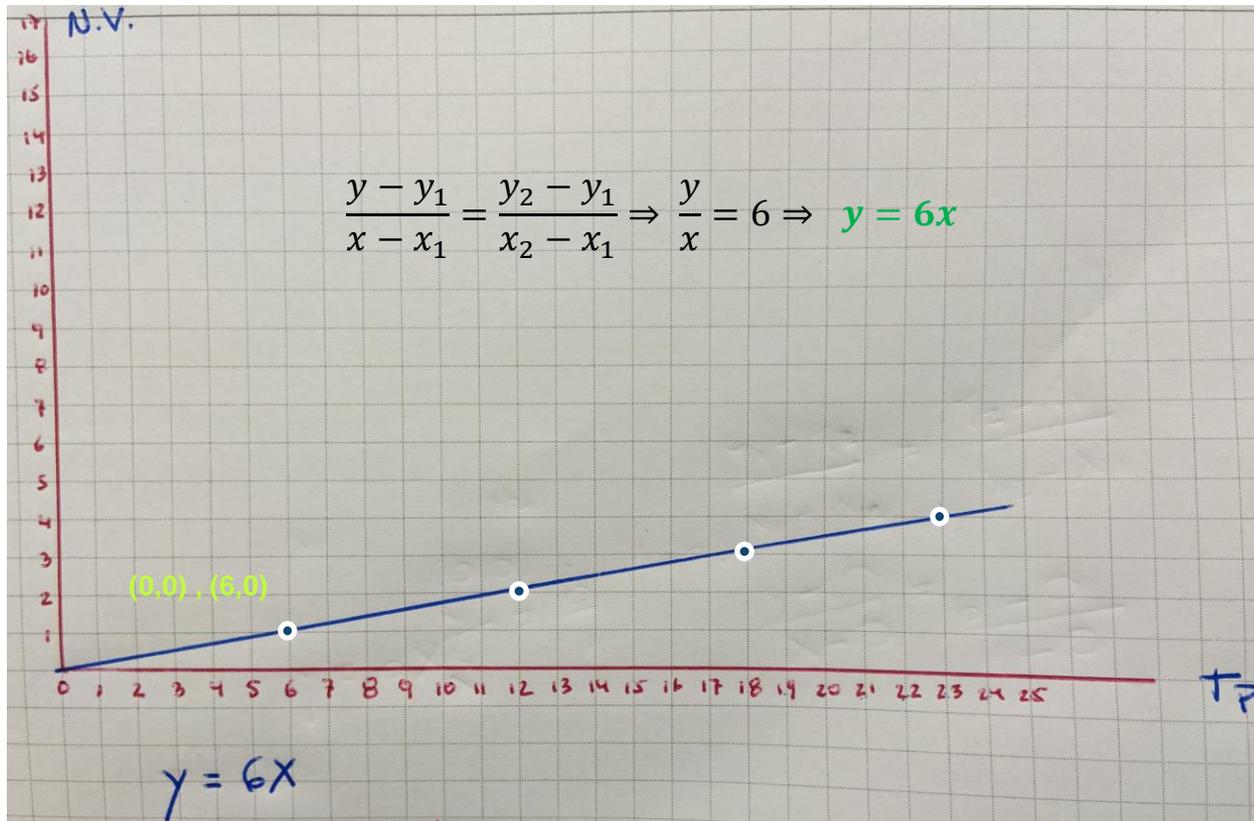
- Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado con una frecuencia de 600 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 12 segundos.

The image shows a handwritten calculation on a grid background. The vertical axis is labeled from 1 to 17, and the horizontal axis is labeled from 0 to 25. The equation is written in black ink:

$$\text{Ingreso} \frac{600 \text{ veh}}{3600 \text{ seg}} = \frac{1 \text{ veh}}{x \text{ seg}} \Rightarrow x = 6 \text{ segundos}$$

