



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
SISTEMAS INFORMÁTICOS

Máster en Software de Sistemas Distribuidos y
Empotrados

Sistemas de Tiempo Real Distribuidos

Planificación – Ejercicio 2:
Cálculo de tiempos de respuesta en
un STR con tarea esporádica y jitter

Alejandro Casanova Martín

N.º de matrícula: bu0383

Madrid, 19 de marzo 2024

Índice

1.	Asignación de tiempos de cómputo	3
2.	Cálculo de la ocupación de CPU	3
3.	Cálculo de los tiempos de bloqueo	3
4.	Análisis del tiempo de respuesta (sin jitter)	4
5.	Cálculo del jitter.....	5
6.	Análisis del tiempo de respuesta (con jitter)	5
7.	Verificación mediante el software RTA	8
	Primera simulación (sin jitter)	8
	Segunda simulación (con jitter).....	9
8.	Interpretación de los resultados	10

1. Asignación de tiempos de cómputo

Para cada tarea, se asignaron los tiempos de cómputo (C_i) y de acceso a recursos compartidos (*Órdenes*, *Altitud*, y *Emergencia Vibraciones*). A continuación se muestra la tabla completa con los datos del ejercicio.

Tareas	P_i	T_i	D_i	C_i	Órdenes	Altitud	Emer. Vibr.	B_i	U_i	J_i
Tarea i (Interrupción)	HW	600	100	2	-	-	-	-	0.0033	-
Tarea 1 (Detectar Vibr.)	6	350	100	35	-	-	6	6	0.1	-
Tarea 2 (Ctrl. Motores)	5	150	150	45	10	-	6	8	0.3	-
Tarea 3 (Horizontalidad)	4	200	200	40	8	-	-	5	0.2	-
Tarea 4 (Prot. Cámara)	3	350	250	50	-	-	-	5	0.1429	8
Tarea 5 (Check Altitud)	2	300	300	20	5	6	-	6	0.0667	-
Tarea 6 (Capt. Altitud)	1	600	600	30	5	6	-	-	0.05	-

Tabla 1. Datos del ejercicio y resultados del cálculo de los tiempos de bloqueo, ocupación de la CPU y jitter.

2. Cálculo de la ocupación de CPU

Se calcula el uso que hace cada proceso de la CPU mediante la fórmula:

$$U_i = C_i / T_i$$

Los resultados de este cálculo se muestran en la columna U_i de la Tabla 1. Para calcular la ocupación total, se deberán sumar los valores de ocupación de cada tarea. Adicionalmente, se podrá verificar que el sistema es planificable si se cumple la siguiente ecuación (condición suficiente, aunque no necesaria):

$$U \equiv \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{T_i} \leq N(2^{1/N} - 1)$$

Realizando el sumatorio, y sustituyendo por $N = 7$, obtenemos:

$$U = 0,8629 > 0,7286$$

Por lo tanto, no se cumple la condición suficiente de planificabilidad, teniendo un porcentaje de utilización de la CPU del 86,29%. De todas formas, el sistema podría ser planificable si se cumplen todos los plazos al realizar el análisis de tiempos de respuesta.

3. Cálculo de los tiempos de bloqueo

Suponiendo que se sigue el protocolo ICPP (*Immediate Ceiling Priority Protocol*), se calcularon los tiempos de bloqueo de cada tarea. Este cálculo se realizó aplicando la fórmula siguiente:

$$B_i = \max_{1 \leq k \leq N} usage(k, i) \cdot C_k$$

Donde $usage(k, i) = 1$ cuando el recurso k es usado por, al menos, una tarea de prioridad menor que P_i y, al menos, otra tarea con prioridad mayor o igual a P_i . En caso contrario, $usage(k, i) = 0$.

Se muestran los resultados del cálculo en la columna B_i de la Tabla 1.

