UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA – BARCELONATECH
OPE – ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE EMPRESA (ASPECTOS TÉCNICOS, JURÍDICOS Y ECONÓMICOS EN PRODUCCIÓN)

Sistemas Avanzados de Producción. Secuenciación en contexto JIT

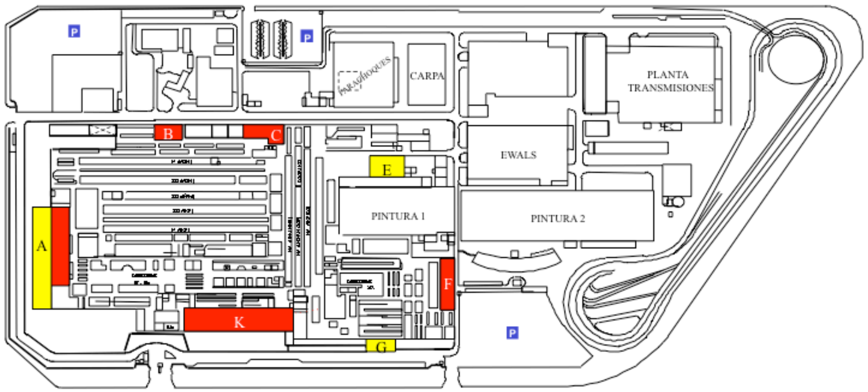
SISTEMAS AVANZADOS DE PRODUCCIÓN 240EO316 – Máster Universitario en Ingeniería de Organización (240MUEO) - ETSEIB

Joaquín Bautista-Valhondo

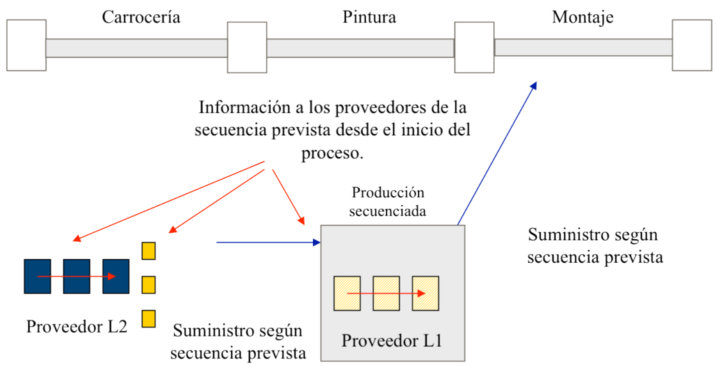
OPE-PROTHIUS – OPE-MSc.2017/35 240EO316 (20170501) - http://futur.upc.edu/OPE - www.prothius.com -
Departamento de Organización de Empresas – ETSEIB · UPC

Contenido

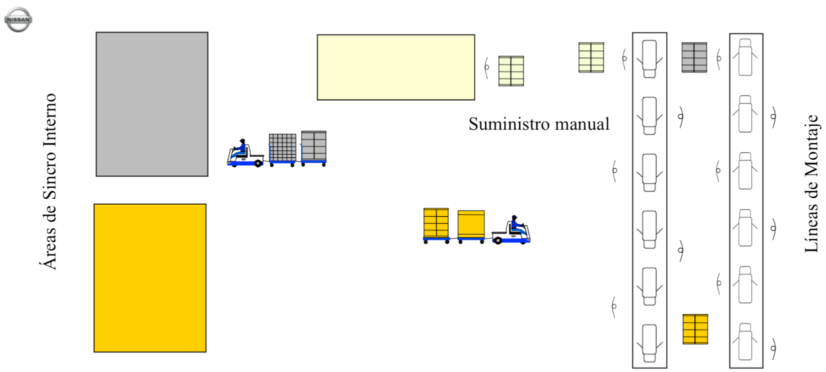
Introducción



Planta de fabricación Nissan-BCN



Procesos: Body Shop, Paint Shop, Trim &Chasis.