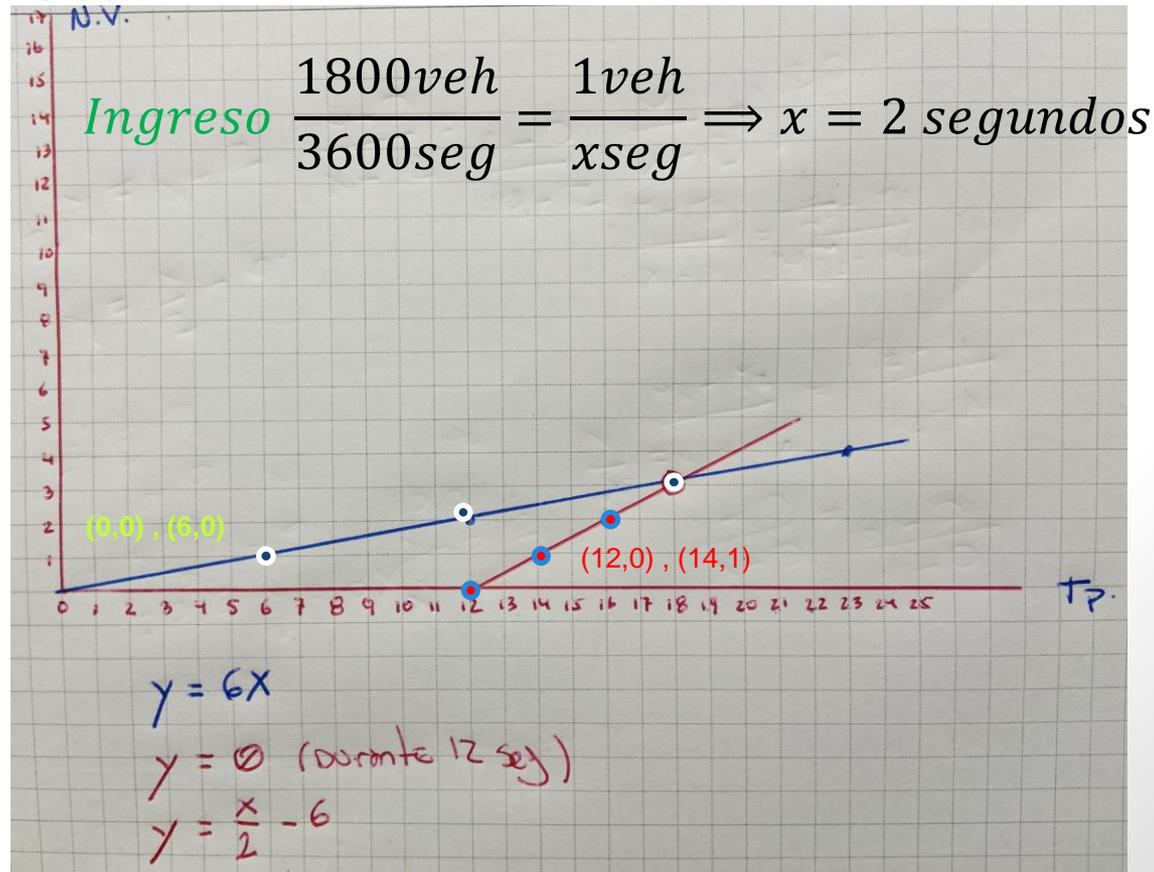
Componentes de la “demora uniforme”

- Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado con una frecuencia de 600 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 12 segundos.



Componentes de la “demora uniforme”

- Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado con una frecuencia de 600 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 12 segundos.

