

## **CAPÍTULO 4. LOCALIZACIÓN DEL RECURSO RESTRICTIVO**

Este capítulo contiene el análisis efectuado para demostrar que la Prensa Brunnhuber es el recurso con la mayor capacidad restringida de todo el sistema. Esta demostración está validada mediante seguimientos al flujo productivo de los principales componentes y mediante el análisis matemático siguiendo el método de detección de cuellos de botella de Roser/Nakano/Tanaka [6] descrito en el marco teórico.

### ***4.1 Descripción y análisis de seguimientos***

En Teoría de Restricciones, es deseable actuar sobre el elemento que tenga mayor impacto en el sistema; esto es, el recurso que determina la velocidad o flujo productivo. Bajo la premisa anterior, la mayor ventaja será obtenida al seleccionar del universo de recursos pertenecientes al sistema, aquél que tenga la capacidad más restringida. Con el propósito de efectuar un barrido de los recursos en la planta LuK se efectuaron seguimientos a la secuencia de producción de los componentes principales de los ensambles de discos y embragues.

Los seguimientos consistieron en registrar los periodos de tiempo que un lote de un componente determinado consumía a su paso por las estaciones incluidas en la hoja de proceso, considerando tiempos de ajuste (setup) para las máquinas, tiempos en cola y tiempos de procesamiento. Esta información fue registrada en un formato como el presentado en el Apéndice B. En el encabezado del formato se incluyen datos acerca del material rastreado tal como materia prima, proveedor, fecha de procesamiento, número de parte y descripción, entre otros. En el cuerpo del formato se registró la información relativa

a la estación de procesamiento, la fecha con hora de inicio y fin de procesamiento y una columna para observaciones. A partir de estos formatos fueron generados diagramas de Gantt que simplifican la interpretación de la información contenida en los formatos iniciales. Las Figuras 4.1 a 4.7 muestran los diagramas para cada uno de los componentes rastreados. Los diagramas no tienen una escala temporal definida, sin embargo pueden ser considerados como herramientas visuales confiables para el fin establecido que es la búsqueda preliminar del recurso con mayor capacidad restringida.

Los diagramas fueron organizados de modo tal que en los renglones se observan las estaciones de procesamiento y en las columnas las fechas de procesamiento. Los recuadros amarillos indican que la estación procesó el material durante un tiempo equivalente al número indicado dentro del mismo recuadro. Los recuadros grises indican la existencia de material de este tipo en espera de ser procesado por la estación. Las dos columnas de la izquierda resumen las dos condiciones mencionadas; en amarillo se presentan las horas de procesamiento del material por estación y, en gris, los días que el material permaneció como trabajo en proceso antes de entrar a la estación correspondiente.

#### ***4.1.1 Seguimiento de Plato***

Forjas de platos son procesadas en el departamento de maquinados. La primera estación de procesamiento está conformada por los tornos 231 y 222 donde se efectúa el primer y segundo paso de maquinado. Posteriormente, los platos maquinados son trasladados a la balanceadora 266 donde una verificación por muestreo es efectuada; en caso de fallar en esta etapa, una verificación al 100% es ejecutada al lote en cuestión. A continuación se muestra el diagrama de procesamiento del plato con Número de Parte 1 203 915 00.



Figura 4.1. Diagrama de Gannt para Seguimiento de Plato [12]

En la figura 4.1 se observa que el tiempo de producción para el lote de platos fue corto y se efectuó de manera secuencial sin intervalos de trabajo en proceso significativos intermedios.

#### 4.1.2 Seguimiento de Tapa

El primer paso en el procesamiento de tapas consiste en la introducción de lámina en rollo a la prensa 124 para troquelar las platinas. Después, éstas son trasladadas a la prensa 104 donde es efectuado el embutido para la generación de un cuerpo. El diagrama mostrado en la figura 4.2 indica que, aunque el segundo paso en la secuencia de la tapa 1 110 915 00 es significativamente más largo que el primero, fue efectuado inmediatamente después del troquelado de la platina.



