

Anexo 2

Este anexo contiene el texto de LINGO de algunos escenarios. Se escriben en el siguiente orden:

Escenario 1.1

Escenario 2.2

Escenario 1.4

Escenario 1.8

Escenario 2.8

Escenario 1.1

!Modelo para la construcción de horarios de servicios ferroviarios bajo estrategias de aceleración, short turning y deadheading;

MODEL:

DATA:

```
n= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','n');
m= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','m');
k= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','k');
ENDDATA
```

SETS:

```
Vehiculo/1..n/: hbi, tri, s;
Estacion/1..m/: tpmax, tpmin;
ciclo/1..k/;
EE (estacion, estacion): trmax, trmin;
VE (vehiculo, estacion): alfa;
VEE (vehiculo, EE): gamma ;
VEEC (vehiculo, ciclo, EE): tr;
VEC (vehiculo, ciclo, estacion): ha, hb, tp;
VVECC (vehiculo, vehiculo, estacion, ciclo, ciclo): beta;
estacioncomienzo (vehiculo, estacion)/ 1 18, 2 13, 3 4, 4 4, 5 1/;
estacionfin(vehiculo,estacion)/1 35, 2 40, 3 49, 4 49, 5 52/;
ciclofinal(vehiculo, ciclo, estacion)/1 10 35, 2 5 40, 3 3 49, 4 3 49, 5 2 52 /;
ENDSETS
```

DATA:

!Datos importados desde un archivo Excel;

```
tpmax, tpmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tpmax','tpmin');
trmax, trmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','trmax','trmin');
tri= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tri');
v= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','v');
s= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','s');
ts= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','ts');
tsi= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tsi');
alfa= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','alfa');
gamma= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','gamma');
```

!Exportar la solución a un archivo Excel;

```
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','ha_s')=ha;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hb_s')=hb;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hbi_s')=hbi;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','tp_s')=tp;
```

ENDDATA

! Restricciones;

! Hora de entrada a una estación

$$ha_{ij}^e \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: ha>=0);

! Hora de salida de una estación

$$hb_{ij}^e \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: hb>=0);

! Hora de salida del garaje

$$hb_{i \text{ garaje}}^e \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(vehiculo: hbi>=0);

! Tiempo de recorrido entre estaciones

$$tr_{ijj'}^e \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall j' \forall c ;$$

@FOR(VEEC: tr>=0);

! Tiempo de parada

$$tp_{ij}^e \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

@FOR(VEC: tp>=0);

! Variable binaria beta

$$\beta_{ii'}^{cc} \text{ es una variable binaria } \forall i \forall i' \forall j \forall c \forall c' ;$$

@FOR(VVECC:@BIN(beta));

! Hora de salida de los vehículos del garaje con orden predeterminado

$$hb_{i,garaje} + tsi \leq hb_{i',garaje} \quad \forall i \forall i' \geq i ;$$

@FOR(vehiculo(i) | i#EQ#1:

hbi(i)=0);

@FOR(vehiculo (i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#GT#i:

hbi(i) + tsi <=hbi(i2)));

! Hora de llegada de cada vehículo a su estación inicial del recorrido

$$ha_{ij_i^e}^c = hb_{i,garaje} + tr_{i,garaje} \quad \forall i \forall j_i^e \quad c=1 ;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR (ciclo (c) | c#EQ#1:

ha (i, c, j) = hbi (i) + tri (i);

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de un vehículo en prima estación de cada recorrido

$$hb_{ij_i^e}^c = ha_{ij_i^e}^c + tp_{ij_i^e}^c \quad \forall i \forall j_i^e \quad c=1 ;$$

hb (i, c, j) =ha (i, c, j) + tp (i, c, j));

!Enlace entre ciclos consecutivos de un mismo vehículo

$$ha_{ij_i^e}^c = hb_{ij_i^{e-1}}^{c-1} + tr_{ij_i^{e-1}j_i^e}^{c-1} \quad \forall i \forall j_i^e \forall j_i^{e-1} \forall c > 1$$

$$tr_{ij_i^{e-1}j_i^e}^c = t_{j_i^{e-1}j_i^e}^{min} \quad \forall i \forall j_i^e \forall j_i^{e-1} \forall c > 1 ;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR(estacionfin(i,j2):

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) #AND# c #GT# 1:

@FOR(ciclo(c2) | c2#EQ#c-1:

ha (i, c, j) = hb (i, c2, j2) + tr(i, c2, j2, j);

tr(i, c2, j2, j)= trmin(j2,j))));

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de cada vehículo en cada estación

$$hb_{ij}^c = ha_{ij}^c + tp_{ij}^c * \alpha_{ij} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (estacion (j) | alfa(i,j)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

hb (i, c, j) =ha (i, c, j) + tp (i, c, j) * alfa (i, j))));

! Para reducir variables;

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

hb (i, c, j) =0 ;

ha (i, c, j) = 0));

! Relación entre hora de entrada y salida entre estaciones consecutivas

$$\gamma_{ijj'} * ha_{ij'}^c = (hb_{ij}^c + tr_{ijj'}^c) * \gamma_{ijj'} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

@FOR (vehículo (i):

@FOR (EE (j, j2) | j2#GT#j #AND# gamma(i,j, j2)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

$$\gamma_{ijj'} * ha_{ij'}^c = (hb_{ij}^c + tr_{ijj'}^c) * \gamma_{ijj'} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

! Límites del tiempo de recorrido

$$\gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\min} \leq tr_{ijj'}^c \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

$$\gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\min} \leq tr_{ijj'}^c \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

$$tr(i, c, j, j2) \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

! Para reducir variables;

