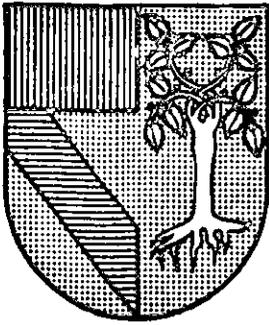


308917



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

13

**LA APLICACION DE LA TEORIA DE RESTRICCIONES EN UNA
EMPRESA MANUFACTURERA.**

296310

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA: INGENIERIA INDUSTRIAL
P R E S E N T A
EDMUND FRIEDRICH PETERSEN GREISER

DIRECTOR DE TESIS:
FIS. MARIANO ROMERO VALENZUELA

MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradezco a la Universidad Panamericana y a mis maestros la formación integral que me brindaron, especialmente al Fís. Mariano Romero Valenzuela, sin cuyo apoyo y dirección este trabajo no hubiera podido realizarse.

A la memoria de mi padre Ing. Peter Paul Petersen Schick.

No hubo el tiempo para expresarte mi agradecimiento, pero espero puedas ver que tu ejemplo de trabajo, sabiduría y caballerosidad rigen mi vida y motivarán el futuro.

A mi madre.

Gracias por permanecer siempre fuerte junto a mí, motivarme para alcanzar las metas que tu educación me ha marcado dentro de la decencia y el bien.

A mis hermanos Adelheid, Karin, Peter, Mónica y Doris.

Gracias por su apoyo constante y a su cariño que nos mantiene juntos.

A mis cuñados Jochen, Eduardo y Michael por su apoyo y buenos deseos.

A mis sobrinos Erika, Alex, Peter, Triana, Steffi, Saskia y Mark.

Una sonrisa de ustedes siempre alegra mi corazón.

A la Familia Rivera Garduño.

Gracias por su cariño, amistad y apoyo incondicional para la realización de este proyecto de tesis.

A Michael Ortega Binderberger.

Gracias por tu apoyo y enseñanzas para la realización de este proyecto de tesis.

A Karina y Alfredo Romero Ihnen.

Gracias por motivarme a estudiar la Teoría de Restricciones.

Al Dr. Eliyahu M. Goldratt creador de la Teoría de Restricciones

Thank you
Cofcic

Índice

Índice

Introducción.

Capítulo 1 : Presentación de la empresa.

	Página
1.1. Presentación.	1
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Organigrama.	4
1.4. Descripción de los procesos productivos.	5
1.4.1. Corte de materiales.	5
1.4.2. Troquelado de materiales.	5
1.4.3. Operaciones de doblado.	5
1.4.4. Ensamble de piezas.	5
1.4.5. Pulido.	6
1.4.6. Cromado o niquelado.	6
1.4.7. Pintura electrostática en polvo y pintura líquida.	6
1.4.8. Empaque y entrega de pedidos.	6
1.4.9. Instalación.	6
1.5. Productos.	6

Capítulo 2 : Detección de problemas.

2.1. Detección de los problemas esenciales en la administración de la producción.	7
2.2. Situación actual.	8
2.3. Consecuencias negativas en el proceso actual.	10
2.4. Descripción del proceso productivo.	10

Capítulo 3 : Introducción al sistema.

3.1.1. Introducción al sistema.	17
3.1.1. Antecedentes.	17
3.2. Breve semblanza del Dr. Eliyahu Moshe Goldratt.	24

Capítulo 4 : Carácter de la Teoría de Restricciones.

4.1. Carácter de la Teoría de Restricciones.	28
4.2. El proceso mental de T.O.C.	29
4.3. Los cinco puntos focales de T.O.C.	31
4.4. Las cinco herramientas del proceso mental.	33
4.4.1. El árbol de realidad actual C.R.T.	33
4.4.2. Diagrama de resolución de conflicto E.C.	34

4.4.3.	Árbol de realidad futura F.R.T.	35
4.4.4.	El árbol de prerrequisitos P.T.	35
4.4.5.	El árbol de transición T.T.	36
4.5.	Principios fundamentales del T.O.C.	36
4.6.	Tipos de restricciones.	39
4.6.1.	Restricción física.	39
4.6.2.	Restricción de mercado.	39
4.6.3.	Restricción de políticas administrativas.	40
4.7.	Indicadores económicos de T.O.C.	41
4.7.1.	Definiciones de los indicadores de operación.	43
4.7.1.1.	Throughput.	43
4.7.1.2.	Inventario.	43
4.7.1.3.	Gasto de operación.	44
4.8.	Estrategia del T.O.C.	44

Capítulo 5 : Sistema Tambor – Cuerda – Amortiguador **D.B.R.**

5.1.	Descripción.	47
5.2.	Eventos dependientes e interacciones.	47
5.2.1.	La variabilidad y los eventos aleatorios.	48
5.3.	Analogía de la excursión de boy scouts.	50
5.4.	Panorama del D.B.R.	55
5.5.	Construcción del sistema D.B.R.	57
5.6.	Estrategia de D.B.R.	58
5.7.	Aplicación del D.B.R.	58
5.8.	Elementos del D.B.R.	59
5.8.1.	El tambor.	59
5.8.1.1.	Procedimiento para definir el tambor.	59
5.8.1.1.1.	Establecer la secuencia y prioridades de producción.	60
5.8.2.	Los Amortiguadores.	61
5.8.2.1.	Amortiguadores de tiempo y amortiguadores de stock.	62
5.8.2.1.1.	Amortiguador de tiempo.	62
5.8.2.1.2.	Amortiguador de stock.	62
5.8.2.1.3.	Comparación entre los amortiguadores de tiempo y los de stock.	63
5.8.2.2.	Visualización de los amortiguadores de tiempo.	63
5.8.2.3.	Análisis del amortiguador de tiempo.	66
5.8.2.4.	Tipos de amortiguadores.	68
5.8.2.4.1.	Amortiguador de embarque.	68
5.8.2.4.2.	Amortiguador de restricción.	68
5.8.2.4.3.	Amortiguador de ensamble.	68
5.8.2.5.	Tamaño de los amortiguadores.	68
5.8.2.6.	Zonas del amortiguador.	69
5.8.2.6.1.	Zona de expedición.	70
5.8.2.6.2.	Zona de seguimiento.	70
5.8.2.6.3.	Zona de seguridad.	70
5.8.3.	La cuerda.	71
5.8.3.1.	Puntos de control.	72

Capítulo 6 : Implementación del Sistema Tambor – Cuerda – Amortiguador D.B.R.