Figura 4.2. Diagrama de Gannt para Seguimiento de Tapa [12]

#### 4.1.3 Seguimiento de Diafragma

Las platinas de diafragma son troqueladas en la prensa 124. Después son llevadas a la prensa 114 donde se abren las ventanas del diafragma. El tratamiento térmico posterior

consiste en la secuencia iniciada en la línea 335 ó 336 de temple. Posteriormente, el material es revenido en el horno 305 durante 2 horas y después es granallado. Las fuerzas del diafragma son verificadas en la báscula 351 y finalmente, las lengüetas del diafragma son inducidas en la máquina 323. Se efectuó un seguimiento al lote de diafragmas 4 120 909 00. Como se observa en la figura 4.3, entre el troquelado de las platinas y el paso abrir ventanas existe un intervalo de 6 días en el que el material no fue procesado; el mismo fenómeno ocurre entre el proceso de abrir ventanas y el temple en la línea 336. Sin embargo toda la secuencia del tratamiento térmico fue efectuada de manera secuencial sin dejar el material como trabajo en proceso. En la columna amarilla de la izquierda se observa que los tiempos de procesamiento no son significativamente diferentes en la secuencia de diafragmas, siendo el proceso más largo de 6.67 horas en la estación de temple y formado.

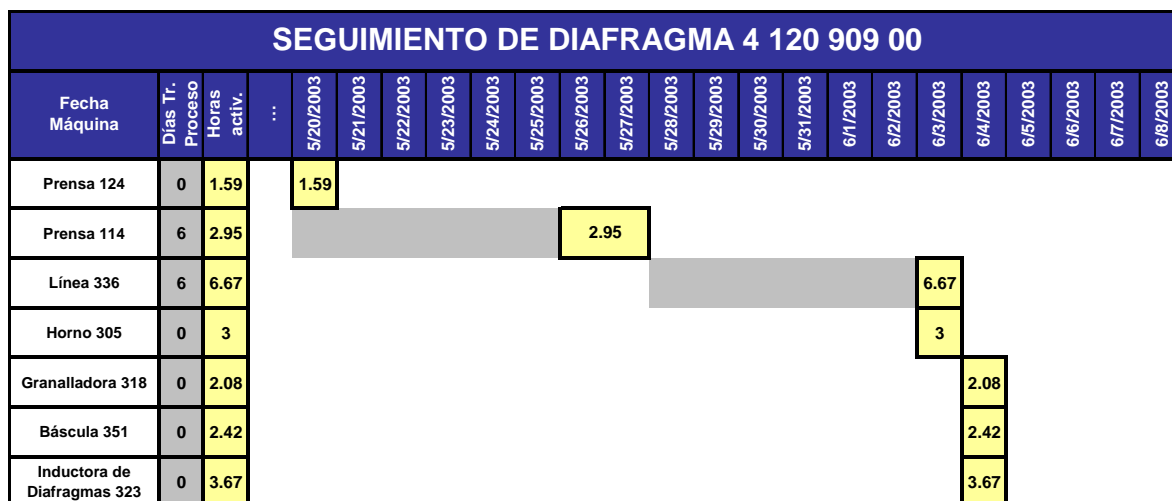


Figura 4.3. Diagrama de Gantt para Seguimiento de Diafragma [12]

#### 4.1.4 Seguimiento de Muelle

La figura 4.4 muestra el diagrama de procesamiento de un lote del muelle 1 119 964 00. Esta secuencia consta únicamente de un paso en la prensa 110 y el tiempo de

procesamiento observado fue de 6 horas. Una vez efectuado este paso el material fue trasladado al almacén de Partes Sueltas Terminadas.

SEGUIMIENTO DE MUELLE 1 119 964 00															
Fecha Máquina	Dias Tr. Proceso	Horas activ.	...	5/20/2003	5/21/2003	5/22/2003	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prensa 110	0	6		6											

Figura 4.4. Diagrama de Gannt para Seguimiento de Muelle [12]

#### 4.1.5 Seguimiento de Maza

En el procesamiento de mazas, se efectuó un seguimiento a través de uno de los componentes de este sub-ensamble; el buje. Las forjas de buje son maquinadas en el torno 219 y posteriormente remachadas con la placa en la estación 242. Ya como mazas son brochadas en la máquina 803 y finalmente procesadas en la Línea de Fosfato.