Suministro a líneas. Logística Interna

Ejemplos de líneas objeto de estudio

Contexto JIT. Secuencias regulares



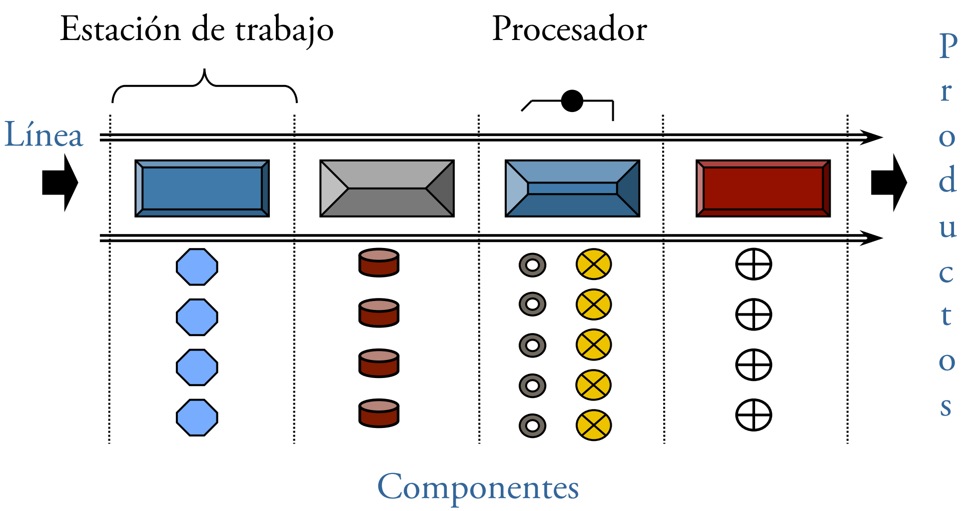
Características de un motor

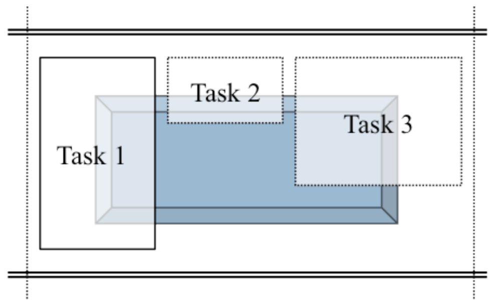
1.- 747 piezas y 330 referencias en 6 versiones del motor diesel
2.- Nº de operaciones de Montaje: 378 (incluida la prueba rápida).
3.- Nº de operarios, para un turno de 301 motores: 79

Características de la fabricación

1.- Montaje: 9 tipos de motores de 3 familias: 4x4 (p1 a p3); furgonetas (p4, p5); camiones MT (p6 a p9).
2.- Nº de operaciones: 140. Atributos: temporales, espaciales y de riesgo
3.- Demanda diaria: 30 motores de cada tipo (instancia #1 Nissan-BCN), 2 turnos de 6h 45' (8h): c=180 s.

Líneas de modelos mixtos





Problemas de secuencias

- PRV · *Product Rate variation Problem*
- ORV · *Output Rate Variation Problem*

Problema PRV básico · Elementos

Concepto: Obtener una secuencia de productos con máxima preservación del mix de producción

Problema · PRV básico (Product Rate Variation) · Nomenclatura:

Parámetros:

I,i Conjunto de tipos de producto · Índice de producto: $i=1,..,|I|$

T,t Horizonte de secuenciación en ciclos · Índice de ciclo: $t=1,..,T$

$\vec{d},D$ Vector demanda $\vec{d}=\left(d_1,..,d_{|I|}\right)$ · Demanda total: $D=\sum_{i\in I} d_i$ (por convenio $D\equiv T$)

$\vec{\lambda}$ Vector mix de producción $\vec{\lambda}=\left(\lambda_1,..,\lambda_{|I|}\right)$: $\vec{\lambda}=\vec{d}/D$

Variables:

$\pi(T)$ Secuencia global de productos: $\pi(T)=\left(\pi_1,..,\pi_T\right)$

$\pi(t)$ Secuencia parcial de productos: $\pi(t)=\left(\pi_1,..,\pi_t\right)\subseteq\pi(T)$

$x_{i,t},X_{i,t}$ Variable binaria que vale 1 si una unidad de tipo $i\in I$ se asigna a la posición t de la secuencia $\pi(T)$, y vale 0 en caso contrario · $X_{i,t}$: Unidades de tipo $i\in I$ contenidas en la secuencia parcial $\pi(t)\subseteq\pi(T)$

$\Im_X$ Funciones de discrepancia de preservación del mix de producción: $\Im_X=\left\{\Delta_R(X),\Delta_E(X),\Delta_Q(X)\right\}$: Discrepancias rectangular $\left[\Delta_R(X)\right]$, euclídea $\left[\Delta_R(X)\right]$ y cuadrática $\left[\Delta_Q(X)\right]$

Problema PRV básico · Formulación

Problema · PRV básico · Formulación:

$$\text{Funciones de discrepancia:}\begin{cases} 1.\ \Delta_R(X,t)=\sum_{i\in I}\left|X_{i,t}-\lambda_i t\right| & \Rightarrow \Delta_R(X)=\sum_{t=1}^{T}\Delta_R(X,t) \\ 2.\ \Delta_E(X,t)=\sqrt{\sum_{i\in I}\left(X_{i,t}-\lambda_i t\right)^2} & \Rightarrow \Delta_E(X)=\sum_{t=1}^{T}\Delta_E(X,t) \\ 3.\ \Delta_Q(X,t)=\sum_{i\in I}\left(X_{i,t}-\lambda_i t\right)^2 & \Rightarrow \Delta_Q(X)=\sum_{t=1}^{T}\Delta_Q(X,t) \end{cases}$$

Modelos M_PRV :

$$\min f\ \left(f\in\Im_X=\left\{\Delta_R(X),\Delta_E(X),\Delta_Q(X)\right\}\right) \qquad (1)$$

s.a:

$$\sum_{i\in I}x_{i,t}=1 \qquad \forall t=1,..,T \qquad (2)$$

$$\sum_{t=1}^{T}x_{i,t}=d_i \qquad \forall i\in I \qquad (3)$$

$$X_{i,t}-\sum_{\tau=1}^{t}x_{i,\tau}=0 \qquad \forall i\in I,\forall t=1,..,T \qquad (4)$$

$$x_{i,t}\in\{0,1\} \qquad \forall i\in I,\forall t=1,..,T \qquad (5)$$

Ejemplo 2. Presentación

Ejemplo 2 · PRV básico · Enunciado:

En una misma línea de modelos mixtos se debe ensamblar un total de 10 unidades de producto pertenecientes a 3 tipos de motores distintos (i = 1,2,3). El plan de producción pactado está definido por la fabricación de 2 unidades de tipo 1, 3 unidades de tipo 2 y 5 unidades de tipo 3. Considerando un contexto de fabricación JIT, establezca una secuencia de motores, lo más regular posible, atendiendo a la preservación del mix de producción a lo largo del tiempo.

$$I = \{1,2,3\} \qquad |I| = 3 \qquad T \equiv D = 10 \qquad \left\{ \begin{matrix} d_1 = 2u \Rightarrow \lambda_1 = 0.2 \\ d_2 = 3u \Rightarrow \lambda_2 = 0.3 \\ d_3 = 5u \Rightarrow \lambda_3 = 0.5 \end{matrix} \right\}$$

Problema PRV básico · Reparto proporcional Hamilton

Problema · PRV básico · Resolución problema de reparto proporcional (Hamilton):