4. Análisis del tiempo de respuesta (sin jitter)

Dado que no tenemos en cuenta interrupciones ni *jitter*, el peor tiempo de respuesta de cada tarea se calculará aplicando iterativamente la siguiente fórmula:

$$R_i = C_i + B_i + \sum_{j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil \cdot C_j + \left\lceil \frac{R_i}{T_{int}} \right\rceil \cdot C_{int}$$

A continuación, se procede con la resolución:

$$R_1^0 = C_1 + B_1 + C_{int} = 35 + 6 + 2 = 43$$

$$R_1^1 = C_1 + B_1 + \left\lceil \frac{43}{T_{int}} \right\rceil C_{int} = 35 + 6 + 1 \cdot 2 = \mathbf{43} < 100 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_2^0 = C_2 + B_2 + C_1 + C_{int} = 45 + 8 + 35 + 2 = 90$$

$$R_2^1 = C_2 + B_2 + \left\lceil \frac{90}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{90}{T_{int}} \right\rceil C_{int} = 45 + 8 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{90} < 150 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_3^0 = C_3 + B_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 40 + 5 + 45 + 35 + 2 = 127$$

$$R_3^1 = C_3 + B_3 + \left\lceil \frac{127}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{127}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{127}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 40 + 5 + 1 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{127} < 200 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_4^0 = C_4 + B_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 50 + 5 + 40 + 45 + 35 + 2 = 177$$

$$R_4^1 = C_4 + B_4 + \left\lceil \frac{177}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{177}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{177}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{177}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 55 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 222$$

$$R_4^2 = C_4 + B_4 + \left\lceil \frac{222}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{222}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{222}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{222}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 55 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 262$$

$$R_4^3 = C_4 + B_4 + \left\lceil \frac{262}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{262}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{262}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{262}{T_{int}} \right\rceil C_{int} = \mathbf{262} > 250 \text{ ✗ Plazo NO Cumplido}$$

$$R_5^0 = C_5 + B_5 + C_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 20 + 6 + 50 + 40 + 45 + 35 + 2 = 198$$

$$R_5^1 = C_5 + B_5 + \left\lceil \frac{198}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{198}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{198}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{198}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{198}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 26 + 1 \cdot 50 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 243$$

$$R_5^2 = C_5 + B_5 + \left\lceil \frac{243}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{243}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{243}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{243}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{243}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 26 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 283$$

$$R_6^3 = C_5 + B_5 + \left\lceil \frac{283}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{283}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{283}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{283}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{283}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 283 < 300 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido}$$

$$R_6^0 = C_6 + C_5 + B_5 + C_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 30 + 20 + 50 + 40 + 45 + 35 + 2 = 222$$

$$R_6^1 = C_6 + \left\lceil \frac{222}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{222}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{222}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{222}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{222}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{222}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 30 + 1 \cdot 20 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 307$$

$$R_6^2 = C_6 + \left\lceil \frac{307}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{307}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{307}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{307}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{307}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{307}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 3 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 372$$

$$R_6^3 = C_6 + \left\lceil \frac{372}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{372}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{372}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{372}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{372}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{372}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 3 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 457$$

$$R_6^4 = C_6 + \left\lceil \frac{457}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{457}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{457}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{457}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{457}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{457}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 + 3 \cdot 40 + 4 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 542$$

$$R_6^5 = C_6 + \left\lceil \frac{542}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{542}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{542}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{542}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{542}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{542}{T_{int}} \right\rceil C_{int}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 + 3 \cdot 40 + 4 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 542 < 600 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido}$$

El plazo de la tarea 4 no se cumple, por lo que el sistema NO es planificable.

5. Cálculo del jitter

Dado que es la tarea 1 la encargada de disparar la tarea esporádica número 4, el *jitter* de esta última podrá calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$J_4 = R_1 - C_1 = 43 - 35 = 8$$

El *jitter* de la tarea 4 afectará a las tareas de menor prioridad, es decir, a las tareas 5 y 6 (ver Tabla 1).

6. Análisis del tiempo de respuesta (con jitter)

El peor tiempo de respuesta de cada tarea, teniendo en cuenta el *jitter*, se calculará aplicando iterativamente la siguiente fórmula:

$$R_i = C_i + B_i + J_i + \sum_{j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i + J_j}{T_j} \right\rceil \cdot C_j + \left\lceil \frac{R_i}{T_{int}} \right\rceil \cdot C_{int}$$

Donde J_i será el *jitter* de la tarea actual, y J_j el de la tarea de mayor prioridad.