SEGUIMIENTO DE MAZA 3 933 929 05															
Fecha Máquina	Dias Tr. Proceso	Horas activ.	...	5/30/2003	5/31/2003	6/1/2003	6/2/2003	6/3/2003	6/4/2003	6/5/2003	...	...	...	...	...
Torno 219	0	9.18		9.18											
Remachadora 242	1	1.65			1.65										
Brochadora Klink 803	3	3.68						3.68							

Figura 4.5. Diagrama de Gannt para Seguimiento de Maza [12]

La figura 4.5 muestra un seguimiento a un lote de mazas 3 933 929 05; las etapas de procesamiento son efectuadas de manera secuencial; aunque se observó un intervalo en el que el material no fue procesado entre la estación de remachado y la de brochado; el tiempo que el material permaneció como trabajo en proceso en dicha estación fue de 3 días.

#### 4.1.6 Seguimiento de Segmento

La figura 4.6 muestra el diagrama de procesamiento de un lote del segmento 3 130 921 01. Como en el caso del procesamiento de muelles, la secuencia consta únicamente de un paso en la prensa 110, antes de ser trasladado al almacén de Partes Sueltas Terminadas. El tiempo de procesamiento observado fue de 12.1 horas para el lote completo.

SEGUIMIENTO DE SEGMENTO 3 130 921 01															
Fecha Máquina	Días Tr. Proceso	Horas activ.	...	5/20/2003	5/21/2003	5/22/2003	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prensa 110	0	12.1		12.1											

Figura 4.6. Diagrama de Gantt para Seguimiento de Segmento [12]

#### 4.1.7 Seguimiento de Rondana de Arrastre

De acuerdo a lo indicado en la hoja de proceso, lámina en rollo es procesada en la prensa 124 para troquelar las rondanas. Después, éstas son cementadas en la Línea de Sales; posteriormente, son enderezadas en la prensa Brunnhuber. Finalmente, las rondanas son sometidas a un proceso de aplicación de un recubrimiento anticorrosivo en la Línea de fosfato. Se efectuó un seguimiento a un lote de las rondanas de arrastre 3 122 914 00.

En la figura 4.7 se puede observar que el lote troquelado en la Prensa 124 fue subdividido en tres lotes más pequeños en la Línea de Sales. También se observa que tanto en la Línea de Sales como en la Prensa Brunnhuber el material permanece como trabajo en proceso por periodos muy prolongados de tiempo, además el tiempo total que el material permaneció en este estado es muy similar en ambas estaciones. Sin embargo, los tiempos continuos de procesamiento de material en ambas estaciones son sustancialmente diferentes; en la línea de sales fueron procesadas las subdivisiones del lote en tiempos

cortos comparados contra los tiempos de procesamiento continuo observados en la Prensa Brunnhuber