@FOR (vehículo (i):

@FOR (EE (j, j2):

@FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

$$tr(i, c, j, j2) = 0 \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

! Límites del tiempo de parada

$$\alpha_{ij} * tp_j^{\min} \leq tp_{ij}^c \leq \alpha_{ij} * tp_j^{\max} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall c ;$$

@FOR(vehículo(i):

@FOR(estacion(j) | alfa(i,j)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

$$\alpha_{ij} * tp_j^{\min} \leq tp_{ij}^c \leq \alpha_{ij} * tp_j^{\max} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall c ;$$

$$tp(i, c, j) \leq \alpha_{ij} * tp_j^{\max} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall c ;$$

! Tiempo de seguridad en las paradas

$$(1 - \beta_{ii'j}^{cc'}) * V + ha_{ii'}^c \geq hb_{ii'}^c + ts \quad \forall i \quad \forall i' \neq i \quad \forall j \quad \forall c \quad \forall c'$$

$$\beta_{ii'j}^{cc'} * V + ha_{ii'}^c \geq hb_{ii'}^c + ts \quad \forall i \quad \forall i' \neq i \quad \forall j \quad \forall c \quad \forall c' ;$$

@FOR(vehículo(i):

@FOR(vehículo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) :

@FOR(ciclo(c2):

$$(1 - \beta_{ii'j}^{cc'}) * V + ha_{ii'}^c \geq hb_{ii'}^c + ts \quad \forall i \quad \forall i' \neq i \quad \forall j \quad \forall c \quad \forall c'$$

$$\beta_{ii'j}^{cc'} * V + ha_{ii'}^c \geq hb_{ii'}^c + ts \quad \forall i \quad \forall i' \neq i \quad \forall j \quad \forall c \quad \forall c' ;$$

! Para reducir variables;

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

@FOR(ciclo(c2):

beta (i, i2, j, c, c2)=0)))));

!Función objetivo 1:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n ha_{ij}^{c \rightarrow j}$$

;

MIN = @SUM(ciclofinal(i,c, j): ha (i, c, j));

END

Escenario 2.2

!Modelo para la construcción de horarios de servicios ferroviarios bajo estrategias de aceleración, short turning y deadheading;

MODEL:

DATA:

n= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','n');
m= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','m');
k= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','k');

ENDDATA

SETS:

Vehiculo/1..n/: hbi, tri, s;
Estacion/1..m/: tpmax, tpmin;
ciclo/1..k/;
VV (vehiculo, vehiculo): o;
EE (estacion, estacion): trmax, trmin;
VE (vehiculo, estacion): alfa;
VC(vehiculo, ciclo):w;
VEE (vehiculo, EE): gamma ;
VEEC (vehiculo, ciclo, EE): tr;
VEC (vehiculo, ciclo, estacion): ha, hb, tp;
VVECC (vehiculo, vehiculo, estacion, ciclo, ciclo): beta;
estacioncomienzo (vehiculo, estacion)/ 1 18, 2 13, 3 4, 4 4, 5 1/;
estacionfin(vehiculo,estacion)/1 35, 2 40, 3 49, 4 49, 5 52/;
ciclofinal(vehiculo, ciclo, estacion)/1 10 35, 2 5 40, 3 3 49, 4 3 49, 5 2 52 /;

ENDSETS

DATA:

!Datos importados desde un archivo Excel;

tpmax, tpmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tpmax','tpmin');
trmax, trmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','trmax','trmin');
tri= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tri');
v= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','v');
s= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','s');
ts= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','ts');
tsi= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tsi');
alfa= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','alfa');
gamma= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','gamma');

!Exportar la solución a un archivo Excel;

@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','ha_s')=ha;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hb_s')=hb;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hbi_s')=hbi;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','tp_s')=tp;

ENDDATA

! Restricciones;

! Hora de entrada a una estación

$$ha_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: ha>=0);

! Hora de salida de una estación

$$hb_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: hb>=0);

! Hora de salida del garaje

$$hb_{i,garaje} \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(vehiculo: hbi>=0);

! Tiempo de recorrido entre estaciones

$$tr_{ijj'}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall j' \forall c;$$

@FOR(VEEC: tr>=0);

! Tiempo de parada

$$tp_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall c;$$

@FOR(VEC: tp>=0);

! Variable binaria beta

$$\beta_{ii'}^{cc} \text{ es una variable binaria } \forall i \forall i' \forall j \forall c \forall c';$$

@FOR(VVECC:@BIN(beta));

! Hora de salida de los vehículos del garaje sin orden predeterminado

$$hb_{i,garaje} + tsi \leq hb_{i',garaje} + (1 - o_{ii'}) * V \quad \forall i \forall i'$$

$$hb_{i',garaje} + tsi \leq hb_{i,garaje} + o_{ii'} * V \quad \forall i \forall i';$$

@FOR(VV:@BIN(o));

@FOR(VV(i, i2) | i2#NE#i:

$$hbi(i) + tsi \leq hbi(i2) + (1 - o(i, i2)) * V;$$

$$hbi(i2) + tsi \leq hbi(i) + o(i, i2) * V;$$

! Hora de llegada de cada vehículo a su estación inicial del recorrido

$$ha_{ij_i}^c = hb_{i,garaje} + tr_{i,garaje} \quad \forall i \forall j_i^c \quad c=1;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR (ciclo (c) | c#EQ#1:

$$ha(i, c, j) = hbi(i) + tri(i);$$

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de un vehículo en prima estación de cada recorrido

$$hb_{ij_i}^c = ha_{ij_i}^c + tp_{ij_i}^c \quad \forall i \forall j_i^c \quad c=1;$$

$$hb(i, c, j) = ha(i, c, j) + tp(i, c, j));$$

!Enlace entre ciclos consecutivos de un mismo vehículo

$$ha_{ij_i^e}^c = hb_{ij_i^e}^{c-1} + tr_{ij_i^e}^{c-1} \quad \forall i \quad \forall j_i^e \quad \forall j_i^s \quad \forall c > 1$$

$$tr_{ij_i^e}^c = t_{j_i^e}^{min} \quad \forall i \quad \forall j_i^e \quad \forall j_i^s \quad \forall c > 1 ;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR(estacionfin(i,j2):