Función objetivo: $\min f(t)\left(f(t)\in\Im_X(t)=\left\{\Delta_R(X,t),\Delta_E(X,t),\Delta_Q(X,t)\right\}\right)\ \forall t=1,..,T$

s.a.: $\sum_{i\in I}X_{i,t}=t\ \ \forall t,\quad \text{con } X_{i,t}\in Z^{+}\cup\{0\}\ \forall i\forall t$

Resolución: $\dfrac{\partial f(t)}{\partial X_{i,t}}=0\Rightarrow X_{i,t}-\lambda_i t=0\Rightarrow \hat{X}_{i,t}=\lambda_i t=\lfloor\lambda_i t\rfloor+r_{i,t}\quad \forall i\forall t$ (óptimo tentativo)

donde $r_{i,t}$ son fracciones $(0\le r_{i,t}<1)$

Como $X_{i,t}\in Z^{+}\cup\{0\}\ \Rightarrow\left[X^{*}_{i,t}=\lfloor\lambda_i t\rfloor\right]\vee\left[X^{*}_{i,t}=\lfloor\lambda_i t\rfloor+1\right]\quad \forall i\forall t$ (óptimo)

Procedimiento LF:

1. Iniciar: Hacer $t=1$ · Calcular $\lambda_i=d_i/T\ \ \forall i$
2. Fijar óptimos por defecto: $X^{*}_{i,t}\leftarrow\lfloor\lambda_i t\rfloor\ \forall i$
3. Determinar fracciones y resto R a repartir: $r_{i,t}=\lambda_i t-X^{*}_{i,t}\ \ \forall i,\ R=t-\sum_{i\in I}X^{*}_{i,t}$
4. Ordenar por fracciones · Sea $LC(t)=(i_1,i_2,..,i_{|I|})$ la lista de productos ordenada, que satisface: $\left(r_{i,t}\ge r_{i',t}\right)\Rightarrow pos\left(i,LC(t)\right)<pos\left(i',LC(t)\right)$
5. Repatir R entre los productos : Hacer $X^{*}_{i,t}\leftarrow X^{*}_{i,t}+1\ \forall i\in I$ tal que: $pos\left(i,LC(t)\right)\le R$
6. Test de finalización: $\begin{cases}\text{Si } t=T \text{ Finalizar}\\ \text{Si } t<T \text{ Hacer } t\leftarrow t+1 \cdot \text{Ir a Paso 2}\end{cases}$

PROTHIUS
Càtedra Organització Industrial

Ejemplo 2. Resolución · Reparto proporcional Hamilton

Ejemplo 2 · PRV básico · Resolución como problema de reparto proporcional (Hamilton):

	Óptimo tentativo			*Parte entera*			*Fracción*			*Resto*	*Óptimo*			
t	$\hat{X}_{1,t}$	$\hat{X}_{2,t}$	$\hat{X}_{3,t}$	$\lfloor \lambda_1 t \rfloor$	$\lfloor \lambda_2 t \rfloor$	$\lfloor \lambda_3 t \rfloor$	$r_{1,t}$	$r_{2,t}$	$r_{3,t}$	R	$X^*_{1,t}$	$X^*_{2,t}$	$X^*_{3,t}$	π_t
1	0.2	0.3	0.5	0	0	0	0.2	0.3	0.5	1	0	0	1	3
2	0.4	0.6	1.0	0	0	1	0.4	0.6	0.0	1	0	1	1	2
3	0.6	0.9	1.5	0	0	1	0.6	0.9	0.5	2	1	1	1	1
4	0.8	1.2	2.0	0	1	2	0.8	0.2	0.0	1	1	1	2	3
5	1.0	1.5	2.5	1	1	2	0.0	0.5	0.5	1	1	2	2	2
6	1.2	1.8	3.0	1	1	3	0.2	0.8	0.0	1	1	2	3	3
7	1.4	2.1	3.5	1	2	3	0.4	0.1	0.5	1	1	2	4	3
8	1.6	2.4	4.0	1	2	4	0.6	0.4	0.0	1	2	2	4	1
9	1.8	2.7	4.5	1	2	4	0.8	0.7	0.5	2	2	3	4	2
10	2.0	3.0	5.0	2	3	5	0.0	0.0	0.0	0	2	3	5	3