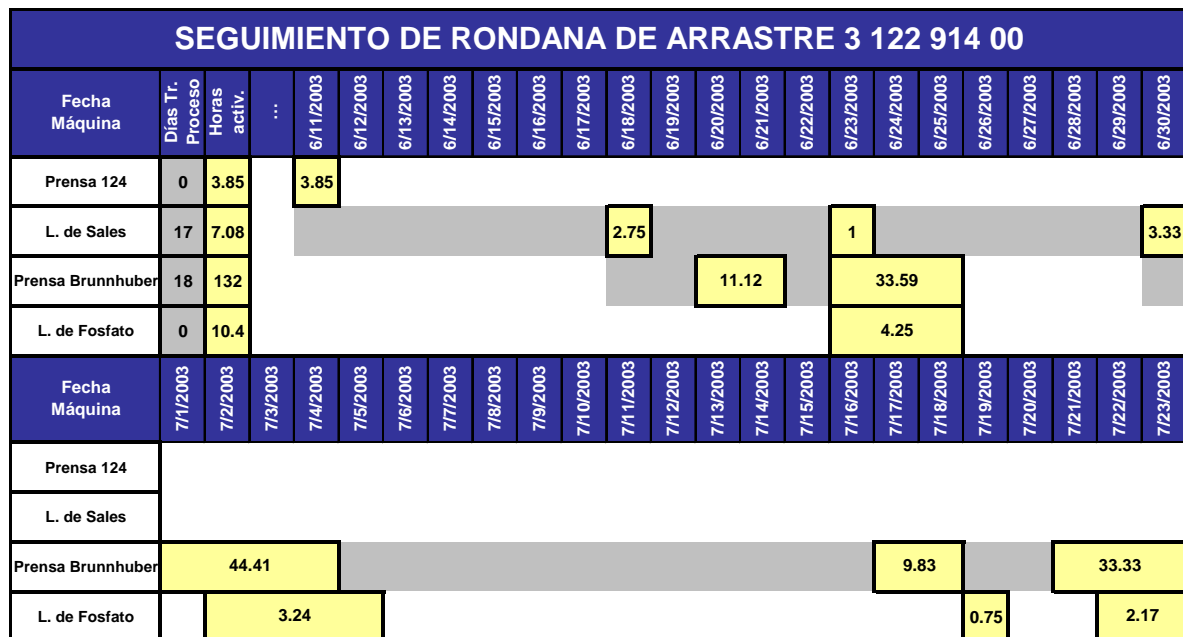


Figura 4.7. Diagrama de Gantt para Seguimiento de Rondana de Arrastre [12]

Al comparar los tiempos totales de procesamiento por estación resumizados en la columna amarilla de la izquierda, se observa que el tiempo requerido por la prensa Brunnhuber para procesar el lote de rondanas es, por mucho, mayor que el tiempo requerido para procesar la misma cantidad de material en cualquier otra estación de la secuencia.

#### 4.1.7.1 Análisis detallado del Seguimiento a las Rondanas de Arrastre

El Apéndice B contiene el seguimiento completo efectuado. En el renglón 5 se comenta que el material antes de ser cementado en la Línea de Sales permaneció 7 días como trabajo en proceso; parte del material fue cementado, y 2 días después inicio su procesamiento en la prensa Brunnhuber. En los renglones 14 a 16 se observa el mismo fenómeno; para esa

fecha el material cementado había permanecido como trabajo en proceso durante 12 días; fue cementado y comenzó a ser enderezado el mismo día. Con la tercera subdivisión del lote ocurrió lo mismo, ver renglones 23 a 25; el periodo de tiempo entre el cementado y el inicio del enderezado fue de 1 día.

De los puntos anteriores, se infiere, que la relación productiva entre la Línea de Sales y la prensa Brunnhuber está definida bajo un sistema de jalar. El material de la Línea de Cementado no es procesado sino hasta que será requerido por la prensa Brunnhuber; diferente a lo que sucede entre la prensa 124 y la Línea de Cementado en Sales, en donde el material es empujado por la prensa 124 a la Línea de Sales; resulta evidente que la cantidad de trabajo en espera de ser procesado en la Línea de Sales depende no únicamente de su capacidad de producción sino también de la capacidad de producción de la estación siguiente; para el caso de rondanas de arrastre, de la prensa Brunnhuber. El criterio de procesamiento en esta secuencia es el siguiente: Ningún material llega a la Prensa Brunnhuber a menos que vaya a ser procesado en el corto plazo en esta estación. (Surge en este momento una pregunta; si nada entra a esta estación hasta que será procesado, ¿cómo se explica todo el material que permanece como trabajo en proceso frente a la Prensa Brunnhuber?; esta pregunta será contestada en el capítulo siguiente).

Al observar los renglones 13 y 16 se observa una falla en el sistema productivo; durante 2 horas 20 minutos, la prensa de enderezado permaneció ociosa por falta de material, el renglón 15 indica en que momento se procesó el material en la Línea de Sales. Entre la prensa Brunnhuber y la Línea de fosfatizado el sistema productivo se rige bajo un sistema de empujar. El material procesado en la estación de enderezado es trasladado a la Línea de Fosfatizado en donde es procesado, en términos generales, conforme va llegando el material. Lo anterior provoca que el rendimiento de la Línea de Fosfato, en términos de



piezas producidas por hora, en ocasiones sea dependiente del tamaño de lote de transferencia proveniente de la Prensa Brunnhuber.