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) #AND# c #GT# 1:

@FOR(ciclo(c2) | c2#EQ#c-1:

ha (i, c, j) = hb (i, c2, j2) + tr(i, c2, j2, j);

tr(i, c2, j2, j)= trmin(j2,j))));

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de cada vehículo en cada estación

$$hb_{ij}^c = ha_{ij}^c + tp_{ij}^c * \alpha_{ij} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall c ;$$

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (estacion (j) | alfa(i,j)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

hb (i, c, j) =ha (i, c, j) + tp (i, c, j) * alfa (i, j))));

! Para reducir variables;

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

hb (i, c, j) =0 ;

ha (i, c, j) = 0))));

! Relación entre hora de entrada y salida entre estaciones consecutivas

$$\gamma_{ijj'} * ha_{ij'}^c = (hb_{ij}^c + tr_{ijj'}^c) * \gamma_{ijj'} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (EE (j, j2) | j2#GT#j #AND# gamma(i,j, j2)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

gamma (i, j, j2)* ha (i, c, j2) = (hb (i, c, j) + tr (i, c, j, j2))* gamma (i, j, j2);

! Límites del tiempo de recorrido

$$\gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{min} \leq tr_{ijj'}^c \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' > j \quad \forall c ;$$

Gamma (i, j, j2) * trmin (j, j2) <= tr (i, c, j, j2);

tr (i, c, j, j2) <= gamma (i, j, j2)*trmax (j, j2)+V*(1-gamma (i, j, j2))));

! Para reducir variables;

```
@FOR (vehiculo (i):
  @FOR (EE (j, j2):
    @FOR (ciclo(c) | c #GT# s(i):
      tr(i, c, j, j2) = 0));
```

! Límites del tiempo de parada

$$\alpha_{ij} * tp_j^{min} \leq tp_{ij}^c \leq \alpha_{ij} * tp_j^{max} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

```
@FOR(vehiculo(i):
  @FOR(estacion(j) | alfa(i,j)#EQ#1:
    @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
      alfa(i, j) * tpmin (j) <= tp(i, c, j);
      tp(i, c, j) <= alfa (i, j) * tpmax (j))));
```

! Tiempo de seguridad en las paradas

$$\begin{aligned} (1 - \beta_{ii'}^{cc'}) * V + ha_{ij}^c &\geq hb_{ij}^c + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' \\ \beta_{ii'}^{cc'} * V + ha_{ij}^c &\geq hb_{ij}^{c'} + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' ; \end{aligned}$$

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j):
    @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) :
      @FOR(ciclo(c2):
        (1-beta (i, i2, j, c, c2))*V + ha (i2, c2, j)>= hb (i, c, j) + ts;
        beta (i, i2, j, c, c2)*V + ha (i, c, j)>= hb (i2, c2, j) + ts)))));
```

! Para reducir variables;

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j):
    @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):
      @FOR(ciclo(c2):
        beta (i, i2, j, c, c2)=0))));
```

!Función objetivo 2: ;

! $w_i^c \geq 0 \quad \forall i \forall c ;$

@FOR(VC: w>=0);

$$! \quad \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\,garaje}) - w_i^c \leq ha_{ij_i^t}^c - ha_{ij_i^t}^{c-1} \leq w_i^c + \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\,garaje})$$

$$\forall i \quad \forall j_i^t \quad \forall c > 1 \quad \forall s_i ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(ciclo(c) | c#GT#1 #AND# c #LE# s(i):

@FOR(ciclo(c3) | c3#EQ#c-1:

@FOR(ciclofinal(i,c2,j2):

1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i))-w(i,c)<= ha(i,c,j2)-ha(i,c3,j2);

ha(i,c,j2)-ha(i,c3,j2)<= w(i,c)+1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i))));

$$! \quad \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\,garaje}) - w_i^c \leq ha_{ij_i^t}^c - ha_{ij_i^t}^{c-1} \leq w_i^c + \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\,garaje})$$

$$\forall i \quad \forall j_i^t \quad \forall j_i^e \quad \forall c = 1 \quad \forall s_i ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR(ciclo(c) | c#EQ#1:

@FOR(ciclofinal(i,c2,j2):

1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i))-w(i,c)<= ha(i,c,j2)-ha(i,c,j);

ha(i,c,j2)-ha(i,c,j)<= w(i,c)+1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i))));

$$! \quad \text{Min} \quad \sum_{c=1}^s \sum_{i=1}^n w_i^c ;$$

MIN = @SUM(VC(i, c): w (i, c));

END

Escenario 1.4

!Modelo para la construcción de horarios de servicios ferroviarios bajo estrategias de aceleración, short turning y deadheading;

MODEL:

DATA:

n= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','n');
m= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','m');
k= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','k');

ENDDATA

SETS:

Vehiculo/1..n/: hbi, tri, s;
Estacion/1..m/: tpmax, tpmin;
ciclo/1..k/;
EE (estacion, estacion): trmax, trmin;
VE (vehiculo, estacion): alfa;
VC(vehiculo, ciclo):w;
VEE (vehiculo, EE): gamma ;
VEEC (vehiculo, ciclo, EE): tr;
VEC (vehiculo, ciclo, estacion): ha, hb, tp;
VVECC (vehiculo, vehiculo, estacion, ciclo, ciclo): beta;
estacioncomienzo (vehiculo, estacion)/ 1 18, 2 13, 3 4, 4 4, 5 1/;
estacionfin(vehiculo,estacion)/1 35, 2 40, 3 49, 4 49, 5 52/;
ciclofinal(vehiculo, ciclo, estacion)/1 10 35, 2 5 40, 3 3 49, 4 3 49, 5 2 52 /;

ENDSETS

DATA:

!Datos importados desde un archivo Excel;

tpmax, tpmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tpmax','tpmin');
trmax, trmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','trmax','trmin');
tri= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tri');
v= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','v');
s= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','s');
ts= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','ts');
tsi= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tsi');
alfa= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','alfa');
gamma= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','gamma');

!Exportar la solución a un archivo Excel;

@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','ha_s')=ha;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hb_s')=hb;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hbi_s')=hbi;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','tp_s')=tp;
ENDDATA

! Restricciones;

! Hora de entrada a una estación

$$ha_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: ha>=0);

! Hora de salida de una estación

$$hb_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: hb>=0);

! Hora de salida del garaje

$$hb_{i,garaje} \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(vehiculo: hbi>=0);

! Tiempo de recorrido entre estaciones

$$tr_{ijj'}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall j' \forall c;$$

@FOR(VEEC: tr>=0);

! Tiempo de parada

$$tp_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall c;$$

@FOR(VEC: tp>=0);

! Variable binaria beta

$$\beta_{ii'}^{cc} \text{ es una variable binaria } \forall i \forall i' \forall j \forall c \forall c';$$

@FOR(VVECC:@BIN(beta));

! Hora de salida de los vehículos del garaje con orden predeterminado

$$hb_{i,garaje} + tsi \leq hb_{i',garaje} \quad \forall i \forall i' \geq i;$$

@FOR(vehiculo(i) | i#EQ#1:
hbi(i)=0);

@FOR(vehiculo (i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#GT#i:
hbi(i) + tsi <=hbi(i2)));

! Hora de llegada de cada vehículo a su estación inicial del recorrido

$$ha_{ij_i}^c = hb_{i,garaje} + tr_{i,garaje} \quad \forall i \forall j_i^c \quad c=1 ;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR (ciclo (c) | c#EQ#1:

ha (i, c, j) = hbi (i) + tri (i);

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de un vehículo en prima estación de cada recorrido

$$hb_{ij_i}^c = ha_{ij_i}^c + tp_{ij_i}^c \quad \forall i \forall j_i^c \quad c=1 ;$$

hb (i, c, j) =ha (i, c, j) + tp (i, c, j));

!Enlace entre ciclos consecutivos de un mismo vehículo

$$ha_{ij_i^e}^c = hb_{ij_i^e}^{c-1} + tr_{ij_i^e}^{c-1} \quad \forall i \quad \forall j_i^e \quad \forall j_i^s \quad \forall c > 1$$

$$tr_{ij_i^s j_i^e}^c = t_{j_i^s j_i^e}^{min} \quad \forall i \quad \forall j_i^e \quad \forall j_i^s \quad \forall c > 1 ;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR(estacionfin(i,j2):

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) #AND# c #GT# 1:

@FOR(ciclo(c2) | c2#EQ#c-1:

ha (i, c, j) = hb (i, c2, j2) + tr(i, c2, j2, j);

tr(i, c2, j2, j)= trmin(j2,j)))));

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de cada vehículo en cada estación

$$hb_{ij}^c = ha_{ij}^c + tp_{ij}^c * \alpha_{ij} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall c ;$$

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (estacion (j) | alfa(i,j)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

hb (i, c, j) =ha (i, c, j) + tp (i, c, j) * alfa (i, j))));

! Para reducir variables;

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

hb (i, c, j) =0 ;

ha (i, c, j) = 0))));

! Relación entre hora de entrada y salida entre estaciones consecutivas

$$\gamma_{ijj'} * ha_{ij'}^c = (hb_{ij}^c + tr_{ijj'}^c) * \gamma_{ijj'} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' \geq j \quad \forall c ;$$

@FOR (vehiculo (i):

@FOR (EE (j, j2) | j2#GT#j #AND# gamma(i,j, j2)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

gamma (i, j, j2)* ha (i, c, j2) = (hb (i, c, j) + tr (i, c, j, j2))* gamma (i, j, j2);

! Límites del tiempo de recorrido

$$\gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{min} \leq tr_{ijj'}^c \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall j' > j \quad \forall c ;$$

Gamma (i, j, j2) * trmin (j, j2) <= tr (i, c, j, j2);

tr (i, c, j, j2) <= gamma (i, j, j2)*trmax (j, j2)+V*(1-gamma (i, j, j2)))));

! Para reducir variables;

```
@FOR (vehiculo (i):
  @FOR (EE (j, j2):
    @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):
      tr(i, c, j, j2) = 0));
```

! Límites del tiempo de parada

$$\alpha_{ij} * tp_j^{\min} \leq tp_{ij}^c \leq \alpha_{ij} * tp_j^{\max} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

```
@FOR(vehiculo(i):
  @FOR(estacion(j) | alfa(i,j)#EQ#1:
    @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
      alfa(i, j) * tpmin (j) <= tp(i, c, j);
      tp(i, c, j) <= alfa (i, j) * tpmax (j))));
```

