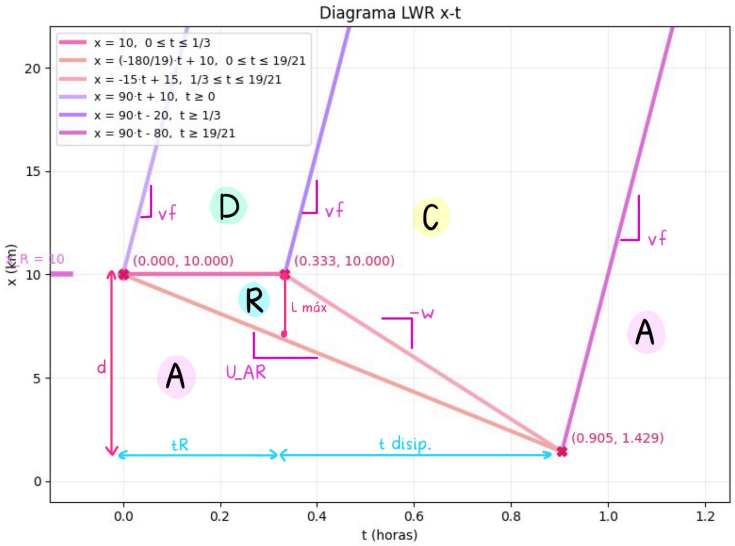
Resumen LWR:

- Las pendientes en el diagrama x–t (LWR) y q–k (fundamental) son LAS MISMAS, pues q/k = x/t = v. Por ende, las ondas que dividen un estado de otro en LWR, tienen exactamente la misma forma (pendiente) que las que dividen estados en el diagrama fundamental. La diferencia es que en el diagrama x–t los estados de tráfico son regiones, mientras que en el diagrama q–k son puntos. Por ello, con solo analizar la pendiente entre distintos estados (ya sea en el diagrama x–t o en el q–k) es posible identificar su ubicación aproximada en el otro diagrama.

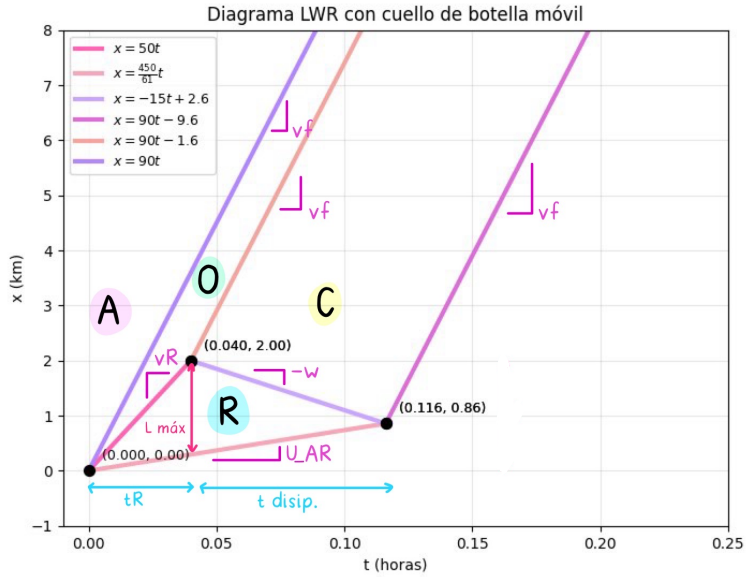
Fórmulas:

- Cuello de botella estático:



Lmax = | Uar |·tR
Nmax = Lmax·kR
t cola = tR + t disip.
N afect. = kA·|d|+ qA·t cola
t prom. = (área R·kR) / N afect.
d prom. = t prom.·vR
d = |w|·t disip (qué tan lejos llega la cola)

- Cuello de botella móvil:



V crec. = vR – Uar
V disip. = Uar – w
Lmax = |V crec.|·tR
T disip. = Lmax / V disip.

*No existe d = "que tan lejos llega la cola" en un CB móvil pues el punto de partida de la cola va constantemente cambiando.