6.1.	Introducción.	75
6.2.	Implementación paso a paso del sistema D.B.R.	76
6.2.1.	Procedimiento para determinar restricciones físicas.	76
6.2.2.	Formulación del problema.	78
6.2.3.	Los objetivos perseguidos por el modelo.	79
6.2.4.	Construcción del modelo de la empresa.	79
6.2.5.	Recopilación de la información.	80
6.2.6.	Suposiciones del modelo.	80
6.2.7.	Traducción del modelo.	81
6.2.8.	Algoritmo del programa.	82
6.2.8.1.	Definición.	82
6.2.8.2.	Algoritmo del modelo para la empresa.	83
6.2.9.	Descripción de los archivos de datos.	84
6.2.9.1.	Archivo de datos: DATOS.DAT.	84
6.2.9.2.	Archivo de Rutas: RUTAS.DAT.	85
6.2.9.3.	Archivo de Pedidos: PEDIDOS.DAT.	86
6.2.9.4.	Archivo de salida resumida: SALIDA.DAT.	86
6.2.9.5.	Archivo de salida detallado: DETALLE.DAT.	88
6.2.10.	Cómo funciona el programa.	90
6.2.11.	Presentación de resultados.	90
6.2.12.	Interpretación de la gráfica de utilización de recursos.	95
6.3.	Determinar qué componentes pasan por la restricción.	96
6.4.	Determinar las prioridades de producción para la restricción.	97
6.5.	Utilizar las prioridades y construir una gráfica de Gantt para la utilización de la restricción.	99
6.5.1.	Construcción del reporte del tambor y Gráfica de Gantt.	100
6.5.2.	Aplicación del algoritmo de D.B.R. para la elaboración del tambor y Gráfica de Gantt.	103
6.6.	Programar los demás productos, cuyos componentes no pasen por la restricción en el programa de producción.	107
6.7.	Desarrollar el programa de liberación de materiales desde la restricción, viendo en retrospectiva sus pasos.	108
6.7.1.	Reporte de liberación de materiales.	109
6.8.	Desarrollar el programa de entregas desde la restricción hacia adelante y agregar un amortiguador de entrega.	110
6.9.	Gráfica de desempeño.	110
6.10.	Reportes para medir el desempeño en la implementación del sistema D.B.R.	112
6.11.	Monitoreo de amortiguadores.	113
6.12.	El reporte de monitoreo de la cuerda.	113
6.13.	El amortiguador de la restricción.	114
6.14.	Reporte de monitoreo del amortiguador de la restricción.	115
6.15.	Reporte de desempeño para la restricción.	116
6.16.	Reporte de monitoreo del amortiguador de embarque.	117

6.17.	Reporte y gráfica de nivel de servicio.	118
-------	---	-----

Capítulo 7 : Las reformas.

7.	Las reformas del sistema D.B.R.	119
7.1.	Estructura de la organización.	120
7.2.	Departamento de producción.	120
7.3.	Departamento de ingeniería.	122
7.4.	Ejecución del sistema D.B.R.	123
7.5.	Departamento de planeación y control de la producción.	125
7.6.	Departamento de aseguramiento de la calidad.	127
7.7.	Control en el piso de producción.	128
7.8.	Departamento de nuevos proyectos.	133

Capítulo 8 : Resultados inmediatos después de las reformas del sistema D.B.R.

8.	Resultados inmediatos después de las reformas del sistema D.B.R.	134
8.1.	Reestructuración de la organización.	134
8.2.	El nuevo departamento de producción.	137
8.3.	Control en la planta.	137
8.4.	Identificación y rastreo del producto.	137
8.5.	Tiempos más cortos de fabricación.	138
8.6.	Departamento de ingeniería.	138
8.6.1.	Cómo funciona este departamento.	139
8.6.2.	Semáforo de colores para el monitoreo de avances.	140
8.7.	Departamento de planeación y control de la producción.	140
8.8.	Nivel de servicio.	148

Conclusiones.

Bibliografía General.

Bibliografía Particular.

Hemerografía.

Vocabulario de términos.

Anexos.

- Anexo 1 : Archivo de rutas de fabricación.
- Anexo 2 : Ruta de fabricación de entrepaños.
- Anexo 3 : Reportes de control.
 - Liberación de materiales.
 - Control del amortiguador de la restricción.
 - Reporte de desempeño para la restricción.
 - Control del amortiguador de embarque.
- Anexo 4 : Flujograma general de la operación de la empresa.
- Anexo 5 : Código del programa en lenguaje C ++.

Figuras.

Figura 1.1.	Organigrama.	4
Figura 5.1.	Sistema Tambor – Cuerda – Amortiguador.	56
Figura 5.2.	Amortiguador de cinco días para el cuello de botella.	65
Figura 5.3.	Huecos en el amortiguador de la restricción.	65
Figura 5.4.	Perfil del contenido del amortiguador.	66
Figura 5.5.	Diagrama para el control de amortiguadores.	71
Figura 5.6.	Punto de divergencia en el flujo de producción.	73
Figura 5.7.	Punto de ensamble en el flujo de producción.	73
Figura 8.1.	Organigrama.	136

Gráficas.