! Tiempo de seguridad en las paradas

$$\begin{aligned} (1 - \beta_{ii'j}^{cc'}) * V + ha_{ij}^c &\geq hb_{ij}^c + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' \\ \beta_{ii'j}^{cc'} * V + ha_{ij}^c &\geq hb_{ii'j}^{cc'} + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' ; \end{aligned}$$

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j):
    @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) :
      @FOR(ciclo(c2):
        (1-beta (i, i2, j, c, c2))*V + ha (i2, c2, j)>= hb (i, c, j) + ts;
        beta (i, i2, j, c, c2)*V + ha (i, c, j)>= hb (i2, c2, j) + ts)))));
```

! Prohibido el adelantamiento

$$\beta_{ii'j}^{cc'} = \beta_{ii'j'}^{cc'} \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall j' \geq j \text{ y } j \leq \text{estación final del corredor} \forall c \forall c' ;$$

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j) | j#LE#26:
    @FOR(estacion (j2) | j2#GT#j #AND# j2#LE#26 :
      @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
        @FOR(ciclo(c2):
          beta (i, i2, j, c, c2) = beta (i, i2, j2, c, c2))))));
```

! Prohibido el adelantamiento

$$\beta_{ii'j}^{cc'} = \beta_{ii'j'}^{cc'} \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall j' \geq j \text{ y } j > \text{estación final del corredor} \forall c \forall c' ;$$

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j) | j#GT#26:
    @FOR(estacion (j2) | j2#GT#j #AND# j2#GT#26 :
      @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
        @FOR(ciclo(c2):
          beta (i, i2, j, c, c2) = beta (i, i2, j2, c, c2))))));
```

! Prohibido el adelantamiento en el recorrido inicial

$$\begin{aligned} (1 - \beta_{ii'j}^{cc'}) * V + hb_{i',garaje} &\geq hb_{i,garaje} + tsi \quad \forall i \forall i' \neq i \quad j=común \quad c=1 \quad c'=1 \\ \beta_{ii'j}^{cc'} * V + hb_{i,garaje} &\geq hb_{i',garaje} + tsi \quad \forall i \forall i' \neq i \quad j=común \quad c=1 \quad c'=1 ; \end{aligned}$$

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2)| i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j) | j#EQ#18:
    @FOR(ciclo(c)| c #EQ# 1:
      @FOR(ciclo(c2)| c2 #EQ# 1 :
        (1-beta (i, i2, j, c, c2))*V+ hbi(i2) >=hbi(i)+tsi;
        beta (i, i2, j, c, c2)*V +hbi(i) >=hbi(i2)+tsi)))));
```

! Para reducir variables;

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2)| i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j):
    @FOR(ciclo(c)| c #GT# s(i):
      @FOR(ciclo(c2):
        beta (i, i2, j, c, c2)=0)))));
```

!Función objetivo 1:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n ha_{ij}^{c'j}$$

```
;
MIN = @SUM(ciclofinal(i,c, j): ha (i, c, j));
```

END

Escenario 1.8

!Modelo para la construcción de horarios de servicios ferroviarios bajo estrategias de aceleración, short turning y deadheading;

MODEL:

DATA:

```
n= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','n');
m= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','m');
k= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','k');
```

ENDDATA

SETS:

```
Vehiculo/1..n/: hbi, tri, s;
Estacion/1..m/: tpmax, tpmin;
ciclo/1..k/;
EE (estacion, estacion): trmax, trmin;
VE (vehiculo, estacion): alfa;
VC(vehiculo, ciclo):w;
VEE (vehiculo, EE): gamma ;
VEEC (vehiculo, ciclo, EE): tr;
VEC (vehiculo, ciclo, estacion): ha, hb, tp;
VVECC (vehiculo, vehiculo, estacion, ciclo, ciclo): beta;
estacioncomienzo (vehiculo, estacion)/ 1 18, 2 13, 3 4, 4 4, 5 1/;
estacionfin(vehiculo,estacion)/1 35, 2 40, 3 49, 4 49, 5 52/;
ciclofinal(vehiculo, ciclo, estacion)/1 10 35, 2 5 40, 3 3 49, 4 3 49, 5 2 52 /;
```

ENDSETS

DATA:

!Datos importados desde un archivo Excel;

```
tpmax, tpmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tpmax','tpmin');
trmax, trmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','trmax','trmin');
tri= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tri');
v= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','v');
s= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','s');
ts= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','ts');
tsi= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tsi');
alfa= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','alfa');
gamma= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','gamma');
```

!Exportar la solución a un archivo Excel;

```
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','ha_s')=ha;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hb_s')=hb;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hbi_s')=hbi;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','tp_s')=tp;
```

ENDDATA

! Restricciones;

! Hora de entrada a una estación

$$ha_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: ha>=0);

! Hora de salida de una estación

$$hb_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: hb>=0);

! Hora de salida del garaje

$$hb_{i,garaje} \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(vehiculo: hbi>=0);

! Tiempo de recorrido entre estaciones

$$tr_{ijj'}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall j' \forall c;$$

@FOR(VEEC: tr>=0);

! Tiempo de parada

$$tp_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall c;$$

@FOR(VEC: tp>=0);

! Variable binaria beta

$$\beta_{ii'}^{cc} \text{ es una variable binaria } \forall i \forall i' \forall j \forall c \forall c';$$

@FOR(VVECC:@BIN(beta));

! Hora de llegada de cada vehículo a su estación inicial del recorrido

$$ha_{ij_i}^c = hb_{i,garaje} + tr_{i,garaje} \quad \forall i \forall j_i^c \quad c=1;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR (ciclo (c) | c#EQ#1:

$$ha(i, c, j) = hbi(i) + tri(i);$$

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de un vehículo en prima estación de cada recorrido

$$hb_{ij_i}^c = ha_{ij_i}^c + tp_{ij_i}^c \quad \forall i \forall j_i^c \quad c=1;$$

$$hb(i, c, j) = ha(i, c, j) + tp(i, c, j));$$

!Enlace entre ciclos consecutivos de un mismo vehículo

$$ha_{ij_i}^c = hb_{ij_i}^{c-1} + tr_{ij_i}^{c-1} \quad \forall i \forall j_i^c \forall j_i^t \forall c > 1$$

$$tr_{ij_i}^c = t_{j_i^t j_i^c}^{min} \quad \forall i \forall j_i^c \forall j_i^t \forall c > 1;$$

