

SOLUCIÓN SENCILLA: primero escribiré una solución en la que se solucionen los problemas de seguridad y no haya deadlocks:

Monitor Puente:

```
np : int = 0  
nc_norte : int = 0  
nc_sw : int = 0  
nocoches_norte : vc = True  
nocoches_sw : vc = True  
nopeaciones : vc = True  
nocoches : vc = True
```

wants_enter_car (direction)

```
nopeaciones.wait (np == 0)  
if direction == NORTE  
    nocoches_sw.wait (nc_sw == 0)  
    nc_norte = nc_norte + 1  
else:  
    nocoches_norte.wait (nc_norte == 0)  
    nc_sw += 1
```

leaves_car (direction)

```
if direction == NORTE  
    nc_norte = nc_norte - 1  
    nocoches_norte.notify()  
else:  
    nc_sw = nc_sw - 1  
    nocoches_sw.notify()  
nocoches.notify()
```

wants_enter_pedestrian()

```
nocoches.wait (nc_norte == 0 & nc_sw == 0)  
np = np + 1
```

leaves_pedestrian()

```
np = np - 1  
nopeaciones.notify()
```

- Procedemos ahora a contestar a las preguntas que se nos plantean en el examen.

• Apartado 1 → invariantes del monitor:

$$up \geq 0$$

$$nc_norte \geq 0$$

$$nc_sur \geq 0$$

$$np > 0 \rightarrow nc_norte = 0 \wedge nc_sur = 0$$

$$nc_norte > 0 \rightarrow up = 0 \wedge nc_sur = 0$$

$$nc_sur > 0 \rightarrow np = 0 \wedge nc_norte = 0$$

• Apartado 2 → demostrar que el puente es seguro

→ Primero veamos que no entran coches en direcciones contrarias a la vez, y que no entran mientras haya peatones circulando:

Hemos puesto, como variables que representan enteros el número de coches que hay dirigiéndose al sur (en el puente) y el número de coches en dirección al norte; cuando un coche que se dirige, digamos al norte, trata de entrar al puente tiene que cumplirse dos condiciones: que no haya peatones (lo cual ha de cumplirse siempre que quiera entrar un coche, sea cual sea su dirección), como se indica con la variable de condición `nopatas` (cuya condición es que el número de peatones en el puente sea 0) y también ha de cumplirse que no haya coches en dirección contraria, lo cual se verá, de nuevo, con una variable de condición, en nuestro ejemplo, como el coche que quiere entrar va hacia el norte, usaremos `nocoches-sur` y usaremos `nocoches-norte` en caso de que el vehículo que desea entrar dirijiese hacia el sur.

→ Ahora también veremos que es seguro si un peatón quiere entrar al puente y que no lo haga hasta que no haya ningún coche en el puente:

Cuando un peatón trata de entrar, habrá una variable de condición (`nocoches`) que cumplirá tanto si hay coches en el puente dirigidos a una dirección como a la otra, de modo que solo les dejará entrar cuando el puente esté libre de vehículos.

• Apartado 3 → demostrar que no hay deadlock:

Para ver que no se produce deadlock, analizaremos que en todo punto del código donde se cambian aspectos que tienen que ver con los invariantes, éstos se siguen cumpliendo. Copiamos el código que tenemos y vamos punto a punto:

```
wants-enter-car (self, dirección: int) → share:
    noperches.wait (np = 0)
    if dirección == NORTE:
        nocoches_sw.wait (nc_sw == 0)
        nc_norte = nc_norte + 1
    else:
        nocoches_norte.wait (nc_norte == 0)
        nc_sw += 1
```

- Si la dirección es NORTE y llegamos al punto en el que $nc_norte = nc_norte + 1$, tendremos que $nc_norte > 0$. Según el invariante, si esto ocurre entonces np y nc_sw tienen que ser 0, lo cual es cierto gracias a $noperches.wait(np=0)$ y a $nocoches_sw.wait(nc_sw==0)$, que se aseguran de que solo se le sumará 1 a nc_coches cuando se cumplen dichas condiciones.
- Es completamente análogo para el caso de nc_sw .