Ejemplo 3. Presentación

Ejemplo 3 · PRV básico · Enunciado:

En una misma línea de modelos mixtos se debe ensamblar un total de 13 unidades de producto pertenecientes a 3 tipos de motores distintos (i = 1,2,3). El plan de producción pactado está definido por la fabricación de 6 unidades de tipo 1, 6 unidades de tipo 2 y 5 unidades de tipo 3. Considerando un contexto de fabricación JIT, establezca una secuencia de motores, lo más regular posible, atendiendo a la preservación del mix de producción a lo largo del tiempo.

$$I = \{1,2,3\} \qquad |I| = 3 \qquad\qquad T \equiv D = 13 \qquad \left\{ \begin{array}{l} d_1 = 6u \Rightarrow \lambda_1 = 6/13 \\ d_2 = 6u \Rightarrow \lambda_2 = 6/13 \\ d_3 = 1u \Rightarrow \lambda_3 = 1/13 \end{array} \right\}$$

Ejemplo 3. Resolución · Reparto proporcional Hamilton

Ejemplo 3 · PRV básico · Resolución como problema de reparto proporcional (Paradoja de Alabama):

	Óptimo tentativo			*Parte entera*			*Fracción*			*Resto*	*Óptimo*			
t	$\hat{X}_{1,t}$	$\hat{X}_{2,t}$	$\hat{X}_{3,t}$	$\lfloor \lambda_1 t \rfloor$	$\lfloor \lambda_2 t \rfloor$	$\lfloor \lambda_3 t \rfloor$	$r_{1,t}$	$r_{2,t}$	$r_{3,t}$	R	$X^*_{1,t}$	$X^*_{2,t}$	$X^*_{3,t}$	π_t
1	0.46	0.46	0.08	0	0	0	0.46	0.46	0.08	1	1	0	0	1
2	0.92	0.92	0.15	0	0	0	0.92	0.92	0.15	2	1	1	0	2
3	1.38	1.38	0.23	1	1	0	0.38	0.38	0.23	1	2	1	0	1
4	1.85	1.85	0.31	1	1	0	0.85	0.85	0.31	2	2	2	0	2
5	2.31	2.31	0.38	2	2	0	0.31	0.31	0.38	1	2	2	1	3
6	2.77	2.77	0.46	2	2	0	0.77	0.77	0.46	2	3	3	0	1,2,-3
7	3.23	3.23	0.54	3	3	0	0.23	0.23	0.54	1	3	3	1	3
8	3.69	3.69	0.62	3	3	0	0.69	0.69	0.62	2	4	4	0	1,2,-3
9	4.15	4.15	0.69	4	4	0	0.15	0.15	0.69	1	4	4	1	3
10	4.62	4.62	0.77	4	4	0	0.62	0.62	0.77	2	5	4	1	1
11	5.08	5.08	0.85	5	5	0	0.08	0.08	0.85	1	5	5	1	2
12	5.54	5.54	0.92	5	5	0	0.54	0.54	0.92	2	6	5	1	1
13	6.00	6.00	1.00	6	6	1	0.00	0.00	0.00	0	6	6	1	2

PROTHIUS
Càtedra Organització Industrial

Problema PRV básico · Reparto proporcional · Heurística H-1

Problema · PRV básico · Resolución problema de reparto proporcional (heurística basada en Hamilton):

Función objetivo: $\min f(t) \left(f(t) \in \Im_X(t) = \left\{ \Delta_R(X,t), \Delta_E(X,t), \Delta_Q(X,t) \right\} \right) \; \forall t = 1,..,T$

s.a.: $\sum_{i \in I} X_{i,t} = t \;\; \forall t, \quad \text{con } X_{i,t} \in Z^+ \cup \{0\} \;\; \forall i \forall t$