Problema 1 - Aplicación práctica de modelo LWR

En una vía de dos pistas circulan libremente 3000 $\frac{veh}{h}$. En la vía rige el diagrama fundamental descrito por $q(k) = \text{mín}(100k\,;\, 4640-16k)$. A partir de las 20:00:00 se detienen completamente los vehículos en la entrada de un túnel. El túnel permanece cerrado por 2 horas y este tiene una longitud de 2 km.

a. Suponga que después de las 2 horas se habilitan las dos pistas que ingresan al túnel. Grafique esta situación en un diagrama x-t, identificando en el diagrama fundamental los estados de tráfico que se originan.

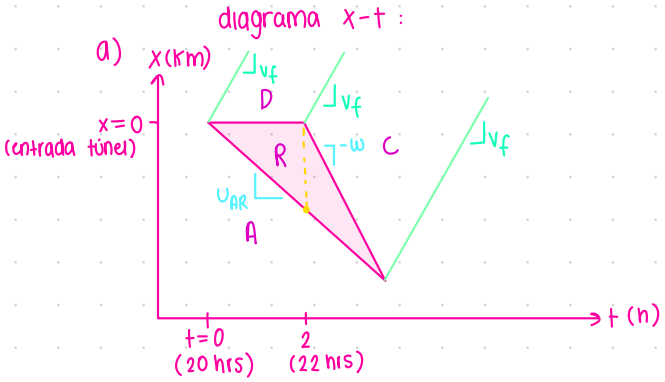
b. Determine la extensión máxima de la cola (en distancia y cantidad de vehículos), hasta donde llega la cola, la hora a la que desaparece completamente la cola, y cuántos vehículos se vieron afectados por el cierre.

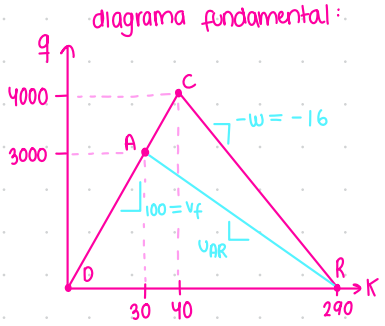
c. Ahora, suponga que en lugar de habilitar las dos pistas luego de 2 horas, por seguridad, se habilitará solamente una pista. Además, una patrulla de policías es el primer vehículo en ingresar y circula a 20 km/h hasta salir del túnel. Al final del túnel, la patrulla se retira del camino e inmediatamente se habilita la segunda pista del túnel. Grafique la situación descrita en un diagrama x-t identificando claramente en el diagrama fundamental de la vía todos los estados de tráfico. Indique en su diagrama x-t cuando desaparece la cola.

"Al final del túnel, la patrulla se retira del camino e inmediatamente se habilita la segunda pista del túnel para los vehículos que ingresen al túnel."

Aclaración importante: la segunda pista se habilita solo para los vehículos que ingresen una vez que la patrulla ya terminó de recorrer el túnel. Los que siguen adentro del túnel cuando la patrulla sale siguen circulando en una sola pista.

a)





$$q(K) = \begin{cases} 100K & 0 \le K \le 40 \\ 4640 - 16K & 40 < K \le 290 \end{cases}$$

$v_f = 100$

$100K = 4640 - 16K$

$K_c = 40 \rightarrow q_m = 4000$

$0 = 4640 - 16K$

$K_J = 290$

b)

$v_{AR} = \frac{3000}{30 - 290} = -11.54$

$x(t)_{v_{AR}} = -11.54t$

$x(t)_{-w} = -16t + C$

$0 = -16 \cdot 2 + C$

$C = 32$

$\therefore x(t)_{-w} = -16t + 32$

intersección: $-11.54t = -16t + 32$

$t_{cola} = 7.17$ hrs → hora a la que desaparece la cola: 20 hrs + 7.17 → 03:10 am.

$x(t = 7.17)_{v_{AR}} = -11.54 \cdot 7.17$

$d = -82.7$ km

↳ llega 82.7km aguas abajo de la entrada del túnel.

extensión máxima: 22 hrs ($t = 2$)

$x(t = 2)_{v_{AR}} = -11.54 \cdot 2 = -23.1$

$L_{máx} = 23.1$ km es la extensión máx. de la cola en distancia.