El Apéndice C contiene dos gráficas derivadas del seguimiento al lote de rondanas 3 122 914 00. La primera gráfica es sobre el tiempo efectivo por estación, mientras que la segunda gráfica considera el tiempo total de permanencia del lote de producción en cada estación. Ambas gráficas contienen una quinta columna que representa el tiempo acumulativo efectivo y total que el lote permaneció en producción, como referencia visual de la proporción representada por cada estación. En el caso del tiempo efectivo, la suma de los tiempos individuales por estación es equivalente al tiempo en producción. Para el caso de la gráfica de tiempo total, la columna de tiempo en producción representa el lapso de permanencia del lote en el piso de producción.

Se observa que el tiempo efectivo de producción en la prensa 124, la línea de cementado en sales y la línea de fosfatizado son de 3.85, 7.08 y 10.41 respectivamente, contra un tiempo de procesamiento de 125.2 horas para la prensa Brunnhuber. Sin embargo, al observar la segunda gráfica, se observa que el tiempo total de permanencia en el piso productivo es similar en las estaciones de cementado en la línea de sales, enderezado y fosfatizado. La razón que justifica este fenómeno es la dependencia del comportamiento de las líneas de sales y fosfatizado con respecto al sistema productivo de la prensa Brunnhuber; observamos en este punto lo que Goldratt [2] define como dependencia de eventos y acumulación de las fluctuaciones estadísticas. El lapso de 803 horas comprendido desde el inicio hasta el fin del procesamiento del lote de rondanas en la prensa Brunnhuber afecta, por un lado, el lapso de procesamiento en la línea de sales debido a la restricción del paso de material hacia enderezado sino hasta que el material este muy próximo a ser procesado; y por otro, afecta el lapso de procesamiento de la línea de fosfato

pues este inicia a partir de que la prensa Brunnhuber comienza a liberar material y termina hasta que la misma prensa ha liberado todo el material perteneciente al lote.

#### **4.2 Conclusión al análisis de seguimientos**

La tabla 4.1 muestra un condensado de los seguimientos efectuados y contiene el tiempo de ciclo, tiempo en producción y la diferencia entre ellos definido como el tiempo de trabajo en proceso, todos en horas, para cada componente (un negativo implica un traslape en las operaciones incluidas en la secuencia de procesamiento).

No. Parte	Descripción	Tiempo de Ciclo	Tiempo en Producción	Tiempo Trabajo en Proceso	Ensamble
1 203 915 00	Plato	48	24	24	Embrague
1 110 915 00	Tapa	21.75	22.32	-0.57	Embrague
4 120 909 00	Diafragma	371.33	19.38	351.95	Embrague
1 119 964 00	Muelle	8	6	2	Embrague
3 933 929 05	Maza	138.15	15.51	122.64	Disco
3 130 921 01	Segmento	30.77	12.1	18.67	Disco
3 122 914 00	Rondana de Arrastre	992	153.62	838.38	Disco

**Tabla 4.1. Condensado de seguimientos efectuados [12]**

Los criterios de preselección fueron tiempo de ciclo y tiempo de producción más largo para un componente”. El tiempo de producción está definido como la sumatoria de los periodos de activación en cada uno de los recursos por los que pasa el componente en su secuencia de producción. Tal y como puede observarse en la tabla 4.1, el mayor tiempo de ciclo y el mayor tiempo en producción corresponden a la fabricación de las rondanas de arrastre. Al trabajar sobre el componente con mayor tiempo de ciclo se asegurará que una reducción en el mismo generará el mayor beneficio para todo el sistema.

El análisis detallado al seguimiento de rondanas proporcionó más indicativos acerca de la caracterización de la secuencia de producción de estos componentes. En este momento, se puede afirmar que en la secuencia de rondanas de arrastre, la Prensa Brunnhuber es el recurso con la mayor capacidad restrictiva del sistema. Sin embargo, aunque en la Prensa Brunnhuber estos son los únicos componentes procesados, no ocurre lo mismo en las otras tres estaciones de la secuencia, por lo que en la siguiente sección se efectúa un análisis considerando todo el material procesado en estas estaciones para determinar la estación con el mayor tiempo de activación de la secuencia.