Gráfica 6.1.	Utilización de recursos.	94
Gráfica 6.2.	Gráfica de Gantt.	
Gráfica 6.3.	Gráfica del tambor en ruinas.	104
Gráfica 6.4.	Gráfica del tambor nivelado.	106
Gráfica 6.5.	Gráfica de desempeño.	111
Gráfica 8.1.	Gráfica del tambor.	142
Gráfica 8.2.	Gráfica del tambor nivelado.	144
Gráfica 8.3.	Gráfica de dispersión.	147
Gráfica 8.4.	Gráfica de nivel de servicio año 1999.	150
Gráfica 8.5.	Gráfica de nivel de servicio año 2000.	154
Gráfica 8.6.	Comparación nivel de servicio antes y después de D.B.R. pedidos del GRUPO.	156
Gráfica 8.7.	Comparación nivel de servicio antes y después de D.B.R. pedidos de clientes.	157

Tablas.

Tabla 5.1.	Analogía del proceso productivo y una tropa de niños exploradores.	54
Tabla 5.2.	Programa semanal para el cuello de botella.	64
Tabla 6.1.	Archivo de salida detallada.	89
Tabla 6.2.	Productos fabricados en un año.	91
Tabla 6.3.	Porcentaje de utilización de los recursos.	92
Tabla 6.4.	Análisis de rutas de proceso para 15 productos.	97
Tabla 6.5.	Contribución marginal.	98
Tabla 6.6.	Lista para el tambor.	102
Tabla 6.7.	Lista para el programa de liberación de materiales.	109
Tabla 6.8.	Lista de terminación de trabajo en el recurso Restricción.	110
Tabla 8.1.	Nuevas contrataciones de personal.	135
Tabla 8.2.	Tabla para medir el desempeño de la restricción.	146
Tabla 8.3.	Información para la gráfica de nivel de servicio año 1999.	149
Tabla 8.4.	Información para la gráfica de nivel de servicio año 2000.	152
Tabla 8.5.	Datos comparativos antes y después de D.B.R.	155

Introducción

INTRODUCCIÓN

Con este trabajo de investigación y de campo se pretende aplicar los principios de la Teoría de Restricciones y el sistema de tambor-cuerda-amortiguador para la administración de la producción en la empresa motivo de este estudio y mejorar así notoriamente su operación, puesto que, hace ya 20 años se ha dado una evolución rápida y sin precedente en la naturaleza de las empresas manufactureras.

Recientemente hemos palpado que los métodos tradicionales empleados, no son efectivos sino obsoletos, además de que los auxiliares modernos de la tecnología, han avanzado en forma tan acelerada, que ahora los clientes esperan resultados más **rápidos**;_agregando que la competencia se ha tomado cada vez más agresiva. Debido a estas expectativas, resultan inminentes nuevos métodos operativos, que permitan a la empresa capitalizar oportunidades.

El objetivo primordial será implementar el sistema tambor-cuerda-amortiguador (**D.B.R.**) para optimizar la operación.

La empresa motivo de este estudio se dedica actualmente a la fabricación de muebles y herrajes metálicos para tiendas departamentales y de autoservicio. En los últimos años esta empresa ha logrado un crecimiento sostenido, gracias a la diversificación de sus productos y a la apertura de nuevos mercados nacionales e internacionales, pero existen aspectos negativos que deben mejorarse a corto plazo hasta optimizarse a mediano plazo, evitando una desaparición gradual del mercado, dada la ya mencionada agresividad de la competencia nacional y la latente posibilidad de la aparición de las grandes empresas extranjeras, especialmente de alta calidad de los Estados Unidos o de China, por sus precios tan atractivos.

Actualmente se palpan en la empresa efectos indeseables, especialmente en la administración de la producción, como podrían ser: la programación ineficiente de tiempos de

producción para lograr la entrega puntual y cabal; lo que repercute en la casi imposibilidad de responder a demandas urgentes de los clientes, sin acelerar la producción cambiando prioridades.

A veces esta falta de precisión, origina faltantes de materiales o piezas en el último momento, o aun en la entrega final, con un costo importante de tiempo e imagen ante el cliente. Los sistemas actuales tampoco proveen inventarios de seguridad adecuados en el lugar y el momento requeridos. Finalmente los ciclos de producción son demasiado largos.

Se probará o defenderá la hipótesis de que la aplicación de la Teoría de Restricciones **T.O.C.** y la manufactura sincronizada mejorarían considerablemente el desempeño de la empresa.

Los objetivos intermedios para la realidad futura de la empresa se definen de la siguiente manera: cumplir con un índice muy elevado en las fechas de entrega, logrando asimismo responder con prontitud las demandas de la clientela; imponer un proceso de mejora continua en todas las deficiencias enumeradas anteriormente; crear la mentalidad de cambio de paradigma para lograr el éxito de la empresa a largo plazo, entendido como crecimiento, efectividad y mayores ganancias de tiempo, relaciones entre los elementos de la producción, que deberán naturalmente derivar en mayores ganancias.