```

@FOR(estacioncomienzo (i, j):
@FOR(estacionfin(i,j2):
@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) #AND# c #GT# 1:
@FOR(ciclo(c2) | c2#EQ#c-1:
    ha (i, c, j) = hb (i, c2, j2) + tr(i, c2, j2, j);
    tr(i, c2, j2, j)= trmin(j2,j)))));

```

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de cada vehículo en cada estación

$$hb_{ij}^c = ha_{ij}^c + tp_{ij}^c * \alpha_{ij} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (estacion (j) | alfa(i,j)#EQ#1:
        @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
            hb (i, c, j) =ha (i, c, j) + tp (i, c, j) * alfa (i, j))));

```

! Para reducir variables;

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (estacion (j):
        @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

            hb (i, c, j) =0 ;
            ha (i, c, j) = 0)))));

```

! Relación entre hora de entrada y salida entre estaciones consecutivas

$$\gamma_{ijj'} * ha_{ij'}^c = (hb_{ij}^c + tr_{ijj'}^c) * \gamma_{ijj'} \quad \forall i \forall j \forall j' \geq j \forall c ;$$

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (EE (j, j2) | j2#GT#j #AND# gamma(i,j, j2)#EQ#1:
        @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
            gamma (i, j, j2)* ha (i, c, j2) = (hb (i, c, j) + tr (i, c, j, j2))* gamma (i, j, j2);

```

! Límites del tiempo de recorrido

$$\gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\min} \leq tr_{ijj'}^c \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \forall j \forall j' > j \forall c ;$$

```

Gamma (i, j, j2) * trmin (j, j2) <= tr (i, c, j, j2);
tr (i, c, j, j2) <= gamma (i, j, j2)*trmax (j, j2)+V*(1-gamma (i, j, j2))));

```

! Para reducir variables;

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (EE (j, j2):
        @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):
            tr(i, c, j, j2) = 0)))));

```

! Límites del tiempo de parada

$$\alpha_{ij} * tp_j^{\min} \leq tp_{ij}^c \leq \alpha_{ij} * tp_j^{\max} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(estacion(j) | alfa(i,j)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

alfa(i, j) * tpmin (j) <= tp(i, c, j);

tp(i, c, j) <= alfa (i, j) * tpmax (j))));

! Tiempo de seguridad en las paradas

$$(1 - \beta_{ii'}^{cc'}) * V + ha_{ij}^{cc'} \geq hb_{ij}^c + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' ;$$

$$\beta_{ii'}^{cc'} * V + ha_{ij}^c \geq hb_{ij}^{c'} + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) :

@FOR(ciclo(c2):

(1-beta (i, i2, j, c, c2))*V + ha (i2, c2, j)>= hb (i, c, j) + ts;

beta (i, i2, j, c, c2)*V + ha (i, c, j)>= hb (i2, c2, j) + ts))));

! Prohibido el adelantamiento

$$\beta_{ii'}^{cc'} = \beta_{ii'}^{cc'} \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall j' \geq j \text{ y } j \leq \text{estación final del corredor} \forall c \forall c' ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j) | j#LE#26:

@FOR(estacion (j2) | j2#GT#j #AND# j2#LE#26 :

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

@FOR(ciclo(c2):

beta (i, i2, j, c, c2) = beta (i, i2, j2, c, c2))));

! Prohibido el adelantamiento

$$\beta_{ii'}^{cc'} = \beta_{ii'}^{cc'} \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall j' \geq j \text{ y } j > \text{estación final del corredor} \forall c \forall c' ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j) | j#GT#26:

@FOR(estacion (j2) | j2#GT#j #AND# j2#GT#26 :

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

@FOR(ciclo(c2):

beta (i, i2, j, c, c2) = beta (i, i2, j2, c, c2))));

! Prohibido el adelantamiento en el recorrido inicial

$$\begin{aligned} (1 - \beta_{ii'j}^{cc'}) * V + hb_{i',garaje} &\geq hb_{i,garaje} + tsi \quad \forall i \forall i' \neq i \quad j=común \quad c=1 \quad c'=1 \\ \beta_{ii'j}^{cc'} * V + hb_{i,garaje} &\geq hb_{i',garaje} + tsi \quad \forall i \forall i' \neq i \quad j=común \quad c=1 \quad c'=1 ; \end{aligned}$$

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2)| i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j) | j#EQ#18:
    @FOR(ciclo(c) | c #EQ# 1:
      @FOR(ciclo(c2)| c2 #EQ# 1 :
        (1-beta (i, i2, j, c, c2))*V+ hbi(i2) >=hbi(i)+tsi;
        beta (i, i2, j, c, c2)*V +hbi(i) >=hbi(i2)+tsi)))));
```

! Para reducir variables;

```
@FOR(vehiculo(i):
@FOR(vehiculo (i2)| i2#NE#i:
  @FOR(estacion (j):
    @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):
      @FOR(ciclo(c2):
        beta (i, i2, j, c, c2)=0)))));
```

