

## **Nota técnica: Programación de piso utilizando DBR**

A partir de la Teoría de Restricciones (TOC) propuesta por el Dr. Eliyahu Goldratt hace más de 25 años, es que se han desarrollado gran cantidad de aplicaciones en la administración de operaciones. Una de las más importantes es en la programación de piso. La programación de piso consiste en la planificación a muy corto plazo de todos los recursos requeridos para cumplir con una demanda específica.

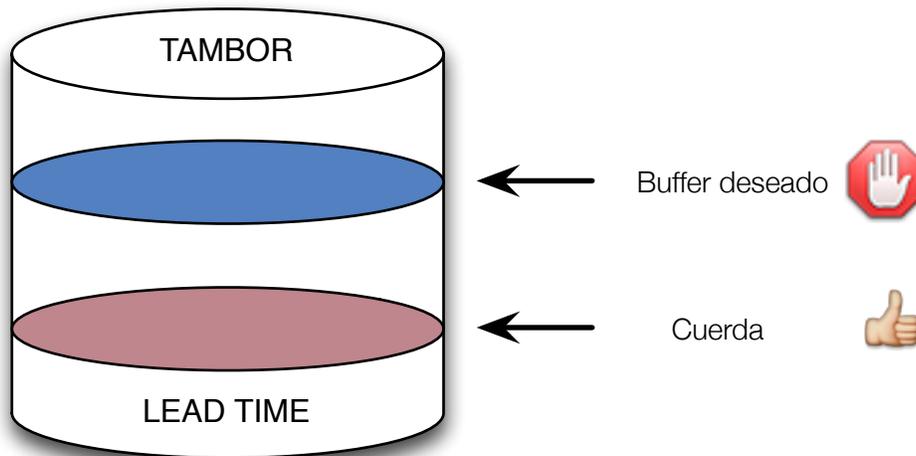
### Sistema DBR o Manufactura Sincrónica

La programación DBR o Drum Buffer Rope, consiste inicialmente en identificar el cuello de botella en un proceso productivo. La ubicación del cuello de botella al inicio, en el medio o al final del proceso implica condiciones diferentes. Por ejemplo, cuando éste se ubica al inicio, la cuerda no se dirige hacia ningún proceso. Más bien, solamente puede asociarse a la alimentación de la materia prima. El caso donde el cuello de botella se encuentra en el medio o hacia el final del proceso es el más común y el que nos va a ocupar en este caso.

El funcionamiento del sistema se da usualmente a partir de un sistema vacío. Es por esto que todas las estaciones sin restricciones que preceden al cuello de botella deben iniciar la producción en el momento más temprano posible. De esta forma, las partes se mueven muy rápidamente desde la entrada de materia prima hasta el buffer de la restricción. Luego, las partes esperan durante un tiempo indeterminado en el amortiguador del cuello de botella hasta que éste empieza a procesar la parte. Una vez que esto sucede, lo ideal es que todas las operaciones que alimentan al cuello de botella trabajen al mismo ritmo (tambor), pudiendo pasar de una en una las unidades (one piece flow). Sin embargo, en términos prácticos esto no sucede y solamente se logra reducir el tamaño de la tanda de transferencia para que no sea igual al tamaño del lote.

La alimentación de piezas por parte de las operaciones que no son cuellos de botella continúa hasta que se alcance el buffer deseado. La unidad de medida para el amortiguador de la restricción es tiempo estándar; es decir, el tiempo estimado necesario para que la restricción procese todos los artículos que se encuentran en el amortiguador. Una vez alcanzada la meta del time buffer, las operaciones alimentadoras se detienen por completo. De esta forma el cuello de botella continúa alimentándose del buffer hasta alcanzar el punto de reorden o cuerda. La cuerda no es más que una señal (se da igual que en el kanban) que avisa a la operación alimentadora que debe reiniciar el procesamiento de partes. Este ciclo detención-arranque-detención se da tanto para proteger al cuello de botella de faltantes, como para no aumentar el inventario en proceso por un exceso de capacidad de las operaciones alimentadoras. En el siguiente diagrama se muestra el funcionamiento del proceso:

## Diagrama No.1 Funcionamiento del sistema DBR



### Programación de Piso utilizando DBR

Para poder realizar una programación de piso utilizando DBR, se debe contar con dos elementos fundamentales: la cuerda, y el tamaño del buffer deseado. Las fórmulas para calcular cada uno se muestran a continuación:

- (1) Cuerda:  $Dd \cdot L + IS$ , donde:  
Dd: Demanda diaria  
L: Tiempo de aprovisionamiento (lead time) en días  
IS: Inventario de seguridad
- (2)  $L: t_{pcb} + t_{wcb} + t_a$   
t<sub>pcb</sub>: tiempo de procesamiento desde la alimentación del material hasta el cuello de botella.  
t<sub>wcb</sub>: tiempos de cola y transporte desde la alimentación del material hasta el cuello de botella.  
t<sub>a</sub>: tiempos de alistamiento desde la alimentación del material hasta el cuello de botella.
- (3) Time buffer:  $L \cdot (1 + \%v)$   
v: variación porcentual del tiempo de aprovisionamiento.