wants-enter-pedestrian (...)

```
nocoches.wait (nc_norte == 0 ∧ nc_sw == 0):
    np = np + 1
```

- En este caso tenemos que $np > 0$, así que se debe cumplir que $nc_norte = 0$ y $nc_sw = 0$, que es justo lo que nos dice $nocoches.wait(...)$
- Por último, en los casos de leaves-car y leaves-pedestrian, el único punto donde podría dejarse de cumplir algún invariante sería al restarle 1 al número de peatones o coches (norte/sw) y que dejen de ser mayores o iguales que 0, pero a esas funciones se les llama solo cuando ya se ha llamado previamente a aquellas en las que entran peatones o coches respectivamente.

De este modo, al cumplirse en todo momento los invariantes no nos encontraremos en ningún caso bloqueados en los que ninguno de los procesos se ejecute porque se queden todos esperando a que se cumpla alguna condición y que no cambie la situación.

• Apartado 4 → demostrar que no hay inanición

→ es la que se corresponde con puente-version2.py del código.

SOLUCIÓN NO BÁSICA → para resolver este apartado se propone una solución más avanzada. En este caso, lo que se propone es llevar un control del número de coches (en cada dirección) y peatones cruzan el puente seguidos, impidiendo a los otros pasar, y que cuando llegue a un límite se les cierre el paso, dándoselo a los demás, de modo que todos acabarán pasando eventualmente.

Para ver esta nueva implementación, se ha añadido lo necesario en morado a la solución básica:

Monitor Puente:

np : int = 0
nc_norte : int = 0
nc_sur : int = 0
nocoches_norte : vc = True
nocoches_sw : vc = True
nopeatones : vc = True
nocoches : vc = True

max_coches_worle : int = 0
max_coches_sur : int = 0
max_peatones : int = 0
max_coches : int = 0
muchos_cochesN : vc = True
muchos_coches_S : vc = True
muchos_peatones : vc = True
muchos_coches : vc = True

cochesN_esp : int = 0
cochesS_esp : int = 0
peat_esp : int = 0
coches_esp : int = 0

wants_enter_car (direction)

coches_esp = coches_esp + 1

nopeatones.wait (np == 0)

if peat_esp != 0 :
 muchos_coches.wait (max_coches < 15) → para dar paso a los peatones

if direction == NORTE

 cochesN Esperando = cochesN Esperando + 1

 if (cochesS_esp != 0)

 muchos_cochesN.wait (max_coches_norte < 7)

nocoches_sw.wait (nc_sw == 0)

 nc_norte = nc_norte + 1

 max_coches_worle = max_coches_worle + 1

 cochesN_Esp = cochesN_Esp - 1

 max_coches_sw = 0 → como ha entrado un coche por el norte, ya han dejado de pasar coches por el sur seguidos

 muchos_coches_S.notify()

else.

 cochesS_Esp = cochesS_Esp + 1

 if (cochesN_esp != 0)

 muchos_coches_S.wait (max_coches_sw < 7)

nocoches_norte.wait (nc_norte == 0)

 nc_sw += 1

max-coches-sw = max-coches-sw + 1.

coches Esperando-sw = coches Esperando-sw - 1

max-coches-norte = 0

muchos-coches-N.notify()

max-coches = max-coches + 1

coches-exp = coches-exp - 1

max-peatones = 0 → han pasado algún coche (sea la dirección que sea), así que van dejando
muchos-peatones.notify() de pasar peatones.