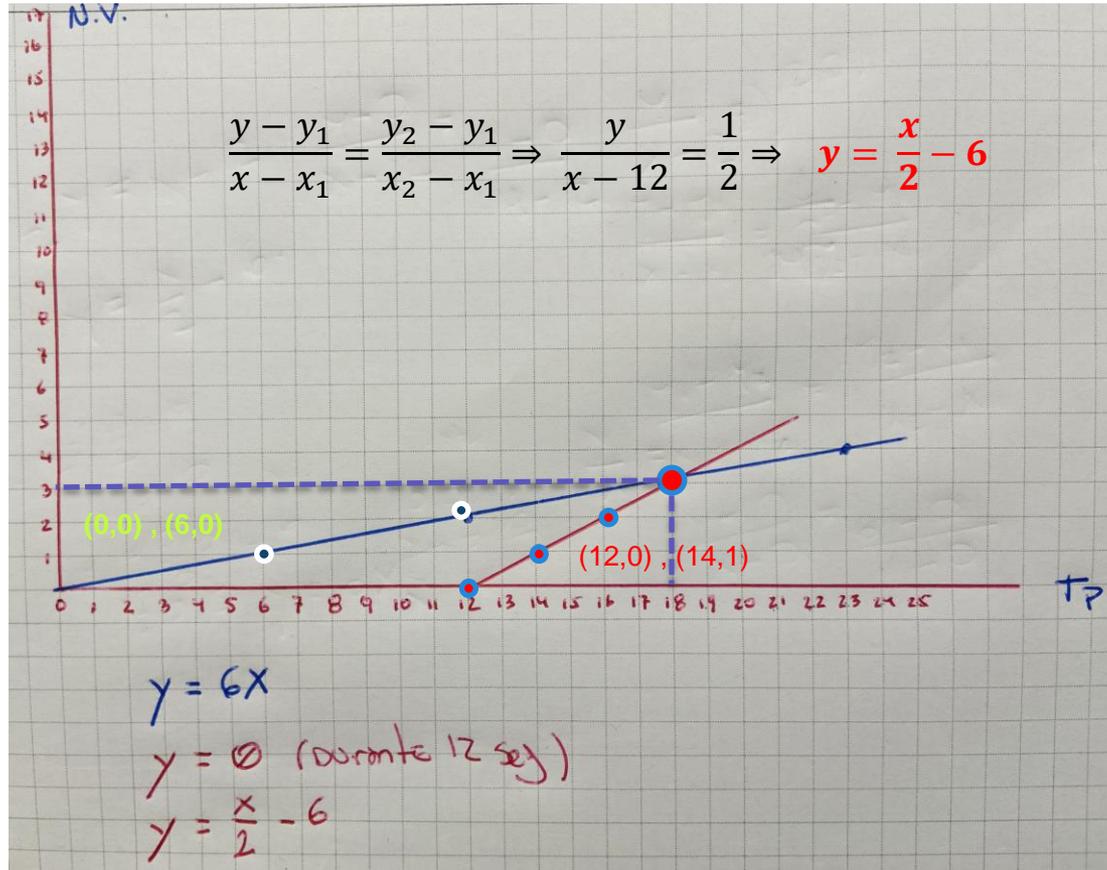


Componentes de la “demora uniforme”

- Si los vehículos ingresan al cruce semaforizado con una frecuencia de 600 veh/h, salen a 1800 veh/h y el tiempo en rojo del semáforo es de 12 segundos.

$$x = 18$$
$$y = 3$$

$$\text{tiempo } 18 - \text{rojo } 12 = 6$$





Programación de semáforos

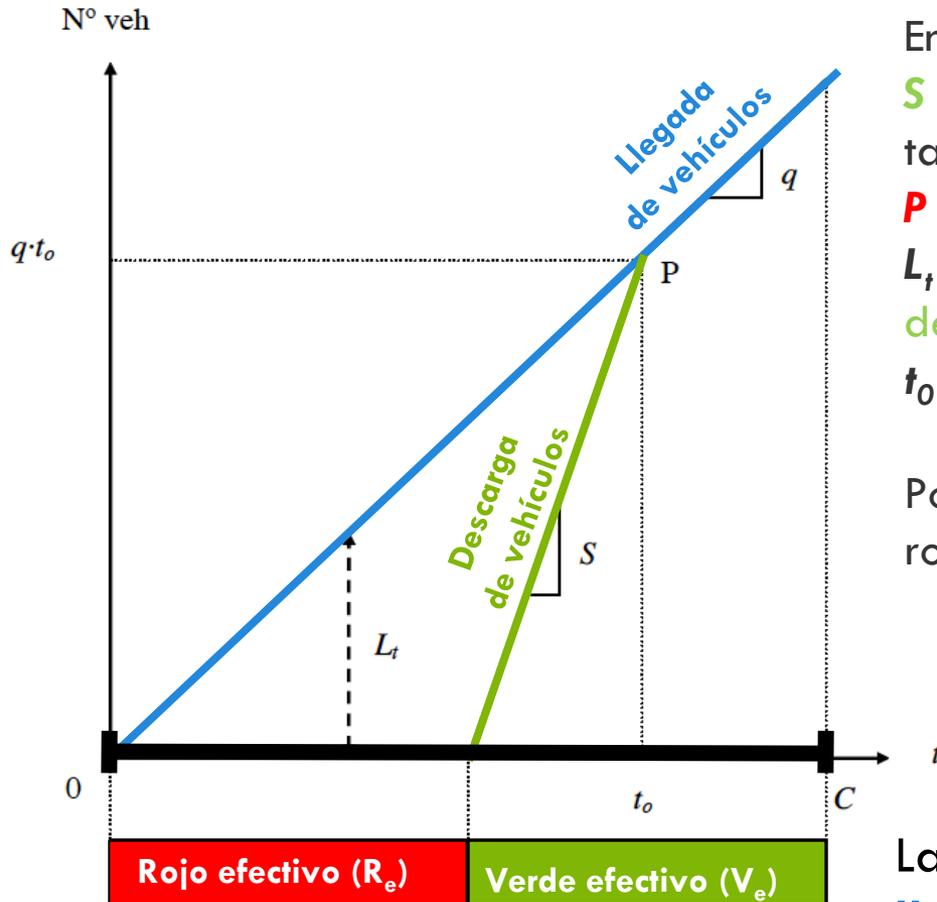


[@comunidadingenio](#)



[/comunidadingenio/](#)

Componentes de la “demora uniforme”



En donde, q es el flujo de llegada, S es el flujo de descarga de la cola (denominado también flujo de saturación).