A continuación, se procede con la resolución:

$$R_1^0 = C_1 + B_1 + C_{\text{int}} = 35 + 6 + 2 = 43$$

$$R_1^1 = C_1 + B_1 + \left\lceil \frac{43}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}} = 35 + 6 + 1 \cdot 2 = \mathbf{43} < 100 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_2^0 = C_2 + B_2 + C_1 + C_{\text{int}} = 45 + 8 + 35 + 2 = 90$$

$$R_2^1 = C_2 + B_2 + \left\lceil \frac{90}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{90}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}} = 45 + 8 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{90} < 150 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_3^0 = C_3 + B_3 + C_2 + C_1 + C_{\text{int}} = 40 + 5 + 45 + 35 + 2 = 127$$

$$R_3^1 = C_3 + B_3 + \left\lceil \frac{127}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{127}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{127}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 40 + 5 + 1 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{127} < 200 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_4^0 = C_4 + B_4 + J_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{\text{int}} = 50 + 5 + 8 + 40 + 45 + 35 + 2 = 185$$

$$R_4^1 = C_4 + B_4 + J_4 + \left\lceil \frac{185}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{185}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{185}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{185}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 63 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 234$$

$$R_4^2 = C_4 + B_4 + J_4 + \left\lceil \frac{234}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{234}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{234}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{234}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 63 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 270$$

$$R_4^3 = C_4 + B_4 + J_4 + \left\lceil \frac{270}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{270}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{270}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{270}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= \mathbf{270} > 250 \text{ ✗ Plazo NO Cumplido}$$

$$R_5^0 = C_5 + B_5 + C_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{\text{int}} = 20 + 6 + 50 + 40 + 45 + 35 + 2 = 198$$

$$R_5^1 = C_5 + B_5 + \left\lceil \frac{198+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{198}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{198}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{198}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{198}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 26 + 1 \cdot 50 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 243$$

$$R_5^2 = C_5 + B_5 + \left\lceil \frac{243+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{243}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{243}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{243}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{243}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 26 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 283$$

$$R_5^3 = C_5 + B_5 + \left\lceil \frac{283+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{283}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{283}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{283}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{283}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= \mathbf{283} < 300 \text{ ✓ Plazo Cumplido}$$

$$R_6^0 = C_6 + C_5 + C_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{\text{int}} = 30 + 20 + 50 + 40 + 45 + 35 + 2 = 222$$

$$R_6^1 = C_6 + \left\lceil \frac{222}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{222+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{222}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{222}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{222}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{222}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 30 + 1 \cdot 20 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 307$$

$$R_6^2 = C_6 + \left\lceil \frac{307}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{307+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{307}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{307}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{307}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{307}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 3 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 372$$

$$R_6^3 = C_6 + \left\lceil \frac{372}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{372+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{372}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{372}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{372}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{372}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 40 + 3 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 457$$

$$R_6^4 = C_6 + \left\lceil \frac{457}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{457+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{457}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{457}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{457}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{457}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 + 3 \cdot 40 + 4 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 542$$

$$R_6^5 = C_6 + \left\lceil \frac{542}{T_5} \right\rceil C_5 + \left\lceil \frac{542+8}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{542}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{542}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{542}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{542}{T_{\text{int}}} \right\rceil C_{\text{int}}$$

$$= 30 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 + 3 \cdot 40 + 4 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{542} < 600 \checkmark \text{Plazo Cumplido}$$

Como era de esperar, el plazo de la tarea 4 sigue sin cumplirse, por lo que el sistema sigue siendo NO planificable. El único tiempo de respuesta que se ha visto afectado ha sido el de la tarea 4, dado que se le ha sumado su propio *jitter*. El tiempo de respuesta de las tareas 5 y 6 no se ha visto afectado por el *jitter* de la tarea 4, dado que su aportación ha sido muy pequeña.

7. Verificación mediante el software RTA

Primera simulación (sin jitter)

El fichero de configuración de los parámetros de la simulación es el siguiente:

```
-- Ejercicio 2 (sin jitter)
task set Sample with 7 tasks and 3 locks is
  -- locks
  lock Lock_ordenes;
  lock Lock_altitud;
  lock Lock_emergencia;
  -- tasks
  -- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
  task Task_i is interrupt (11, 600, 0, 0, 2, 0, 0, 100, 0);
  task Task_1 is periodic (6, 350, 0, 0, 35, 0, 0, 100, 0)
    uses Lock_emergencia (6);
  task Task_2 is periodic (5, 150, 0, 0, 45, 0, 0, 150, 0)
    uses Lock_ordenes (10), Lock_emergencia (6);
  task Task_3 is periodic (4, 200, 0, 0, 40, 0, 0, 200, 0)
    uses Lock_ordenes (8);
  task Task_4 is sporadic (3, 350, 0, 0, 50, 0, 0, 250, 0);
  task Task_5 is periodic (2, 300, 0, 0, 20, 0, 0, 300, 0)
    uses Lock_ordenes (5), Lock_altitud (6);
  task Task_6 is sporadic (1, 600, 0, 0, 30, 0, 0, 600, 0)
    uses Lock_ordenes (5), Lock_altitud (6);
end Sample;
```