!Función objetivo 1:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n ha_{ij}^{c'j}$$

;

```
MIN = @SUM(ciclofinal(i,c, j): ha (i, c, j));
```

END

Escenario 2.8

!Modelo para la construcción de horarios de servicios ferroviarios bajo estrategias de aceleración, short turning y deadheading;

MODEL:

DATA:

```
n= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','n');
m= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','m');
k= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','k');
ENDDATA
```

SETS:

```
Vehiculo/1..n/: hbi, tri, s;
Estacion/1..m/: tpmax, tpmin;
ciclo/1..k/;
EE (estacion, estacion): trmax, trmin;
VE (vehiculo, estacion): alfa;
VC(vehiculo, ciclo):w;
VEE (vehiculo, EE): gamma ;
VEEC (vehiculo, ciclo, EE): tr;
VEC (vehiculo, ciclo, estacion): ha, hb, tp;
VVECC (vehiculo, vehiculo, estacion, ciclo, ciclo): beta;
estacioncomienzo (vehiculo, estacion)/ 1 18, 2 13, 3 4, 4 4, 5 1/;
estacionfin(vehiculo,estacion)/1 35, 2 40, 3 49, 4 49, 5 52/;
ciclofinal(vehiculo, ciclo, estacion)/1 10 35, 2 5 40, 3 3 49, 4 3 49, 5 2 52 /;
ENDSETS
```

DATA:

!Datos importados desde un archivo Excel;

```
tpmax, tpmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tpmax','tpmin');
trmax, trmin= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','trmax','trmin');
tri= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tri');
v= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','v');
s= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','s');
ts= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','ts');
tsi= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','tsi');
alfa= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','alfa');
gamma= @OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Datospfc.xlsx','gamma');
```

!Exportar la solución a un archivo Excel;

```
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','ha_s')=ha;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hb_s')=hb;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','hbi_s')=hbi;
@OLE('C:\Users\Juan\Documents\PFC\Solucion.xlsx','tp_s')=tp;
ENDDATA
```

! Restricciones;

! Hora de entrada a una estación

$$ha_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: ha>=0);

! Hora de salida de una estación

$$hb_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(VEC: hb>=0);

! Hora de salida del garaje

$$hb_{i,garaje} \geq 0 \quad \forall i;$$

@FOR(vehiculo: hbi>=0);

! Tiempo de recorrido entre estaciones

$$tr_{ijj'}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall j' \forall c;$$

@FOR(VEEC: tr>=0);

! Tiempo de parada

$$tp_{ij}^c \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall c;$$

@FOR(VEC: tp>=0);

! Variable binaria beta

$$\beta_{ii'}^{cc} \text{ es una variable binaria } \forall i \forall i' \forall j \forall c \forall c';$$

@FOR(VVECC:@BIN(beta));

! Hora de llegada de cada vehículo a su estación inicial del recorrido

$$ha_{ijl}^c = hb_{i,garaje} + tr_{i,garaje} \quad \forall i \forall j_l^c \quad c=1;$$

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR (ciclo (c) | c#EQ#1:

$$ha(i, c, j) = hbi(i) + tri(i);$$

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de un vehículo en prima estación de cada recorrido

$$hb_{ijl}^c = ha_{ijl}^c + tp_{ijl}^c \quad \forall i \forall j_l^c \quad c=1 \quad ;$$

$$hb(i, c, j) = ha(i, c, j) + tp(i, c, j));$$

!Enlace entre ciclos consecutivos de un mismo vehículo

$$ha_{ijl}^c = hb_{ijl}^{c-1} + tr_{ijl}^{c-1} \quad \forall i \forall j_l^c \forall j_l^{c-1} \forall c > 1$$

$$tr_{ijl}^c = t_{j_l^c j_l^{c-1}}^{min} \quad \forall i \forall j_l^c \forall j_l^{c-1} \forall c > 1;$$

```

@FOR(estacioncomienzo (i, j):
@FOR(estacionfin(i,j2):
@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) #AND# c #GT# 1:
@FOR(ciclo(c2) | c2#EQ#c-1:
    ha (i, c, j) = hb (i, c2, j2) + tr(i, c2, j2, j);
    tr(i, c2, j2, j) = trmin(j2,j)))));

```

! Relación entre la hora de llegada y la de salida de cada vehículo en cada estación

$$hb_{ij}^c = ha_{ij}^c + tp_{ij}^c * \alpha_{ij} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (estacion (j) | alfa(i,j)#EQ#1:
        @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
            hb (i, c, j) = ha (i, c, j) + tp (i, c, j) * alfa (i, j))));

```

! Para reducir variables;

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (estacion (j):
        @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):
            hb (i, c, j) = 0 ;
            ha (i, c, j) = 0));

```

! Relación entre hora de entrada y salida entre estaciones consecutivas

$$\gamma_{ijj'} * ha_{ij'}^c = (hb_{ij}^c + tr_{ijj'}^c) * \gamma_{ijj'} \quad \forall i \forall j \forall j' \geq j \forall c ;$$

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (EE (j, j2) | j2#GT#j #AND# gamma(i,j, j2)#EQ#1:
        @FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):
            gamma (i, j, j2) * ha (i, c, j2) = (hb (i, c, j) + tr (i, c, j, j2)) * gamma (i, j, j2);

```

! Límites del tiempo de recorrido

$$\gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\min} \leq tr_{ijj'}^c \leq \gamma_{ijj'} * t_{jj'}^{\max} + V(1 - \gamma_{ijj'}) \quad \forall i \forall j \forall j' > j \forall c ;$$