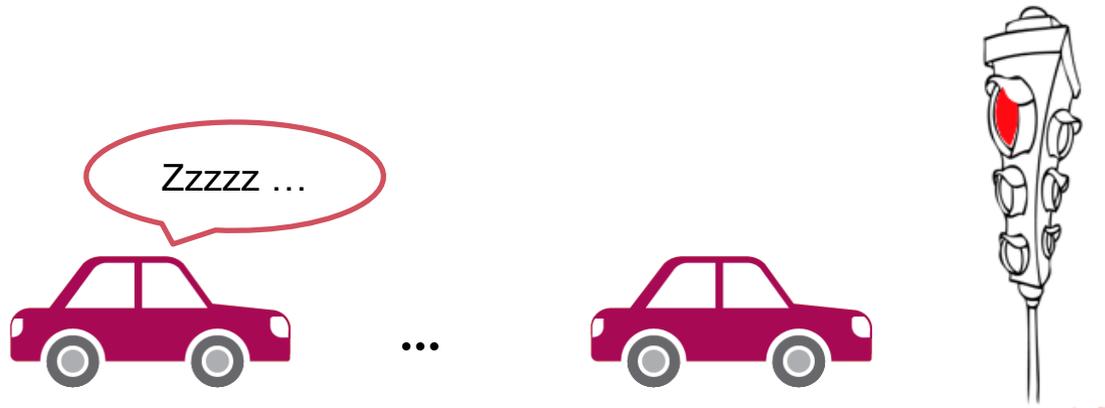
P es el punto de intersección de ambas rectas, L_t es la distancia vertical entre la llegada y descarga de vehículos (longitud de la cola), t_0 es la abscisa y $q \cdot t_0$ es la ordenada del punto P .

Por su parte, C se ha dividido en un periodo de rojo efectivo r_e y verde efectivo v_e

La distancia vertical entre la recta de llegadas y la recta de descarga representa el número de vehículos en la cola L_t

Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

Imaginemos una calle semaforizada a la que llegan vehículos a una tasa de 900 veh/h (q). Al ver el verde, estos vehículos se descargan a una tasa de 1800 veh/h (s). El semáforo que regula la calle tiene un ciclo (C) de 100 segundos, con un tiempo de verde efectivo (V) de 54 segundos. Al llegar, ves que hay una cola de 4 vehículos esperando para pasar.



¿Cuántos ciclos ($r_e + v_e$) son necesarios para que la calle quede vacía?

Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

Para poder responder esta pregunta, lo mejor es graficar las **llegadas** y **descargas** de los vehículos a medida que pasa el tiempo, considerando que en un inicio ya hay 4 vehículos acumulados en la calle esperando para pasar.

La calle volverá a estar vacía cuando la recta de llegadas sea intersectada con la recta de descargas

Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

Representa la función lineal “llegada de vehículos”.

Las **llegadas** son a tasa de 900 veh/H, lo que significa que llega 1 vehículo cada 4 segundos. No olvidar que hay **4 vehículos en la cola al inicio**