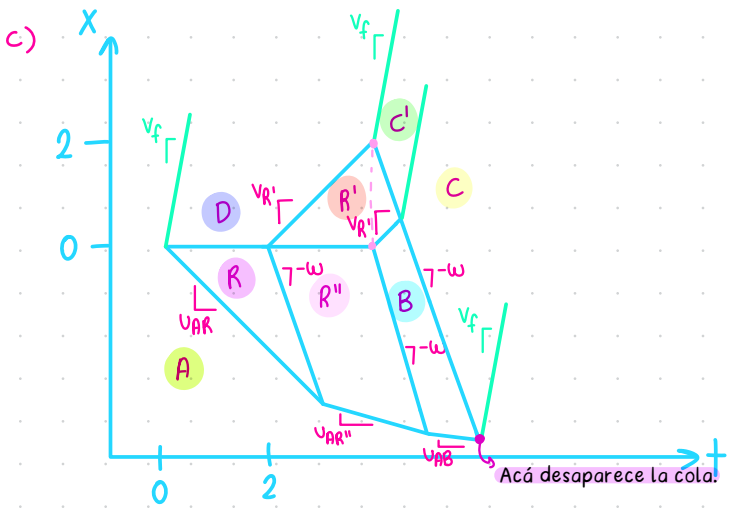
↳ $23.1 \text{ km} \cdot K_R = 23.1 \text{ km} \cdot 290 \text{ veh/km}$

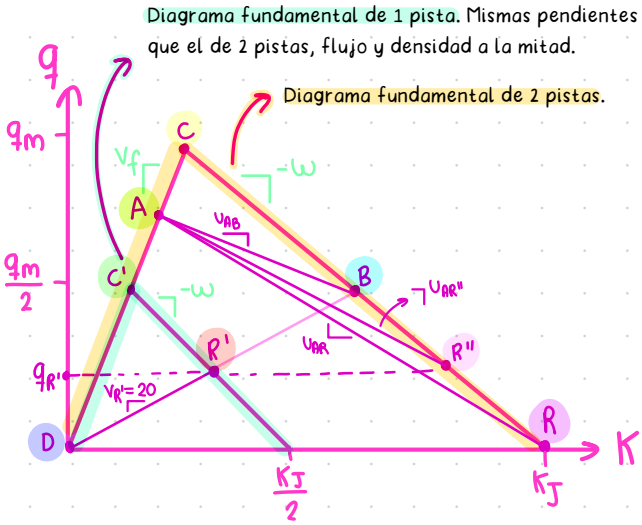
$N_{máx.} = 6699$ veh. es la extensión max. de la cola en # veh.

$N_{afect} = K_R \cdot |d| + q_R \cdot t_{cola}$

$= 30 \cdot 82.7 + 3000 \cdot 7.17$

$= 23991$ veh.





El cuello de botella estático se mantiene igual que en los incisos anteriores. Ahora bien, la resolución del cuello de botella estático es distinto. Antes se volvía a capacidad máxima luego de 2 horas, pero ahora se tiene un nuevo cuello de botella, esta vez móvil, que permite el ingreso de vehículos al túnel pero no resuelve la congestión hasta mucho más tarde.

Al haber vehículos circulando por una sola pista dentro del túnel, su estado de tráfico corresponderá al del diagrama fundamental de 1 sola pista. Así, el problema abarca estados de tráfico en dos diagramas fundamentales distintos.

R': Al ir siguiendo a la patrulla policial, deben circular a 20km/h en una sola pista. Además, los que ya están dentro del túnel cuando la patrulla se retira no se benefician de la apertura de pista pues esta ocurre al inicio del túnel.

R": Mismo flujo que R' al haber conservación de flujo en un cambio instantáneo de estado: pasar de estar justo afuera del túnel (2 pistas) a justo adentro (1 pista) -> mismo flujo pero distinto diagrama fundamental.

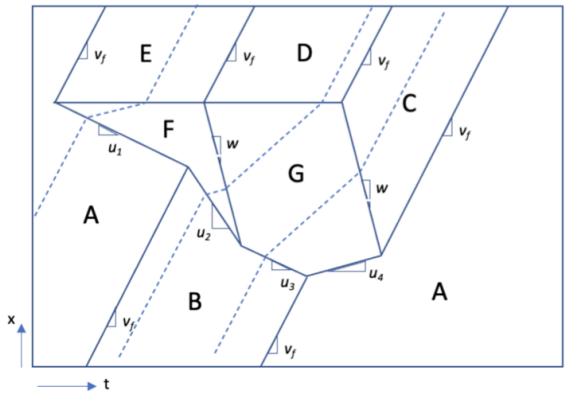
B: No deben realizar el cambio de dos pistas a una, ya que se benefician de la apertura de la segunda pista, pues ingresan al túnel cuando la patrulla ya ha salido. Sin embargo, siguen yendo a 20km/h porque van siguiendo a los vehículos de adelante aún en R'.

