

Modelo de Optimización

Conjuntos e Índices

- $i \in I_{\text{WB}}$: Conjunto de motores disponibles para aviones wide-body.
- $p \in P_{\text{WB}}$: Conjunto de aeronaves wide-body (colas).
- $t \in T$: Conjunto de semanas del horizonte de planificación (5 años), $T = \{1, \dots, 260\}$.
- $f \in F_{\text{WB}}$: Conjunto de familias de motor aplicables a wide-body (p. ej. $\{\text{B767J}, \text{B767F}\}$).

Parámetros

- $c_p, p \in P_{\text{WB}}$: ciclos por semana que acumula el avión p .
- $y_{i,0}, i \in I_{\text{WB}}$: ciclos ya acumulados al inicio para el motor i .
- $\delta_{p,f}, p \in P_{\text{WB}}, f \in F_{\text{WB}}$: $= 1$ si el avión p pertenece a la familia f , 0 en otro caso.
- $C_f^{\max}, f \in F_{\text{WB}}$: umbral de ciclos para la familia de avión f (de `Max_cycles_WB.csv`).
- $C_p^{\max}, p \in P_{\text{WB}}$: umbral de ciclos para los motores instalados en el avión p , definido como

$$C_p^{\max} = \sum_{f \in F_{\text{WB}}} \delta_{p,f} C_f^{\max}.$$

- d : duración del mantenimiento en semanas (constante, $d = 18$).
- `LeaseCost`: costo de arrendar un motor por semana.
- `BuyCost`: costo de comprar un motor nuevo.
- S_0 : inventario inicial de motores de repuesto al comienzo del horizonte.
- M_{\max} : capacidad máxima de inicios de mantenimiento permitidos por semana.
- M : constante “big-M” suficientemente grande (por ejemplo, $\max_f C_f^{\max}$).
- H : número total de semanas del horizonte (por ejemplo, $H = 100$).
- W_{buy} : número mínimo de semanas que deben quedar para que convenga comprar en lugar de arrendar, definido como

$$W_{\text{buy}} = \left\lfloor \frac{\text{BuyCost}}{\text{LeaseCost}} \right\rfloor + 1.$$

Variables de Decisión

- $a_{i,p,t} \in \{0, 1\}$, $i \in I_{WB}$, $p \in P_{WB}$, $t \in T$: indica si el motor i está instalado en el avión p durante la semana t .
- $s_{i,t} \in \{0, 1\}$, $i \in I_{WB}$, $t \in T$: indica si el motor i está en stock (ni instalado ni en mantenimiento) al inicio de la semana t .
- $m_{i,t} \in \{0, 1\}$, $i \in I_{WB}$, $t \in T$: indica si el motor i inicia su mantenimiento en la semana t .
- $r_{i,t} \in \{0, 1\}$, $i \in I_{WB}$, $t \in T$: indica si el motor i está en mantenimiento (fuera de servicio) durante la semana t .
- $y_{i,t} \geq 0$, $i \in I_{WB}$, $t \in T$: número de ciclos acumulados por el motor i al cierre de la semana t .
- $\ell_{p,t} \in \{0, 1\}$, $p \in P_{WB}$, $t \in T$: indica si el avión p opera con un motor arrendado externo en la semana t .
- $b_{p,t} \in \{0, 1\}$, $p \in P_{WB}$, $t \in T$: indica si en la semana t compramos un motor nuevo para el avión p .
- $S_t \geq 0$, $t \in T$: inventario agregado de motores de repuesto al inicio de la semana t .
- $z_{i,t} \in \{0, 1\}$, $i \in I_{WB}$, $t = 2, \dots, H$: indica si el motor i cambia de avión entre la semana $t - 1$ y la t (swap).

Función objetivo

$$\min Z = \sum_{t \in T} \sum_{p \in P_{WB}} (\text{LeaseCost } \ell_{p,t} + \text{BuyCost } b_{p,t}).$$

Restricciones

- **Estado exclusivo de cada motor.** Para todo $i \in I_{WB}$, $t \in T$:

$$\sum_{p \in P_{WB}} a_{i,p,t} + r_{i,t} + s_{i,t} = 1.$$

- **Cobertura de cada avión.** Para todo $p \in P_{WB}$, $t \in T$:

$$\sum_{i \in I_{WB}} a_{i,p,t} + \ell_{p,t} + b_{p,t} = 1.$$

- **Duración del mantenimiento.** Durante las d semanas siguientes a un inicio:

$$r_{i,t} = \sum_{\tau=t-d+1}^t m_{i,\tau} \quad \forall i \in I_{WB}, t \in T,$$

con $m_{i,\tau} = 0$ si $\tau \leq 0$.

- **Acumulación de ciclos según asignación.** Para todo $i \in I_{WB}$, $t = 1, \dots, |T|$:

$$y_{i,t} = y_{i,t-1} + \sum_{p \in P_{WB}} c_p a_{i,p,t}.$$

- **Límite dinámico de ciclos.** Un motor no puede exceder el umbral del avión en que esté montado:

$$y_{i,t-1} \leq \sum_{p \in P_{WB}} C_p^{\max} a_{i,p,t} + M \sum_{\tau=1}^t m_{i,\tau} \quad \forall i \in I_{WB}, t \in T.$$

- **Capacidad de inicios de mantenimiento.** Para todo $t \in T$:

$$\sum_{i \in I_{WB}} m_{i,t} \leq M_{\max}.$$

- **Flujo de inventario de repuestos.** Para todo $t \in T$:

$$S_t = S_{t-1} + \sum_{p \in P_{WB}} b_{p,t} + \sum_{i \in I_{WB}} m_{i,t-d} - \sum_{p \in P_{WB}} \ell_{p,t}.$$

- **Definición de swap.** Para todo $i \in I_{WB}$, $t = 2, \dots, H$:

$$z_{i,t} \geq \sum_{p \in P_{WB}} (a_{i,p,t} - a_{i,p,t-1}), \quad z_{i,t} \geq \sum_{p \in P_{WB}} (a_{i,p,t-1} - a_{i,p,t}).$$

- **Límite de swaps en ventana de 2 semanas.** A lo sumo 1 swap en cada par de semanas consecutivas:

$$\sum_{i \in I_{WB}} \sum_{\tau=t-1}^t z_{i,\tau} \leq 1 \quad \forall t = 2, \dots, H.$$

- **Prohibición de compras al final.** Si quedan menos de W_{buy} semanas para el fin, no se permite comprar:

$$b_{p,t} = 0 \quad \forall p \in P_{WB}, t > H - W_{\text{buy}}.$$

- **Dominio de las variables.**

$$a_{i,p,t}, s_{i,t}, m_{i,t}, r_{i,t}, \ell_{p,t}, b_{p,t}, z_{i,t} \in \{0, 1\}, \quad y_{i,t}, S_t \geq 0.$$