Se pasará a describir el contenido de cada capítulo. En el capítulo 1 se encuentra la presentación concisa de la empresa con sus antecedentes, organigrama y explicación de los procesos productivos. En el capítulo 2 se pormenorizan los principales problemas detectados en la operación de la empresa. En los siguientes tres capítulos se detalla el tema de la Teoría de Restricciones **T.O.C.**, sus antecedentes; se reseña una breve semblanza de su creador el Dr. Eliyahu Goldratt; el proceso de pensamiento de **T.O.C.**; los principios fundamentales; los tipos de restricciones; los indicadores económicos de la Teoría de Restricciones y asimismo se puntualiza el sistema logístico de administración y control de la producción: Tambor – Cuerda – Amortiguador. En el capítulo 6 se desplegó un modelo computacional como auxiliar para

determinar los recursos con restricción de capacidad y el cuello de botella de la empresa. En el capítulo 7 se definen los puntos de mejora en la empresa, que se hacen precisos para la implementación exitosa del sistema **D.B.R.** Para terminar se exponen en el capítulo 8 los resultados obtenidos tras las reformas de **D.B.R.**

Capítulo 1

CAPÍTULO 1

1.1. Presentación de la empresa.

Nuestra planta, objeto de este trabajo, fabrica: muebles, exhibidores y herrajes para tiendas departamentales y de autoservicio. Es parte de un GRUPO, que ha logrado conjuntar, bajo un nombre, los diferentes elementos necesarios para proyectar, construir, decorar, amueblar y acondicionar una tienda nueva, así como renovar o mantener las existentes. Esto ha significado un servicio – poco frecuente en nuestro país – de realización plena de las expectativas, necesidades o deseos de un cliente, cuyo programa de expansión comercial existe sólo como idea.

El GRUPO tiene hasta hoy una enorme ventaja frente a los competidores, precisamente por lo antes detallado de llevar a cabo una idea, materializándola bajo su entera responsabilidad sin la problemática de la dependencia de una constructora, maquiladora, talleres, etc. Podríamos llamar a esta política: “ proyecto: llave en propia mano”.

El GRUPO empresarial consta de:

1. Una constructora, coordinadora de los proyectos, con una plantilla de ingeniería civil completa; es decir, ingenieros, arquitectos, dibujantes, así como maquinaria pesada manejada por obreros propios.
2. Una planta en Ontario, California, en los Estados Unidos de Norteamérica, dedicada exclusivamente al diseño y decoración de interiores. Aquí se coordinan los proyectos por realizarse en los Estados Unidos.
3. Tres talleres de carpintería con equipos de tecnología de punta como : sierras de control numérico, routers (fresadoras para madera), laminadoras y chapeadoras de cantos. Ahí se arman, se dan los acabados a los muebles de madera; se arman y se electrifican las vitrinas y el trabajo delicado para la

decoración de los interiores. Existe en ese grupo un lugar especializado de ebanistería, donde a mano se dan toques artísticos o de ornato.

4. Hace un par de años se fundó una filial en Santiago de Chile, que comercializa los productos para ese país sudamericano y recientemente hacia Argentina y Perú.
5. Dos bodegas de aproximadamente 3500 metros cuadrados en promedio de área construida en la zona conurbada al Distrito Federal, destinadas al almacenamiento de materia prima y producto terminado como catálogo de exhibición.
6. Como último renglón de este enlistado se encuentra la planta manufacturera del equipo metálico, que será la razón de este trabajo.

1.2. Antecedentes:

Como marco referencial ilustraré la situación actual de la empresa, dando un somero marco histórico.

La historia de la empresa se inició en 1978, cuando inició en Naucalpan, Estado de México, sus operaciones como un pequeño taller dedicado a la fabricación de herrajes como: cremalleras, ménsulas, ganchos, brazos colgadores, vitrinas y muebles exhibidores – racks - para prendas de ropa y sus accesorios.

En 1987 mudó su domicilio a Los Reyes La Paz, Estado de México. La nueva planta contaba entonces con un área de 1300 metros cuadrados. En los años ochenta, se consolidó su expansión de empresa reconocida y formal, que ofrecía productos de buena calidad además de ofrecer buen servicio a las principales cadenas de tiendas departamentales del país.

La favorable situación económica del país en el año de 1993 resultaba muy provechosa e interesante para las grandes cadenas norteamericanas de tiendas de autoservicio como inversión en nuestro país. Los dos consorcios más grandes buscaron una alianza con cadenas nacionales a fin de reducir y subsanar barreras de entrada y aprovechar de ese modo los canales de distribución ya establecidos. Ante la posibilidad de ser partícipes en este nuevo negocio, los accionistas y dirigentes de la empresa decidieron correr la aventura de fabricar la estantería para tiendas de autoservicio. En esos momentos resultaba un reto, debido a que no se contaba con la infraestructura necesaria para la fabricación de esa estantería y surgía la necesidad imperiosa de competir contra los fabricantes nacionales y contra la competencia de las grandes empresas norteamericanas dedicadas a ese ramo de reconocido prestigio por su calidad.

Al realizarse las primeras negociaciones con una cadena norteamericana en mayo de 1993, la Dirección de la empresa ofreció surtir la estantería completa para las dos primeras tiendas de la cadena en nuestro país. La fecha de entrega de las tiendas sería el mes de marzo de 1994. Es entonces cuando se inicia un proceso a marchas forzadas para conseguir la información y los recursos necesarios para fabricar el equipo de estantería; es decir, el diseño del producto; la elección de proveedores de materias primas; los posibles maquiladores; el diseño de los herramientas necesarios; la adquisición de la maquinaria especializada; la fabricación de herramientas especiales; la fabricación de prototipos; la elaboración de pruebas de resistencia y de carga sobre éstos; la fabricación e instalación del producto, todo esto en un periodo máximo de 10 meses para lograr cumplir con la fecha de entrega de las tiendas. Esta ardua labor se realizó con éxito y la empresa se consolidó como el principal proveedor de muebles para estantería -góndolas- de la cadena norteamericana.