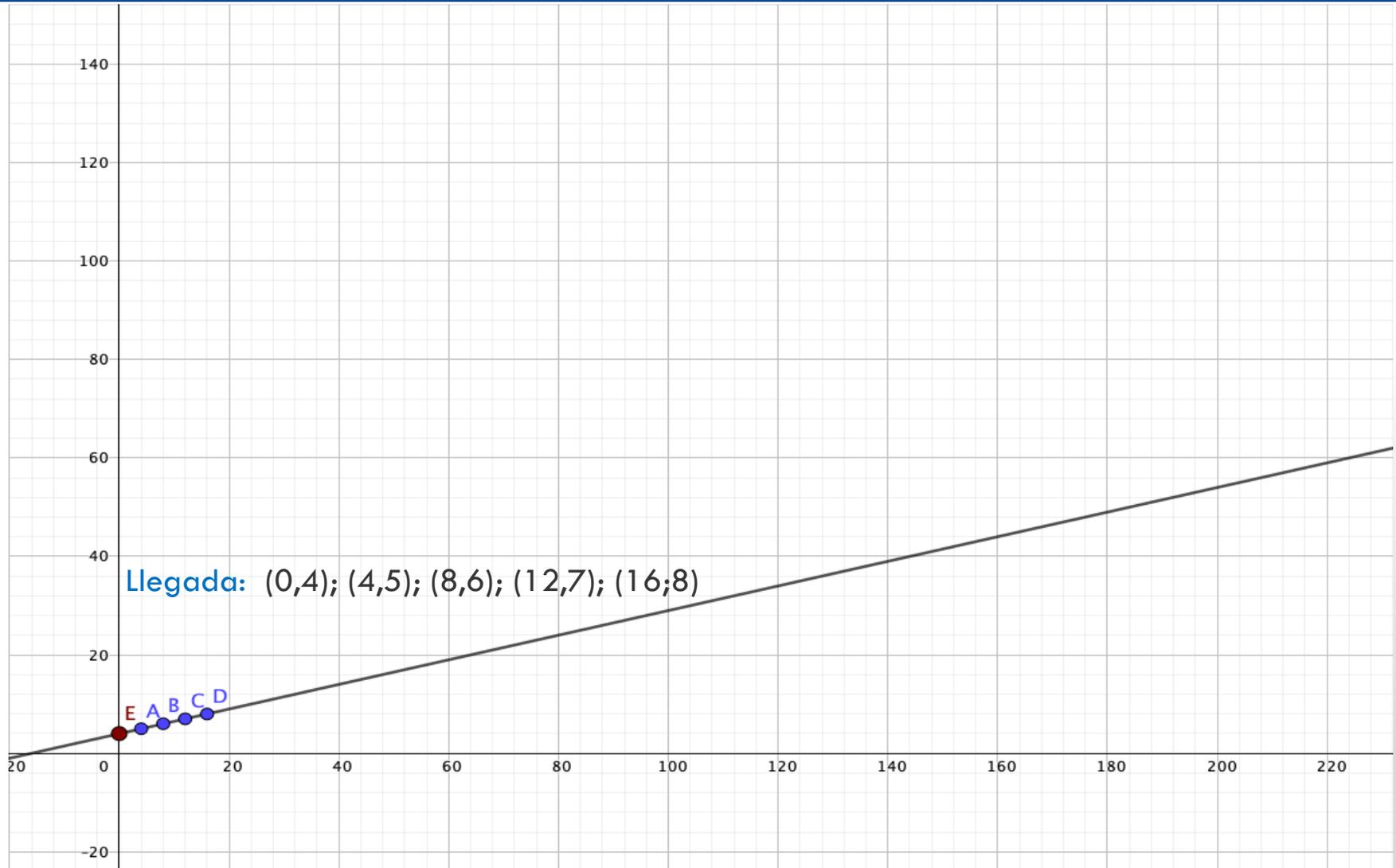
$$(\text{Tiem, Veh}): (0,4); (4,5); (8,6); (12,7); (16,8)$$

Podemos tomar cualquiera de estos puntos y realizar la ecuación de la recta asociada. Ej: $(0,4); (8,6)$

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - 4}{x - 0} = \frac{6 - 4}{8 - 0}$$

$$y = \frac{1}{4}x + 4$$

Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección



Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

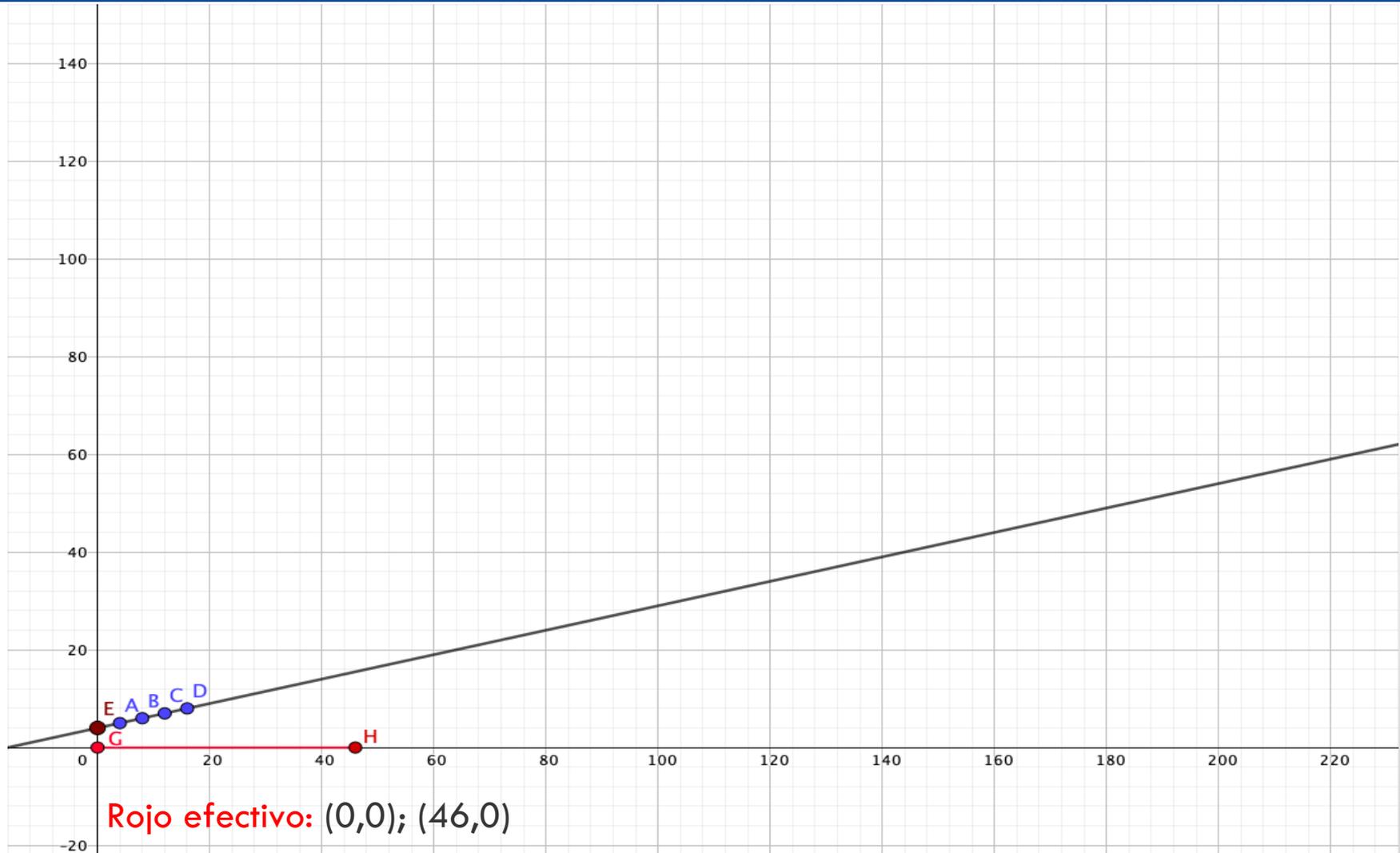
Durante los primeros 46 segundos (**Rojo efectivo**), ningún vehículo puede pasar. Determina la función “descarga de vehículos”.