leaves-car(direction)

```
if dirección == NORTE
    nc-norte = nc-norte - 1
    nocoches-norte.notify()
else:
    nc-sw = nc-sw - 1
    nocoches-sw.notify()
    nocoches.notify()
```

wants-enter-pedestrian()

```
peat-exp = peat-exp + 1
if (coches-exp != 0)
    muchos-peatones.wait(max-peatones < 5)
```

nocoches.wait (nc-norte == 0 ∧ nc-sw

```
np = np + 1
max-peatones = max-peatones + 1
peat-exp = peat-exp - 1
max-coches = 0
muchos-coches.notify()
```

leaves-pedestrian()

```
np = np - 1
no-peatones.notify()
```

- Se explica más detalladamente por qué no se produce inanición con esta solución:
Primero demostraremos cómo se evitan los problemas de inanición en caso de que
pasen demasiados coches seguidos (independiente de su dirección) y se de paso
a los peatones o viceversa. Para ello creamos dos variables, max-coches y
max-peatones, que contabilizarán los peatones y coches que pasan seguidos.
Si se llega a un máximo de coches que pasan seguidos, se les dará
paso a los peatones. Y al contrario, en el caso de que el máximo lo
alcancen los peatones.

De este modo, como mucho se llegará a un número máximo de peatones
o coches que pasen seguidos y, obligatoriamente, tendrán que dejar pasar a
los otros llegados a ese punto. Así, eventualmente unos u otros pasarán.

Por otro lado, se ha de controlar que los coches que están pasando no sean siempre del mismo sentido, por tanto se procede análogamente al párrafo anterior pero en cada dirección dentro de los coches.

- Como hemos añadido nuevas cosas al programa, debemos analizar de nuevo los invariantes y el deadlock:

INVARIANTES

$$np \geq 0$$

$$nc_norte \geq 0$$

$$nc_sur \geq 0$$

$$np > 0 \rightarrow nc_norte = 0 \wedge nc_sur = 0$$

$$nc_norte > 0 \rightarrow np = 0 \wedge nc_sur = 0$$

$$nc_sur > 0 \rightarrow np = 0 \wedge nc_norte = 0$$

$$\text{max-coches} \geq 0$$

$$\text{max-peatones} \geq 0$$

$$\text{max-coches-norte} \geq 0$$

$$\text{max-coches-sur} \geq 0$$

$$\text{max-coches} > 0 \rightarrow \text{max-peatones} = 0$$

$$\text{max-peatones} > 0 \rightarrow \text{max-coches} = 0$$

$$\text{max-coches-norte} > 0 \rightarrow \text{max-coches-sur} = 0$$

$$\text{max-coches-sur} > 0 \rightarrow \text{max-coches-norte} = 0 .$$

$$\text{cochesN-esp: int} \geq 0$$

$$\text{cochesS-esp: int} \geq 0$$

$$\text{peat-esp: int} \geq 0$$

$$\text{coches-esp: int} \geq 0$$

DEADLOCK.

El hecho de que las nuevas variables sean todas ≥ 0 se cumplirá siempre, puesto que lo único que se hace con ellas es sumarles números 0 o restarlos a poner a 0.

Por otro lado, los puntos donde podría haber bloqueo es en muchos coches 0 o muchos peatones, pero nunca habrá tanto coches como peatones parados en ambas a la vez, ya que si los coches seguidos son más de 10, según el invariante los peatones serán 0 y superará muchos-peatones porque cumple la condición.

Sabemos que max-peatones es 0, porque lo último que entró fue un coche y, según el código, en ese caso se pone a 0 dicha variable. Y ocurre lo mismo si fuese al revés.

En el caso de la regulación del paso de coches que vienen por el norte o el sur, ocurre de forma totalmente análoga; una vez que se permite que entren los coches, se decide si el que debe entrar es el de una dirección u otra según los coches consecutivos que hayan pasado de uno u otro, por siempre cumpliendo las invariantes, ya que al entrar entra un coche en una dirección, automáticamente max-coches-norte(sus) cambia a 0.

En cuanto a los cuatro últimos invariantes, el único modo de que queden negativas sería al restarle 1 a estas variables, pero según el código, si siempre entran se les habría sumado 1, por lo que como mucho quedarán a 0.