Ante la expectativa de continuar con los proyectos de apertura de más tiendas de la cadena norteamericana o de cadenas nacionales, la Dirección de la empresa decidió invertir fuertemente en la compra de equipos nuevos y más espacios para incrementar la capacidad productiva reduciendo los tiempos de entrega del equipo entero de una tienda autoservicio, de 16 semanas a tan sólo cuatro semanas.

Actualmente la planta ya cuenta con un área de 5000 metros cuadrados de construcción con una distribución de planta tipo taller, es decir, la reunión de equipo por especialidad. La planta de personal presente consta de: un Director, tres ejecutivos y 18 empleados de mandos medios de confianza en los departamentos de Ventas, Producción, Ingeniería, Suministros, Almacenes y Administración, y 136 obreros de los cuales 123 son empleados con planta y 13 eventuales. La planta productiva trabaja en turnos de nueve horas; se inician labores a las 7:00 AM hasta las 16:30 PM, con un receso de 30 minutos para el almuerzo. Los departamentos de corte y troquelado laboran dos turnos cuando es requerido, dado el caso, sino se prolongan dos horas más por día y también 9 horas los sábados de 7:00 AM a las 16:00 PM, con un máximo de 17 horas extras por semana.

1.3. Organigrama

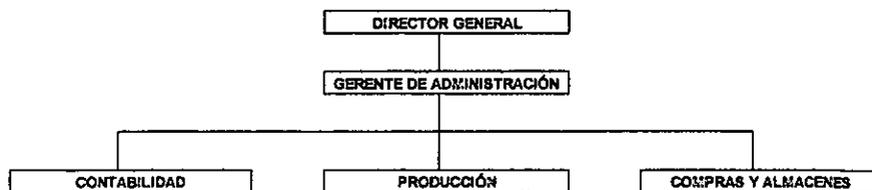


FIGURA 1.1. Organigrama.

Los procesos de manufactura que se realizan en la empresa y sus recursos son los siguientes:

1.4. Descripción de los procesos productivos.

1.4.1. Corte de materiales: Las principales materias primas son lámina en hoja de acero rolada en frío de diferentes calibres y dimensiones, lámina de acero inoxidable, lámina de latón, lámina de aluminio y lámina rolada en frío en cintas de diferentes anchos. En los perfiles tubulares se utilizan cuadrados, rectangulares y redondos en diferentes calibres, rolados en frío y también en caliente.

1.4.2. Troquelado de materiales: La empresa cuenta con una gama muy amplia de troqueles para ranurar lámina y tubo y para hacer operaciones de punzado y embutido. Se cuenta con ocho máquinas troqueladoras, cuyas capacidades van de 15 a 250 toneladas más un tren automático de corte y troquelado de lámina en cinta.

1.4.3. Operaciones de doblado de los materiales: La empresa cuenta con 2 dobladoras mecánicas de cortina de 12 pies de largo y 90 toneladas de capacidad, una dobladora hidráulica de cortina de 12 pies de 90 toneladas y una dobladora "folder" de 12 pies de largo con capacidad para llevar a cabo dobleces en lámina de calibre 26 a calibre 13 rolada en frío. Todas estas máquinas se encuentran agrupadas en un área y permiten concretar una gama muy amplia de dobleces.

1.4.4. Ensamble de las piezas: Durante el proceso de soldadura se ensamblan la mayoría de los productos. Actualmente se cuenta con cinco equipos de soldadura y representa el cuello de botella de la empresa, debido a que su capacidad productiva, es menor a la demanda. El ensamble se realiza con diferentes tipos de soldadura: soldadura eléctrica con electrodo, proceso TIG, proceso MIG, soldadura por resistencia eléctrica y autógena.

1.4.5. Pulido: Todos los productos, cuyo acabado sea níquel o cromo deberán pasar por el proceso de pulido, que es esencial para el buen acabado final de los productos. Debido a las características del trabajo, resulta una tarea problemática, sucia, peligrosa y muy crítica. El acabado final de los artículos y las condiciones tan demandantes de trabajo físico en este departamento, representan un alto porcentaje de la producción, que requiere pulido.

1.4.6. Cromado o niquelado: La empresa cuenta con una línea semiautomática de galvanoplastia para el acabado final de sus productos niquelados o cromados, sin embargo un 60% de la producción debe enviarse a maquilar.

1.4.7. Pintura electrostática en polvo y pintura líquida a base de solventes: En 1994 se adquirió en los Estados Unidos un tren de pintura en polvo para el acabado final de los productos, eliminando el proceso de aplicación de pintura líquida base solvente tan dañina al medio ambiente y que es más resistente, adherente y de mejor apariencia.

1.4.8. Empaque y entrega de pedidos.

1.4.9. Instalación: Surtir e instalar corresponden realmente al departamento de servicio al cliente.

1.5. Productos.

La empresa cuenta con un catálogo de productos en la línea de herrajes y exhibidores para ropa. Estos artículos se fabrican para mantener cierto nivel en el inventario de productos terminados, sin embargo la empresa trabaja preferentemente si no es que exclusivamente bajo pedido. Muchos de los productos se diseñan casuísticamente, por lo que exige de la empresa una respuesta rápida y diligente para cumplir.

Capítulo 2

CAPÍTULO 2

2.1. Detección de los problemas esenciales en la administración de la producción.

Hasta el año de 1993, la empresa se podía catalogar como un taller de grandes dimensiones. Contaba únicamente con 40 trabajadores y los recursos necesarios para la fabricación de los herrajes y muebles para tiendas departamentales, pero carecía de una planta de cromado para dar el acabado final a los productos, lo que significaba maquilar el 100%. La estructura organizacional en ese entonces era muy simple, es decir, una sola persona se responsabilizaba de la operación. El control y la planeación de la producción estaba a cargo de un ingeniero en el departamento de Producción, apoyado por dos “maestros de taller”. En ese entonces la capacidad de la empresa parecía adecuada para satisfacer la demanda, pero ya se empezaban a manifestar algunos problemas en la administración de la producción, como por ejemplo: a medida que se acercaban las fechas de entrega de los productos y aumentaba la presión, se necesitaba trabajar jornadas muy largas y ofrecer el trabajo a destajo a los trabajadores. Estas políticas incrementaban los costos de manera significativa.