Algunos puntos que pueden ser útiles para determinar la función “descarga de vehículos”:

$$(\text{Tiem}, \text{Veh}): (0,0); (46,0)$$

$$y=0$$

Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección



Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

Representa la función “descarga de vehículos” durante los 54 segundos que se mantiene en luz verde el semáforo.

Para determinar la función elegimos dos puntos:

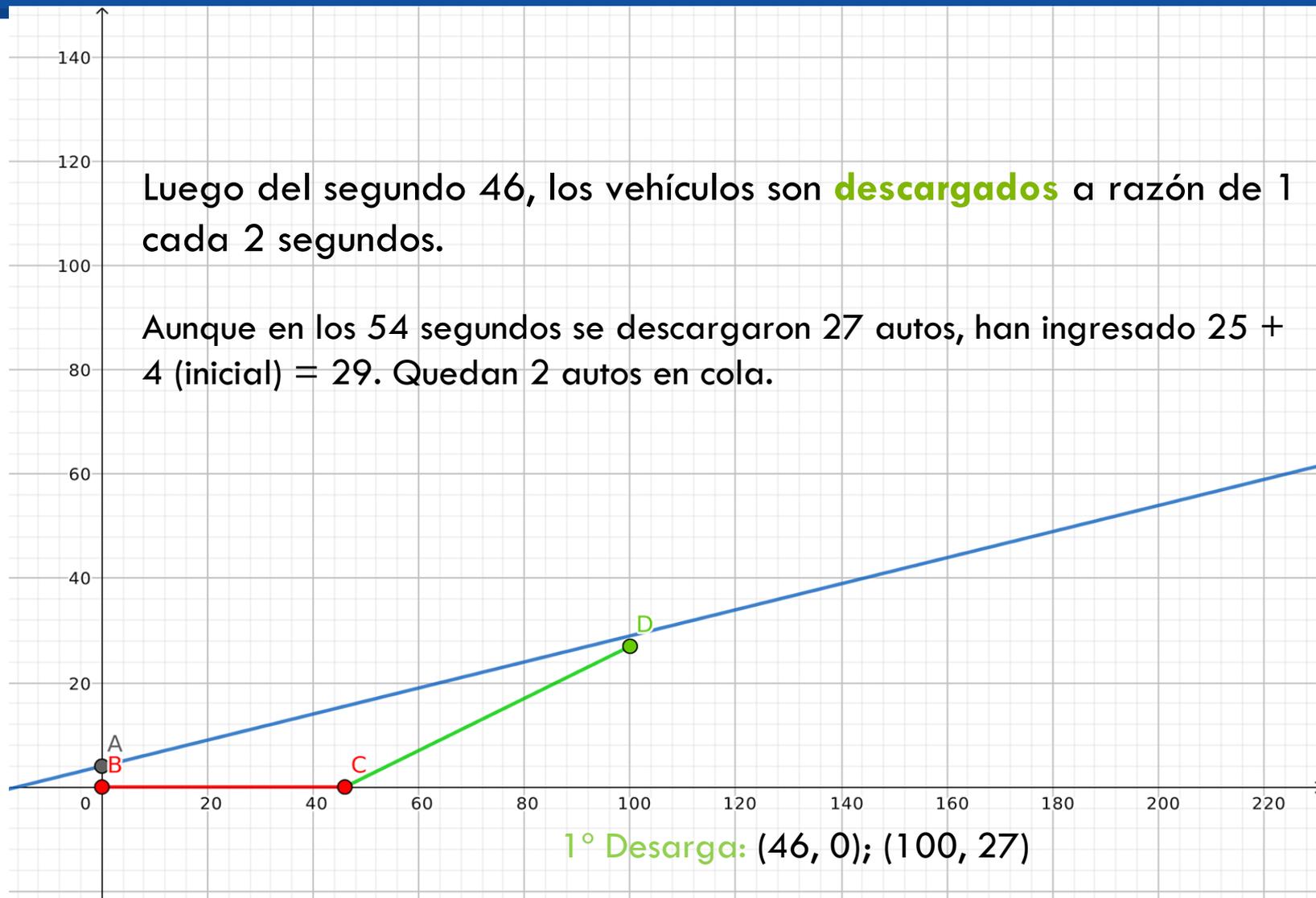
$$(Tiem, Veh):(46, 0); (100, 27)$$

Con ellos obtenemos la ecuación de la recta:

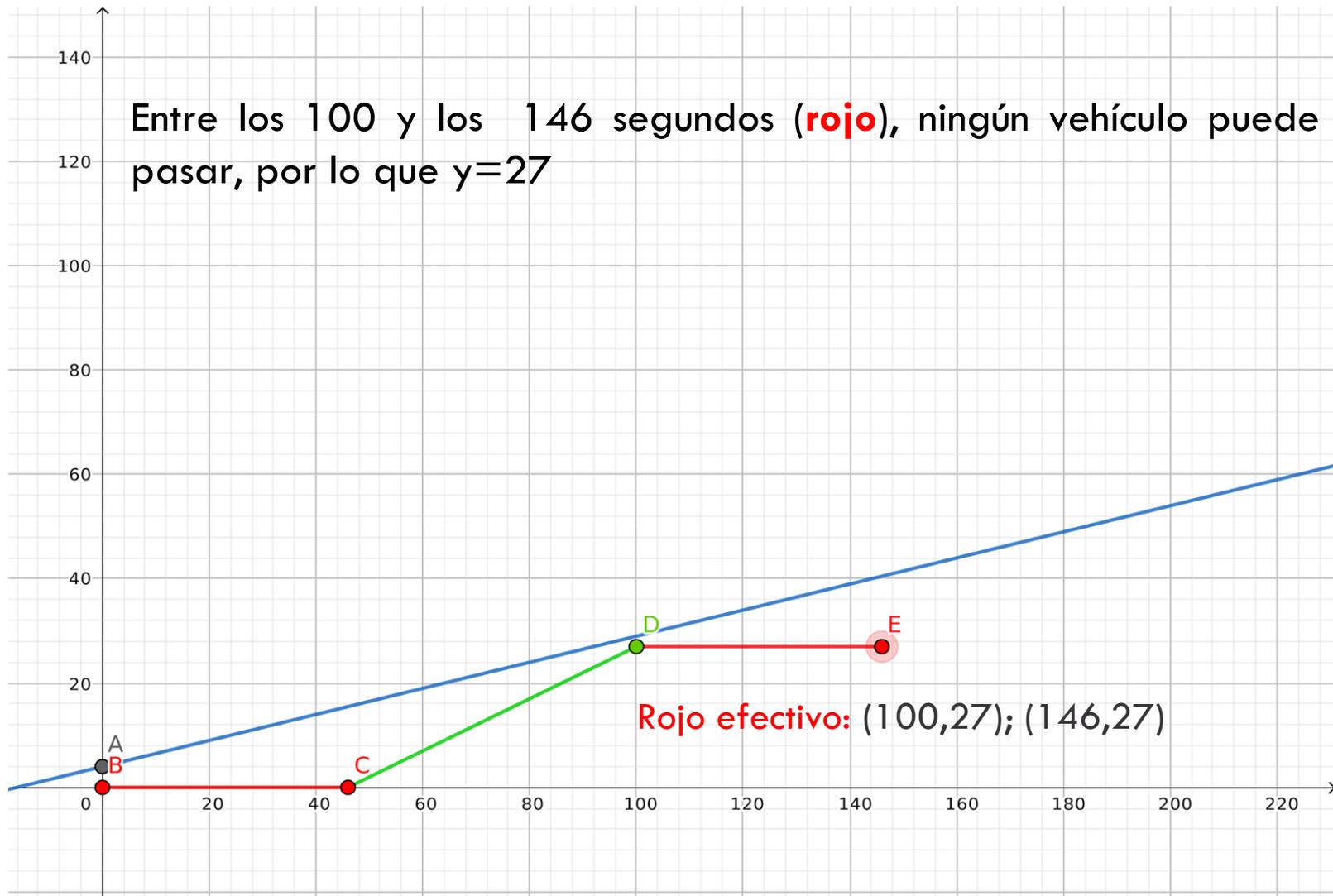
$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \Leftrightarrow \frac{y - 0}{x - 46} = \frac{27 - 0}{100 - 46}$$