C': Los vehículos que experimentan el estado R' nunca recuperan la pista adicional pues ingresaron al túnel cuando la patrulla aún seguía dentro, y como la apertura de la segunda pista se da al inicio del túnel, siguen circulando por 1 pista incluso cuando la patrulla ya salió y no los obliga más a ir a 20km/h. Por lo tanto, pueden ir a velocidad de flujo libre, pero en solo 1 pista. -> estado C'.

C: Los vehículos pueden circular a flujo libre y en dos pistas una vez que atraviesan el estado B, causado por el desfase temporal entre vehículos que los obligaba a ir a 20km/h a causa de la patrulla, aún cuando esta ya se había ido.

Problema 2 - Interpretación de modelo LWR

Al utilizar el modelo LWR en una vía se generó el campo de densidad que se ve en la figura. Cada letra denota el estado de tráfico determinado para el correspondiente área, y en línea punteada se muestran ejemplos de trayectorias.

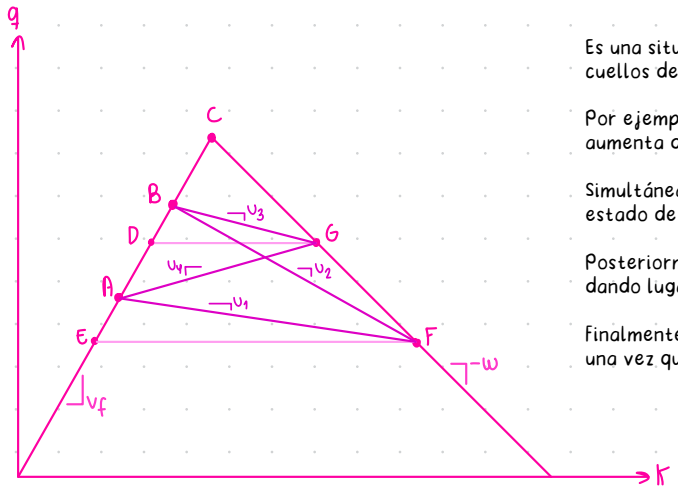


Sabiendo que la vía tiene la misma cantidad de pistas en todo el tramo y que en él rige un diagrama fundamental triangular, realice lo siguiente:

a. Identifique en el diagrama fundamental la posición (aproximada) de cada uno de los estados de tráfico que se ven, así como las pendientes que se observan en el campo de densidad. Explique su razonamiento. Comente qué situación de tráfico puede estar siendo representada por este diagrama.

b. Suponga que conoce el diagrama fundamental de la vía, por lo que se conoce el flujo, densidad y velocidad media espacial de cada estado de tráfico, y todos los detalles numéricos del campo de densidad mostrado. Explique claramente cómo calcularía lo siguiente: cantidad de vehículos demorados, cantidad máxima de vehículos en cola, cantidad total de kilómetros recorridos por todos los vehículos mientras están en la cola, tiempo total empleado por todos los vehículos en la cola.

a)



Es una situación en la que se producen dos cambios en el flujo de llegada (A y B) y en los cuellos de botella (F y G).

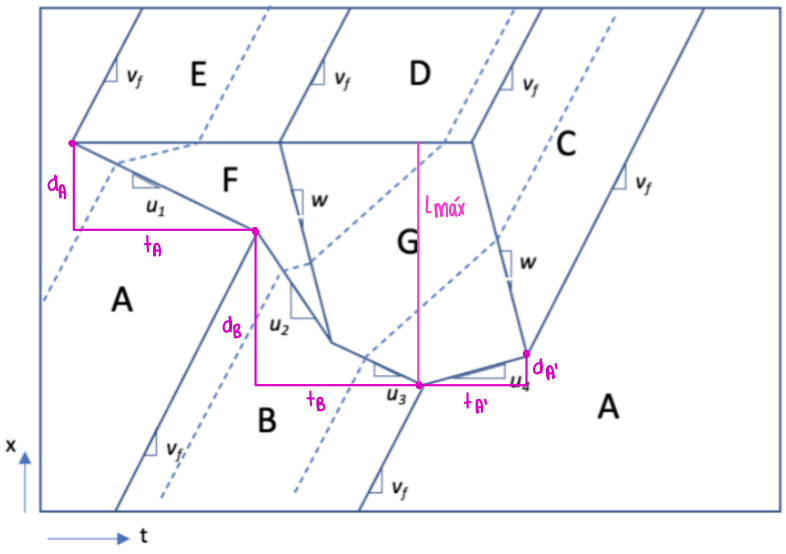
Por ejemplo, a las 7:00 am las personas comienzan a salir de sus casas, por lo que el flujo aumenta de A a B, manteniéndose aún a flujo libre.