A principios de 1993 la Dirección decidió invertir en un proyecto para instalar una planta de cromado y así reducir los costos provenientes de la maquila del acabado del producto. Se decidió también invertir en la compra de nuevos equipos y espacios para la manufactura del equipo de estantería para las tiendas de autoservicio.

En los años siguientes, la empresa tuvo un crecimiento rápido y sostenido. Las ventas, al igual que los proyectos de los clientes, crecían significativamente año tras año. A medida que aumentaba la demanda, se invertían más recursos para incrementar la capacidad de producción. Sin embargo la estructura y la administración de la empresa no crecían al mismo ritmo; se conservaba el lastre de una estructura muy elemental. Las

carencias tanto en la operación como en la administración empezaron a revelarse claramente.

Aquí sería oportuno describir la realidad de la empresa durante esa primera etapa. El entonces “taller” carecía en un 90% de clientes propios, así que era una mera filial del GRUPO, que era el que ganaba los clientes; construía las tiendas; decoraba para que esta parte de la empresa los alimentara con: herrajes, muebles exhibidores para ropa y partes metálicas pequeñas, si no insignificantes para el monto de las ganancias del GRUPO.

Al crecer el “taller”, como ya se ha dicho, su nueva capacidad de producción demandaba más supervisión, planeación y control en sus operaciones cuestionable, sin embargo, el hecho de que la estructura no creciera al mismo ritmo, daba un resultado de operación ineficiente. La cantidad de problemas que se generaron entonces por la falta de visión a largo plazo, provoca actualmente efectos nocivos e indeseables en la administración de la producción.

2.2. Situación actual.

La empresa trabaja generalmente bajo pedido; cuenta con un catálogo de muebles y herrajes de línea y con los recursos para fabricar una gama muy amplia de productos con diseño especial. Un porcentaje alto de la producción lo constituye precisamente la fabricación de muebles y herrajes diseñados para cada proyecto o cliente. Estos productos se fabrican una sola vez o en ocasiones muy esporádicamente, y son en su mayoría de bajo volumen. La fabricación de estos productos requiere un estudio más detenido de ingeniería, esto es, es necesario calcular los desarrollos de los cortes, troquelado y doblaje; realizar alguna muestra prototipo, verificarla y posteriormente si ésta parece correcta, se procede a su fabricación. Si se trata de un

trabajo nuevo que requiera algún ensamble complicado, se debe construir un escantillón o plantilla especial para su armado, simplificando después el trabajo.

El diseño, la realización, la comprobación y la realización de esos ensamblajes complicados lo realiza una sola persona, quien invierte tanto tiempo en ello, que el ciclo de producción se alarga y bloquea a ese individuo para realizar otros trabajos en serie. Ambas tareas requerían tiempo y cuestan dinero a la producción ya que la curva de aprendizaje se inicia desde cero.

Esta característica o habilidad para desarrollar productos de diseño especial con tiempos de respuesta rápidos, ha sido sin embargo muy provechosa para la empresa, pues la ganancia es alta y permite competir muy ventajosamente contra otros fabricantes. Es importante mencionar que la planeación y programación de estos artículos se tiene que realizar con mucho cuidado para cumplir con las fechas de entrega, tomando en cuenta que su fabricación ocupa un porcentaje mayor de la capacidad de los recursos productivos, que los artículos del catálogo.

La ingeniería de artículos especiales y de catálogo estaba a cargo de un jefe de producción. Dicho jefe de producción descuidaba sus demás actividades como control de piso, supervisión, elaboración y seguimiento del programa de producción, etc., ante la demanda de tiempo de dichos artículos especiales.

La actividad de elaborar un programa de producción y difundirlo a los supervisores en planta no se efectuaba de manera continua. El jefe de producción era la única persona que estimaba la secuencia en la que se tenían que fabricar las órdenes de trabajo y dirigía todo el taller.

Al iniciar los proyectos de tiendas de autoservicio, la Dirección se percató que era imperativo hacer crecer la estructura organizacional y crear los departamentos propios de una industria manufacturera como son: Planeación, Producción, Control de

Calidad, Ingeniería, etc. El crecimiento en la demanda forzó una ampliación directa de la planta; lamentablemente el crecimiento no se dio en el operativo, sino que este renglón continuó como se había comportado en épocas de producción 4 ó 5 veces menor.

2.3. Consecuencias negativas en el proceso actual.

2.3.1. Descripción del proceso productivo:

La fabricación de los productos se inicia en los departamentos de corte de lámina y tubo, ahí se habilitan los materiales que componen los productos. Esta operación es importante ya que cualquier error en las medidas de los cortes implicaría un re-proceso, o inclusive la pérdida total de la materia prima. En el caso de la lámina, se corta la hoja en tiras o láminas en la cizalla de 12 pies de largo; posteriormente se corta a las dimensiones correctas en cizallas de 4 pies de largo. Cuando se finalizan las operaciones de corte, el material pasa al siguiente proceso de troquelado.

En el departamento de troqueles nos topamos con el problema de la carencia de un espacio para colocar el producto en proceso, en un solo lugar y de manera ordenada. Algunas piezas o materiales se pierden o se dañan tan sólo en su manejo y se pueden encontrar materiales de un mismo lote en más de un solo lugar, lo que dificulta naturalmente rastrear los materiales, causando problemas como faltantes.