```

Gamma (i, j, j2) * trmin (j, j2) <= tr (i, c, j, j2);
tr (i, c, j, j2) <= gamma (i, j, j2) * trmax (j, j2) + V * (1 - gamma (i, j, j2))));

```

! Para reducir variables;

```

@FOR (vehiculo (i):
    @FOR (EE (j, j2):
        @FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):
            tr(i, c, j, j2) = 0));

```

! Límites del tiempo de parada

$$\alpha_{ij} * tp_j^{\min} \leq tp_{ij}^c \leq \alpha_{ij} * tp_j^{\max} \quad \forall i \forall j \forall c ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(estacion(j) | alfa(i,j)#EQ#1:

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

alfa(i, j) * tpmin (j) <= tp(i, c, j);

tp(i, c, j) <= alfa (i, j) * tpmax (j))));

! Tiempo de seguridad en las paradas

$$(1 - \beta_{ii'}^{cc'}) * V + ha_{ij}^c \geq hb_{ij}^c + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' ;$$

$$\beta_{ii'}^{cc'} * V + ha_{ij}^c \geq hb_{ij}^{c'} + ts \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall c \forall c' ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i) :

@FOR(ciclo(c2):

(1-beta (i, i2, j, c, c2))*V + ha (i2, c2, j)>= hb (i, c, j) + ts;

beta (i, i2, j, c, c2)*V + ha (i, c, j)>= hb (i2, c2, j) + ts))));

! Prohibido el adelantamiento

$$\beta_{ii'}^{cc'} = \beta_{ii'}^{cc'} \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall j' \geq j \text{ y } j \leq \text{estación final del corredor} \forall c \forall c' ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j) | j#LE#26:

@FOR(estacion (j2) | j2#GT#j #AND# j2#LE#26 :

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

@FOR(ciclo(c2):

beta (i, i2, j, c, c2) = beta (i, i2, j2, c, c2))));

! Prohibido el adelantamiento

$$\beta_{ii'}^{cc'} = \beta_{ii'}^{cc'} \quad \forall i \forall i' \neq i \forall j \forall j' \geq j \text{ y } j > \text{estación final del corredor} \forall c \forall c' ;$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j) | j#GT#26:

@FOR(estacion (j2) | j2#GT#j #AND# j2#GT#26 :

@FOR(ciclo(c) | c #LE# s(i):

@FOR(ciclo(c2):

beta (i, i2, j, c, c2) = beta (i, i2, j2, c, c2))));

! Prohibido el adelantamiento en el recorrido inicial

$$\begin{aligned} (1 - \beta_{ii'j}^{cc'}) * V + hb_{i'garaje} &\geq hb_{i'garaje} + tsi \quad \forall i \forall i' \neq i \quad j=\text{común} \quad c=1 \quad c'=1 \\ \beta_{ii'j}^{cc'} * V + hb_{i'garaje} &\geq hb_{i'garaje} + tsi \quad \forall i \forall i' \neq i \quad j=\text{común} \quad c=1 \quad c'=1 ; \end{aligned}$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j) | j#EQ#18:

@FOR(ciclo(c) | c #EQ# 1:

@FOR(ciclo(c2) | c2 #EQ# 1 :

(1-beta (i, i2, j, c, c2))*V+ hbi(i2) >=hbi(i)+tsi;

beta (i, i2, j, c, c2)*V +hbi(i) >=hbi(i2)+tsi)))));

! Para reducir variables;

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(vehiculo (i2) | i2#NE#i:

@FOR(estacion (j):

@FOR(ciclo(c) | c #GT# s(i):

@FOR(ciclo(c2):

beta (i, i2, j, c, c2)=0)))));

!Función objetivo 2: ;

$$! \quad w_i^c \geq 0 \quad \forall i \quad \forall c ;$$

@FOR(VC: w>=0);

$$\begin{aligned} ! \quad \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\text{garaje}}) - w_i^c &\leq ha_{ij_i^t}^c - ha_{ij_i^t}^{c-1} \leq w_i^c + \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\text{garaje}}) \\ &\forall i \quad \forall j_i^t \quad \forall c > 1 \quad \forall s_i ; \end{aligned}$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(ciclo(c) | c#GT#1 #AND# c #LE# s(i):

@FOR(ciclo(c3) | c3#EQ#c-1:

@FOR(ciclofinal(i,c2,j2):

1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i))-w(i,c)<= ha(i,c,j2)-ha(i,c3,j2);

ha(i,c,j2)-ha(i,c3,j2)<= w(i,c)+1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i)))));

$$\begin{aligned} ! \quad \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\text{garaje}}) - w_i^c &\leq ha_{ij_i^t}^c - ha_{ij_i^t}^{c-1} \leq w_i^c + \frac{1}{s_i} * (ha_{ij_i^t}^{s_i} - tr_{i\text{garaje}}) \\ &\forall i \quad \forall j_i^t \quad \forall j_i^s \quad \forall c = 1 \quad \forall s_i ; \end{aligned}$$

@FOR(vehiculo(i):

@FOR(estacioncomienzo (i, j):

@FOR(ciclo(c) | c#EQ#1:

@FOR(ciclofinal(i,c2,j2):

1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i))-w(i,c)<= ha(i,c,j2)-ha(i,c,j);

ha(i,c,j2)-ha(i,c,j)<= w(i,c)+1/s(i)*(ha(i,c2,j2)-tri(i)))));

$$! \quad \text{Min} \sum_{c=1}^s \sum_{i=1}^n w_i^c ;$$

MIN = @SUM(VC(i, c): w (i, c));

END