Simultáneamente, ocurre un choque en la vía (cuello de botella estático), que cambia el estado de A a F (antes de las 7:00 am) y de B a F (después de las 7:00 am).

Posteriormente, el incidente se soluciona parcialmente, despejando en parte la vía y dando lugar al estado G, que sigue siendo de congestión, pero con un mayor flujo.

Finalmente, el accidente se resuelve por completo y el sistema vuelve a la normalidad una vez que la cola se disipa.

b)



$N_{afect} = k_A \cdot |d_A| + q_A \cdot t_A + k_B \cdot |d_B| + q_B \cdot t_B - k_A \cdot |d_{A'}| - q_A \cdot t_{A'}$

$N_{máx.} = L_{máx.} \cdot k_G$

$d_{total} = \text{área } F \cdot q_F + \text{área } G \cdot q_G$

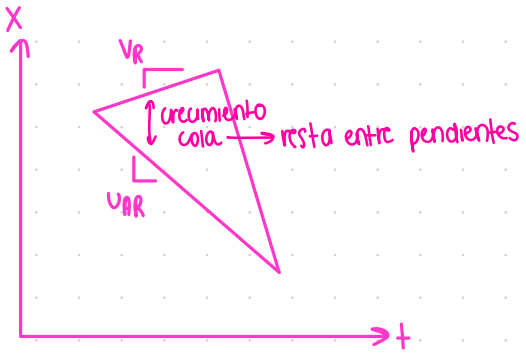
$t_{cola\ total} = \text{área } F \cdot k_F + \text{área } G \cdot k_G$

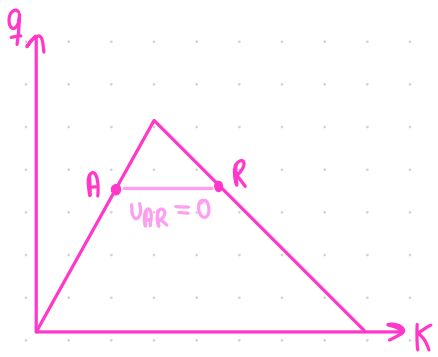
Problema 3 - Teoría

a. En un CB móvil (sin adelantamiento), ¿es posible que el largo de la cola crezca a la misma velocidad a la cual se mueve el vehículo lento que genera la cola? En caso de ser posible, ¿qué condición se debe cumplir para que esto ocurra? Si no es posible, ¿por qué?

b. El modelo LWR establece que ninguna onda puede viajar a una velocidad superior a la que lo hacen los vehículos. ¿Es deseable esta característica en el modelo? ¿Qué ocurriría si no fuera así? Justifique.

a)





$v_R = v_R - v_{AR}$

$\therefore\ v_{AR} = 0$

Sí es posible y ocurre cuando el estado A tiene el mismo flujo que R, solo que A se encuentra a flujo libre y R en congestión.

---

b) Sí, es deseable.

En LWR las ondas representan cambios en las condiciones del flujo, y tiene sentido que esa información no viaje más rápido que los propios vehículos. Si no fuera así, el modelo permitiría que una perturbación del tráfico se propagara más rápido que los autos que la generan, produciendo situaciones poco realistas.

Por ejemplo, una desaceleración podría "avisar" a vehículos que todavía no han llegado a esa zona, como si la congestión se adelantara físicamente a los conductores. En ese caso, el efecto aparecería antes que su causa, se rompería la causalidad del modelo y podrían surgir predicciones absurdas sobre dónde y cuándo se forma o disipa una cola. Por eso, esta propiedad ayuda a que el modelo sea físicamente coherente.