La empresa cuenta con una gama muy extensa de herramientas para troquelar y ranurar lámina y perfiles tubulares. En este departamento importan mucho la supervisión y el seguimiento de los materiales. Éstos pasan mucho tiempo en espera de ser troquelados, debido a que los operadores están acostumbrados a la fabricación de lotes grandes de producción para reducir los cambios de troqueles y las máquinas no se encuentran disponibles para fabricar órdenes pequeñas con fechas inminentes de

entrega. Aquí se genera otra falla cuando los operadores de este departamento no conocen las prioridades debido a la carencia de un programa de producción y fabrican a discreción las órdenes más sencillas primero, desconociendo las fechas de entrega de los demás productos.

Los procesos de troquelado no están bien controlados por el supervisor, y los operadores no están suficientemente capacitados para operar las máquinas y ajustar las herramientas. Se utiliza mucho material para el ajuste de la maquinaria y de la herramienta; estas pruebas se desechan, causando desperdicio, y por ende, pérdidas en los lotes. Los operadores no reportan al supervisor las piezas dañadas o defectuosas por temor a las amonestaciones; así las órdenes de trabajo comienzan a manifestar faltantes, y con frecuencia no se cuentan con exactitud las piezas que conforman cada lote.

A cada supervisor se le entrega una copia del reporte de producción. Este reporte tiene información con la siguiente secuencia: fecha de aceptación de la orden de fabricación o pedido, número de orden de fabricación o pedido, número de orden de trabajo, cantidad, descripción del artículo, avance en la producción, fecha de entrega, cliente y referencia. La información de este reporte es ordenada cronológicamente según esa orden de trabajo. La instrucción por parte del jefe de producción para los supervisores era por lo tanto trabajar las órdenes de trabajo con la política de primeras entradas, primeras salidas, etc. Esta política no es la más ágil, debido a que no se establecían las prioridades de acuerdo a las fechas de entrega de los clientes ni de acuerdo a la disponibilidad de los recursos de materiales y equipos. Al no existir un programa de producción detallado, los supervisores esperaban recibir las indicaciones por parte del Jefe de Producción, quién les entregaba solamente ese reporte de producción como auxiliar.

Al terminar el proceso de troquelado, las piezas pasan al dobléz. En este departamento se llevan a cabo las operaciones de dobléz, donde reciben tratamientos como dobléz a 90 grados, embutido y planchados, etc.

En el área de corte de tubo se cortan los perfiles tubulares, según las medidas requeridas; se limpia el material remanente del corte con lijas de banda o con limas. En ocasiones se lavan los tubos antes de pasar al siguiente proceso, retirando el exceso de aceite o grasa. Este material puede pasar al área de troqueles, donde se realizan operaciones de ranurado o directamente al departamento de soldadura para su ensamble. Al igual que en el área de troquelado, en este departamento se repite el problema de carencia de un espacio definido para colocar el producto en proceso. El material de una misma orden de trabajo se encuentra frecuentemente en más de un solo lugar y muy disperso. Los operadores con frecuencia cometen errores al identificar los lotes. No se cuenta con un formato o tarjeta viajera para identificar los lotes de cada proceso.

Al llegar al proceso de ensamble, en el departamento de soldadura se vuelve muy crítico el cuello de botella de la empresa, es decir, es el recurso que carece de la capacidad necesaria para satisfacer la demanda. Aquí se observa que frecuentemente se detiene el trabajo durante tiempos muy largos por falta de material, debido a que los lotes de partes no llegan sincronizados a este departamento. Los materiales provenientes del corte de tubo, troqueles o dobléz necesarios para el armado no se encuentran listos, al momento en que se debe iniciar el trabajo de este departamento. Los supervisores inician un trabajo y no lo pueden terminar por falta de material. El control de la producción y el seguimiento de las órdenes se complica mucho por las frecuentes interrupciones de la producción y cambios de trabajo, obligados por esas carencias en los materiales para el ensamble. El material de un mismo pedido se puede encontrar en diferentes lugares al mismo tiempo. Cuando se reporta un faltante, éste se corta y se

procesa inmediatamente para no detener la orden y posteriormente puede aparecer ese material que estaba “escondido” o “perdido” en algún lugar de la planta, convirtiéndose en pérdida. Los supervisores reaccionan molestos ante estas situaciones y el jefe de producción necesita mediar entre ellos. Al permanecer tanto tiempo los materiales en espera de ser procesados, aumentan los niveles de inventario en proceso y se reduce el espacio libre para operar en condiciones bajo la norma de seguridad.

El proceso, que a continuación se explica, puede considerarse como uno de los grandes problemas derivados de la falta de planeación adecuada, eficaz y segura, porque detectamos que esa elaboración de órdenes de trabajo proviene de los pedidos u órdenes de fabricación de la empresa filial del GRUPO, encargada de la decoración de interiores que se realiza con el siguiente procedimiento de bajísima efectividad.

Las órdenes de fabricación se reciben junto con un juego de dibujos o planos de los productos. El jefe de producción recibe la información y elabora la orden de trabajo. Las órdenes llevan cuatro copias: original para la Administración, una copia para Producción, dos copias para el piso de producción y una para el Almacén. Las dos copias para el piso de producción son la única información, además del reporte de producción, que tienen los supervisores. Una copia se utiliza durante las operaciones de corte de lámina, troquelado y dobléz; la otra copia se entrega al supervisor de corte de tubo, quien a su vez la entrega al departamento de soldadura al terminar el proceso en su departamento. La orden de trabajo se debe entregar junto con el lote completo al siguiente supervisor, quien verificará el material correcto y completo. El problema de seguimiento y rastreo aparece cuando se dividen los lotes de un mismo pedido y se entregan a la siguiente operación en forma parcial. Se cometen muchos errores en los procesos posteriores al de soldadura por esa falta de información y seguimiento de los lotes; las dos copias de las órdenes se pierden o las conservan los supervisores de

soldadura y troquelado para elaborar los reportes de materiales y mano de obra que significan la única prueba del trabajo realizado por estos operarios; obviamente ese interés personal lleva a que no las transfieran a los supervisores de los procesos posteriores como son: pulido, cromado y pintura.