A continuación, se muestran los resultados:

Response time analysis for task set Sample

Id Task	A	PR	Period	Offset	Jitter	Budget	Block	Deadline	Response	Sch
1 Task_i	I	11	600.000	0.000	0.000	2.000	0.000	100.000	2.000	Yes
2 Task_1	P	6	350.000	0.000	0.000	35.000	6.000	100.000	43.000	Yes
3 Task_2	P	5	150.000	0.000	0.000	45.000	8.000	150.000	90.000	Yes
4 Task_3	P	4	200.000	0.000	0.000	40.000	5.000	200.000	127.000	Yes
5 Task_4	S	3	350.000	0.000	0.000	50.000	5.000	250.000	262.000	No
6 Task_5	P	2	300.000	0.000	0.000	20.000	6.000	300.000	283.000	Yes
7 Task_6	S	1	600.000	0.000	0.000	30.000	0.000	600.000	542.000	Yes

Priority ceilings for shared resources

Id	Name	PR
1	Lock_emerg	6
2	Lock_orden	5
3	Lock_altit	2

Total processor utilization: 86.29%

Segunda simulación (con jitter)

El fichero de configuración de los parámetros de la simulación es el siguiente:

```
-- Ejercicio 2 (con jitter)
task set Sample with 7 tasks and 3 locks is
-- locks
lock Lock_ordenes;
lock Lock_altitud;
lock Lock_emergencia;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task Task_i is interrupt (11, 600, 0, 0, 2, 0, 0, 100, 0);
task Task_1 is periodic (6, 350, 0, 0, 35, 0, 0, 100, 0)
    uses Lock_emergencia (6);
task Task_2 is periodic (5, 150, 0, 0, 45, 0, 0, 150, 0)
    uses Lock_ordenes (10), Lock_emergencia (6);
task Task_3 is periodic (4, 200, 0, 0, 40, 0, 0, 200, 0)
    uses Lock_ordenes (8);
task Task_4 is sporadic (3, 350, 0, 8, 50, 0, 0, 250, 0);
task Task_5 is periodic (2, 300, 0, 0, 20, 0, 0, 300, 0)
    uses Lock_ordenes (5), Lock_altitud (6);
task Task_6 is sporadic (1, 600, 0, 0, 30, 0, 0, 600, 0)
    uses Lock_ordenes (5), Lock_altitud (6);
end Sample;
```

A continuación, se muestran los resultados:

Response time analysis for task set Sample

Id Task	A	PR	Period	Offset	Jitter	Budget	Block	Deadline	Response	Sch
1 Task_i	I	11	600.000	0.000	0.000	2.000	0.000	100.000	2.000	Yes
2 Task_1	P	6	350.000	0.000	0.000	35.000	6.000	100.000	43.000	Yes
3 Task_2	P	5	150.000	0.000	0.000	45.000	8.000	150.000	90.000	Yes
4 Task_3	P	4	200.000	0.000	0.000	40.000	5.000	200.000	127.000	Yes
5 Task_4	P	3	350.000	0.000	8.000	50.000	5.000	250.000	270.000	No
6 Task_5	P	2	300.000	0.000	0.000	20.000	6.000	300.000	283.000	Yes
7 Task_6	S	1	600.000	0.000	0.000	30.000	0.000	600.000	542.000	Yes

Priority ceilings for shared resources

Id	Name	PR
1	Lock_emerg	6
2	Lock_orden	5
3	Lock_altit	2

Total processor utilization: 86.29%

8. Interpretación de los resultados

Tanto la prueba de utilización de la CPU como el análisis del tiempo de respuesta han indicado que el sistema no es planificable, dado que la tarea 4 podría no cumplir su plazo. El impacto del *jitter* ha sido mínimo (dada su pequeña magnitud), y el resto de las tareas no han visto su tiempo de respuesta afectado. Puede entenderse la poca magnitud del *jitter* al tener en cuenta que la tarea que lo causa (la que dispara a la tarea esporádica número 4) es la de máxima prioridad, cuyo tiempo de respuesta se verá únicamente afectado por el bloqueo en uno de los recursos compartidos.

Gracias a la herramienta de simulación RTA se pudieron verificar los cálculos de los tiempos de respuesta, así como los tiempos de bloqueo en recursos compartidos, el *jitter*, y el porcentaje de utilización de CPU.