### Ejemplo de Aplicación

En el siguiente ejemplo, se ejemplificará el uso de la programación DBR.

La empresa ANZ cuenta con 3 centros de trabajo. Actualmente la planta tiene 4 órdenes de producción para ser procesadas. Los tiempos de proceso (en horas) en cada uno de los procesos así como las fechas de entrega (en horas) se muestran en la siguiente tabla:

Orden	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Fecha de entrega
101	8	1	12	45
102	6	3	21	35
103	7	11	21	40
104	5	2	10	42

Se debe realizar una programación de piso utilizando el criterio de secuenciamiento de mínima fecha de entrega con una programación DBR. En este caso las tandas de transferencia son iguales al tamaño del pedido. Además, se desea utilizar un time buffer de 21 horas en el cuello de botella y una cuerda de 15 horas hasta la operación alimentadora.

Pasos de solución:

1. Como primer paso, se debe realizar un cuadro donde se vaya contabilizando la programación paso por paso. Es importante que de antemano se identifique el cuello de botella para poder agregarle la columna del time buffer **ANTES** de la operación cuello de botella. En este caso la restricción es la máquina 3, pues es la que tiene mayores tiempos de proceso en todos los casos. Por otro lado, como no se desea calcular el tiempo ocioso ni el tiempo en cola, esas columnas se eliminan de cada máquina. El siguiente cuadro muestra el formato para realizar la programación:

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102							
103							
104							
101							

2. El segundo paso consiste en llenar el sistema. Siempre que el sistema se encuentre vacío, la primer línea se trabajará PUSH sin considerar al cuello de botella y el time buffer. El resultado de programar la orden 102 se muestra en el siguiente cuadro:

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
103							
104							
101							

En el cuadro anterior, es importante notar varias cosas. Primero que todo, el time buffer siempre se calcula al **FINALIZAR** la operación que alimenta al cuello de botella. En este caso, para poder determinar cuántas horas se están aportando al amortiguador del cuello de botella, se toma la hora 10 como base. En esa hora, la operación 2 le entrega 21 horas de trabajo a la operación 3. Según se vio anteriormente, el time buffer se mide en términos de las horas estándar que dura el cuello de botella procesando las partes. Finalmente, es importante notar que al alcanzar el time buffer un valor de 21 horas (que es la meta establecida), las máquinas 1 y 2 se detienen hasta que el cuello de botella les envíe la señal mediante la cuerda.

- El siguiente paso consiste en programar la segunda orden: Orden 103. Sin embargo, tal y como se mencionó en el paso anterior, esto no sucede hasta que el amortiguador alcance el valor de 15 horas. Visto de otra forma, el cuello de botella arranca con 21 horas de trabajo en la hora 10. En la hora 11 ya ha consumido 1 hora del buffer y por lo tanto le quedan solo 20 horas. Siguiendo esta dinámica, el buffer alcanza las 15 horas solo 6 horas después de que la máquina 3 haya arrancado ya que no se detiene en este lapso. En este momento, se manda la señal a la operación 1 para que de inicio nuevamente con la producción de partes. Esto se ejemplifica mejor en el siguiente esquema:

Hora	Tamaño del Buffer
10	21
11	20
12	19
13	18
14	17
15	16
16	15 → <b>Cuerda</b>

Sabiendo el momento en que debe iniciar la operación 1 a cargo de la máquina 1, ya se puede programar la segunda orden. El cuadro resultante es el siguiente:

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
103	15-16	16-23	22-23	23-34			
104							
101							

4. El cuarto paso consiste en recalcular el time buffer a partir de la finalización de la operación 2 con la orden 103. Como se puede observar en el cuadro anterior, la operación 2 finaliza a los 34 días, momento para el cual la operación 3 (la cual estaba procesando la orden 102) ya terminó. Dado esto, el time buffer está vacío y solamente tendrá lo entregado de la orden 103. Este tiempo ocioso para el cuello de botella nos empieza a revelar que la cuerda está mal calculada pues está generando tiempos ociosos en el cuello de botella. El resumen se muestra a continuación:

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
103	15-16	16-23	22-23	23-34	21	33-34	34-55
104							
101							

Se muestra claramente en el cuadro que al estar vacío el time buffer, éste solamente se llena con el trabajo entregado por la operación 2 en la hora 34. Por lo tanto, en la hora 34 el amortiguador solamente contiene las 21 horas de trabajo de la orden 103 que la máquina 2 le acaba de entregar. Adicionalmente, al llegar el amortiguador a 21 horas (tamaño meta establecido), las operaciones 1 y 2 se detienen nuevamente.