$$y = \frac{1}{2}x - 23$$

Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección



Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección



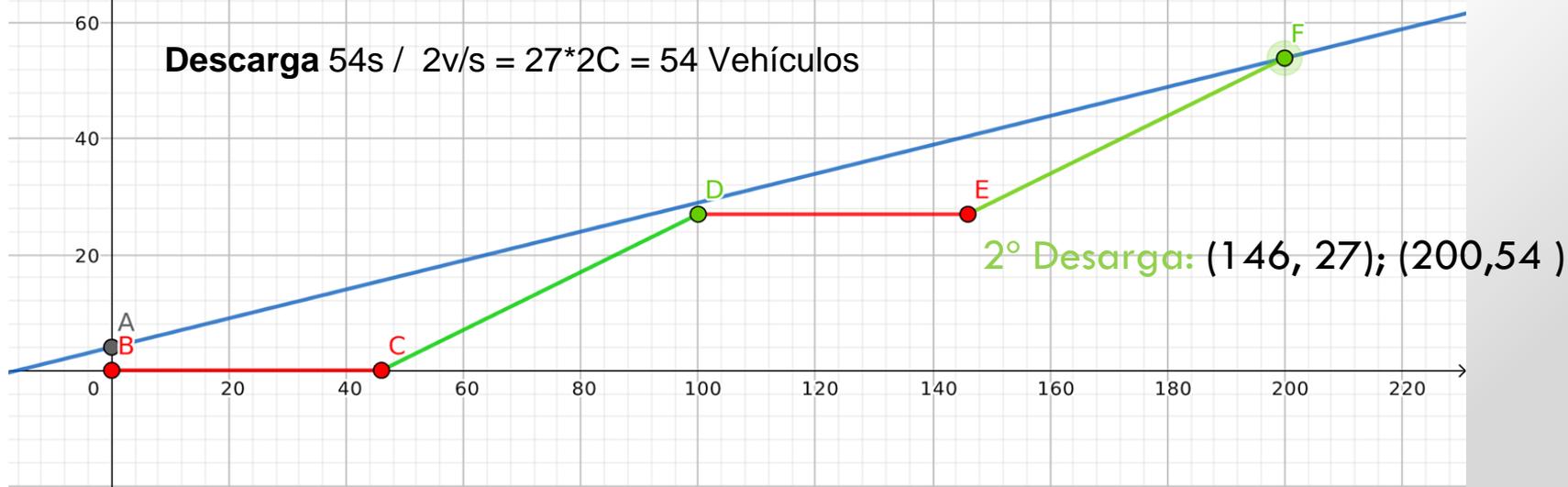
Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

Finalmente, luego de los 146 segundos, los vehículos son **descargados** a razón de 1 cada 2 segundos.

Al evaluar la curva de llegadas y descargas en $x=200$, notamos que son iguales, por lo que la cola se ha disipado completamente. Esto significa que fueron necesarios **dos ciclos** para disipar la cola.

Ingreso $100s / 4v/s = 25 * 2C = 50$ Vehículos + 4 inicial = 54 Vehículos

Descarga $54s / 2v/s = 27 * 2C = 54$ Vehículos



Sumando tiempos ($r_e + v_e$) para despejar una intersección

Supongamos una calle semaforizada a la que llegan vehículos a una tasa de 900 veh/H (q). Al ver el verde, estos vehículos se descargan a una tasa de 1800 veh/H (s). El semáforo que regula la calle tiene un ciclo (C) de 100 segundos, con un tiempo de verde efectivo (V) de 54 segundos. Al llegar, ves que hay una cola de 6 vehículos esperando para pasar.



¿Cuántos ciclos ($r_e + v_e$) son necesarios para que la calle quede vacía?

¿Qué aprendimos hoy?

- **Problema de las intersecciones viales**
- **Descongestión de un cruce usando semáforos**
- **Caso simple de la programación del semáforo**