Resolución: $\dfrac{\partial f(t)}{\partial X_{i,t}} = 0 \Rightarrow X_{i,t} - \lambda_i t = 0 \Rightarrow \hat{X}_{i,t} = \lambda_i t = \lfloor \lambda_i t \rfloor + r_{i,t} \qquad \forall i \forall t$ (óptimo tentativo)

donde $r_{i,t}$ son fracciones $(0 \le r_{i,t} < 1)$

Condición heurística: $X^*_{i,t} \ge X^*_{i,t-1} \;\; \forall i \forall t$ (no garantiza óptimo)

Procedimiento H-1:

1. Iniciar: Hacer $X^*_{i,0} = 0 \;\; \forall i$ · Hacer $t = 1$ · Calcular $\lambda_i = d_i / T \;\; \forall i$
2. Fijar pseudo-óptimos por defecto: $X^*_{i,t} \leftarrow \max\left\{ X^*_{i,t-1}, \lfloor \lambda_i t \rfloor \right\} \;\; \forall i$
3. Determinar fracciones $\hat{r}_{i,t}$ y resto R: $\hat{r}_{i,t} = \max\left\{ 0, \lambda_i t - X^*_{i,t} \right\} \;\; \forall i, \; R = t - \sum_{i \in I} X^*_{i,t}$
4. Determinar el producto con mayor fracción reducida: $i^* = \operatorname{argmax}_{i \in I} \left\{ \hat{r}_{i,t} \right\}$
5. Añadir $R \in \{0,1\}$ a producto i^* : Hacer $X^*_{i^*,t} \leftarrow X^*_{i^*,t} + R$
6. Test de finalización: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } t = T \text{ Finalizar} \\ \text{Si } t < T \text{ Hacer } t \leftarrow t+1 \cdot \text{Ir a Paso 2} \end{array} \right\}$

Ejemplo 3. Resolución · Reparto proporcional · Heurística H-1

Ejemplo 2 · PRV básico · Resolución como problema de reparto proporcional (Heurística H-1):

	Óptimo tentativo			*ps-Óptimo defecto*			*Fracción*			*Resto*	*ps-Óptimo*			
t	$\hat{X}_{1,t}$	$\hat{X}_{2,t}$	$\hat{X}_{3,t}$	$X^*_{1,t}$	$X^*_{2,t}$	$X^*_{3,t}$	$\hat{r}_{1,t}$	$\hat{r}_{2,t}$	$\hat{r}_{3,t}$	R	$X^*_{1,t}$	$X^*_{2,t}$	$X^*_{3,t}$	π_t
1	0.46	0.46	0.08	0	0	0	0.46	0.46	0.08	1	1	0	0	1
2	0.92	0.92	0.15	1	0	0	0.00	0.92	0.15	1	1	1	0	2
3	1.38	1.38	0.23	1	1	0	0.38	0.38	0.23	1	2	1	0	1
4	1.85	1.85	0.31	2	1	0	0.00	0.85	0.31	1	2	2	0	2
5	2.31	2.31	0.38	2	2	0	0.31	0.31	0.38	1	2	2	1	3
6	2.77	2.77	0.46	2	2	1	0.77	0.77	0.00	1	3	2	1	1
7	3.23	3.23	0.54	3	3	1	0.23	0.23	0.00	0	3	3	1	2
8	3.69	3.69	0.62	3	3	1	0.69	0.69	0.00	1	4	3	1	1
9	4.15	4.15	0.69	4	4	1	0.15	0.15	0.00	0	4	4	1	2
10	4.62	4.62	0.77	4	4	1	0.62	0.62	0.00	1	5	4	1	1
11	5.08	5.08	0.85	5	5	1	0.08	0.08	0.00	0	5	5	1	2
12	5.54	5.54	0.92	5	5	1	0.54	0.54	0.00	1	6	5	1	1
13	6.00	6.00	1.00	6	6	1	0.00	0.00	0.00	0	6	6	1	2