5. El quinto paso corresponde al cálculo del punto de reorden para el inicio con la orden 104. Este caso es igual al anterior ya que nada interrumpe el procesamiento de la orden en la máquina 3. Por esta razón, si se contaba con 21 horas en la hora 34, habrá 15 horas (cuerda) en la hora 40, momento en el cual da inicio la operación 1 con la orden 104.

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
103	15-16	16-23	22-23	23-34	21	33-34	34-55
104	39-40	40-45	44-45	45-47			
101							

6. El siguiente paso es calcular nuevamente el tamaño del amortiguador en la hora 47, que es cuando termina la operación 2 con la orden 104. Este caso es distinto a todos los demás, ya que en la hora 47, la máquina 3 aun **NO** ha terminado de procesar la orden 103. Es decir, existe un traslape entre ambos trabajos causando que el time buffer no sea solamente el trabajo entregado por la operación 2. Adicional a las 10 horas que está entregando O2, se le deben sumar las horas que faltan por procesar de la orden 103. La siguiente tabla lo ejemplifica mejor:

Hora	Tamaño del Buffer
34	21
35	20
36	19
37	18
38	17
39	16
40	15 → <b>Cuerda</b>
41	14
42	13
43	12
44	11
45	10
46	9
47	8 → <b>Ingresan 10 horas más de O2</b>

Como bien se puede ver arriba, en la hora 47 faltan 8 horas de la orden 103 por procesar en la máquina 3. Al haber terminado la operación 2 con la orden 104 antes de que finalice la máquina 3, las cargas del amortiguador se suman, generando un tiempo total de 18 horas. El siguiente cuadro muestra los cálculos:

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
103	15-16	16-23	22-23	23-34	21	33-34	34-55
104	39-40	40-45	44-45	45-47	18		
101							

Es importante mencionar del cuadro anterior, que el amortiguador **NO** ha logrado alcanzar la meta de 21 horas. Por esta razón, el proceso **NO PUEDE DETENERSE** y la máquina 1 debe continuar trabajando en el momento más temprano, que es en la hora 47. Los cálculos correspondientes se muestran a continuación:

Orden	A1	O1	A2	O2	TB	A3	O3
102	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
103	15-16	16-23	22-23	23-34	21	33-34	34-55
104	39-40	40-45	44-45	45-47	18	55-56	56-66
101	47-48	48-56	55-56	56-57			

7. El último paso consiste en calcular el time buffer de la última operación. Al igual que el caso anterior, cuando la máquina 2 termina de procesar la orden 101 en la hora 57, la máquina 3 aún no termina de procesar la orden 104. Nuevamente esto causa un traslape que requiere de cálculos adicionales para determinar el tamaño del buffer en la hora 57. La siguiente tabla lo ejemplifica:

Hora	Tamaño del Buffer
47	18
48	17
49	16
50	15
51	14
52	13
53	12
54	11
55	10
56	10 → <b>OJO</b>
57	9

Es **MUY IMPORTANTE** notar del cuadro anterior que entre la hora 55 y la 56 **NO** hay disminución del time buffer debido a que en ese tiempo la máquina 3 se encuentra en tiempo de alistamiento y por ende no procesa partes.

8. El resultado final de la programación de piso se muestra en el siguiente cuadro:

<b>Orden</b>	<b>A1</b>	<b>O1</b>	<b>A2</b>	<b>O2</b>	<b>TB</b>	<b>A3</b>	<b>O3</b>
<b>102</b>	0-1	1-7	6-7	7-10	21	9-10	10-31
<b>103</b>	15-16	16-23	22-23	23-34	21	33-34	34-55
<b>104</b>	39-40	40-45	44-45	45-47	18	55-56	56-66
<b>101</b>	47-48	48-56	55-56	56-57	21	66-67	67-79

Una vez finalizada la programación de piso, se pueden deducir los siguientes resultados:

- La cuerda del cuello de botella está mal calculada. Esto se evidencia en que el cuello de botella se detiene 5 horas en espera de material. Se debe estudiar el proceso para determinar un valor más exacto.
- Solamente la orden 102 se entrega a tiempo. Las otras 3 se entregan con 24 horas de atraso en promedio. El sistema no es capaz de satisfacer las necesidades de los clientes.
- Aunque el sistema DBR resulta muy eficiente para controlar el trabajo en proceso, el cálculo erróneo de la cuerda y el time buffer ocasionó retrasos considerables en el cuello de botella.