#### ***4.3 Método de Roser/Nakano/Tanaka de detección de cuellos de botella***

El método de detección de cuellos de botella de Roser, Nakano y Tanaka [6], fue aplicado a las estaciones incluidas en la secuencia de procesamiento de las rondanas de arrastre. El objetivo de este método es determinar el tiempo promedio de activación para cada estación. La máquina con el valor más alto, constituirá el recurso con la mayor capacidad restrictiva. Para aplicar esta metodología se verificaron los registros de producción del mes de junio de 2003; que consistieron en toda la información disponible hasta el momento de la elaboración de este análisis. Debido a que en mayo de 2003 reestructuraciones organizacionales importantes ocurrieron en el departamento, no se consideraron representativos datos anteriores a junio.

Además de los registros de junio, para efectos de determinación del tiempo total de activación se solicitaron los registros de mantenimiento de estas estaciones para incluirlos en el mismo conteo. La tabla 4.2 presenta algunas de las características representativas de

las muestras de tiempos continuos de activación en horas observadas para cada una de las estaciones mencionadas.

	500 Ton.	L. Sales	Brunnhuber	L. Fosfato
n	23	20	16	19
Horas Totales Producción	282	319	326	177
Mayor observación	18.5	32	45	9.5
Menor observación	9.5	9.50	9.5	7.50
Valor P	0.13	>0.15	>0.15	>0.15

**Tabla 4.2. Muestras de tiempos continuos de activación en el mes de junio de 2003 para las estaciones incluidas en la secuencia de procesamiento de rondanas de arrastre [12]**

Se observa que la prensa Brunnhuber tiene el mayor tiempo total de producción en el periodo analizado distribuido en el menor número de periodos continuos de activación. A partir de las muestras obtenidas y mediante la Ecuación 4 del Apéndice A, se determinaron intervalos de confianza del 90% para el tiempo promedio de activación. La tabla 4.3 indica los valores obtenidos para cada estación. Todas las fórmulas empleadas y las pruebas de normalidad para las muestras representadas en la tabla 4.2 se muestran en el Apéndice A.

	500 Ton.	L. Sales	Brunnhuber	L. Fosfato
$\bar{a}$	12.28	15.93	21.10	9.31
s	2.98	5.05	9.14	0.50
n	23	20	16	19
$t_{0.05}$	1.71	1.72	1.75	1.73
$\bar{a}_{\min}$	11.22	13.99	17.10	9.11
$\bar{a}_{\max}$	13.34	17.87	25.10	9.51

**Tabla 4.3. Estimación de periodos promedio de activación e intervalos de confianza para estaciones incluidas en la secuencia de procesamiento de rondanas de arrastre [12]**

La Tabla 4.3 señala que con una confianza del 90% se afirma que la duración promedio de activación para la prensa Brunnhuber se encuentra entre 17.10 y 25.10 horas,

---

con una media de activación de 21.10 horas. Mientras que, con la misma confianza, se afirma que el tiempo promedio de activación para la Línea de Sales se encuentra entre 13.99 y 17.87 horas con una media de 15.93 horas. La interpretación para la Prensa de 500 toneladas y para la Línea de Fosfato debe efectuarse de manera similar. Por lo tanto, se concluye que la prensa Brunnhuber es el recurso con la mayor capacidad restringida en la secuencia de procesamiento de rondanas de arrastre.

#### ***4.4 Justificación de impacto y expectativas***

Los métodos anteriormente descritos afirman que la Prensa Brunnhuber es el recurso con mayor capacidad restringida en el sistema. Al trabajar con el recurso con la mayor capacidad restringida de la secuencia del componente con mayor tiempo de ciclo, se obtendrá una mejora sobre el sistema global. En el capítulo siguiente se efectúa un análisis detallado del recurso en cuestión con objeto de encontrar aspectos susceptibles de mejoras.