La capacidad del departamento de Pulido resulta también insuficiente, debido al ingreso de piezas de diferentes órdenes de trabajo mezcladas, lo que lleva a problemas de ineficiencia que pueden subsanarse, como en algunos casos, por medio de la maquila. El control de los productos entregados a los subcontratistas maquiladores de pulido y cromado crea mucha confusión. El seguimiento de salidas y entradas de maquila es deficiente, no se identifica correctamente el producto por su número de orden de trabajo ni se cuentan bien las piezas al momento de realizar la salida de fábrica. Un alto porcentaje de piezas de maquila es rechazado debido a que no pasa el control de calidad. El material de re-proceso tarda mucho tiempo en regresar de la maquila, debido a que por el proceso de galvanoplastia en sí, es necesario volver a pulir la pieza para retirar completamente el depósito de cromo y níquel hasta el material base antes de procesar las piezas de nuevo. Los maquiladores pierden muchas piezas, que la empresa tiene que fabricar de nuevo, bajo la presión de la fecha inminente de entrega. Detectado este grave problema por la pérdida de tiempo y dinero. La solución sería eliminar totalmente la maquila en esta parte del proceso de producción.

Las demás áreas de trabajo presentan problemas similares; los supervisores desconocen la secuencia del trabajo al no llegar sincronizados los materiales; éstos llegan a empaque incompletos y no se les da el debido seguimiento, dando como resultado que no se cumplan las fechas de entrega prometidas de esos pedidos, cayendo el nivel de servicio.

La empresa maneja la política de entregas parciales en situaciones muy comprometidas con los clientes que después ocasionan muchos problemas debido a la falta de seguimiento de los pedidos. La empresa notaba que no entregaba completo cuando el cliente hablaba preguntando por los productos restantes o faltantes y hasta ese momento, se iniciaba la búsqueda del material o se fabricaba con urgencia.

Estos problemas, como trataré de demostrar, son tan sólo síntomas de un problema medular a resolver, que es la falta de un sistema o método eficaz para la administración de la producción, que mejore radicalmente y a corto plazo el desempeño global de la empresa.

Aunque estas carencias se allanaran, todavía quedarían por realizar cambios de mejora en la planeación de la producción de los proyectos controlados desde la oficina central del GRUPO.

Algunos efectos negativos que se observan en la coordinación de los proyectos con la empresa decoradora de interiores del GRUPO son los siguientes:

La empresa carece de una visión global del trabajo para un proyecto de tienda departamental. La planeación de los proyectos se realiza desde las oficinas centrales. Para la decoración de los interiores de una tienda se forma un equipo con un líder de proyecto a la cabeza. Este equipo, que denominaremos IDI, es el responsable de contabilizar todos los materiales y solicitarlos al departamento de compras; coordinar los avances de las obras; dibujar los muebles y accesorios de madera y metal; elaborar las órdenes de fabricación para los talleres de carpintería, para subcontratistas y para la empresa, así como la liberación para producción. Esta tarea esencial de liberación de las órdenes de fabricación debe ser oportuna y sincronizada para cumplir con las fechas de entrega. La empresa provee de herrajes a los diferentes talleres y subcontratistas para el armado o acabado final de muebles. Las fechas de entrega de los herrajes y muebles las

determina IDI. La puntualidad es fundamental para cumplir y para no detener los trabajos en los diferentes talleres de carpintería. Existen continuos reclamos por parte de los talleres hacia la empresa por la falta de herrajes. En muchas ocasiones esto se debe a que IDI no elaboró a tiempo la orden de fabricación o determinó una fecha de entrega imposible para los herrajes, debido a la carga de trabajo de la empresa.

Capítulo 3

CAPÍTULO 3

3.1. Introducción al sistema.

3.1.1. Antecedentes.

Durante las pasadas dos décadas hemos sido testigos de una evolución rápida y sin precedente en la naturaleza de las empresas manufactureras, gracias al avance de la tecnología, la computación y hasta la robótica. La tecnología ha avanzado a pasos agigantados y las expectativas de los clientes se han incrementado dramáticamente también en cuanto a la calidad, rapidez y precio. La competencia de mercados se ha tornado extremadamente agresiva. Nuestras experiencias recientes han demostrado claramente que los métodos tradicionales, empleados por la mayoría de los gerentes, para administrar sus organizaciones ya no son efectivos en el ambiente globalizado actual. Es urgente encontrar nuevos métodos operativos, que permitan a las organizaciones, capitalizar las oportunidades, que se presenten en el tan revolucionado ambiente manufacturero.

La historia nos ha mostrado buenas lecciones si tan sólo nos pudiéramos dar el tiempo necesario para la reflexión.

Hace más de 75 años, Henry Ford nos demostró cómo preparar y operar una planta manufacturera de operación sincronizada. Henry Ford comprendió claramente la importancia de mantener un flujo de producción sincronizado; la importancia de eliminar hasta lo posible el desperdicio, definido éste, como cualquier cosa que en el ambiente manufacturero aparezca en exceso, así sea la mínima cantidad de materiales, partes, equipo, facilidades, mano de obra o tiempo esenciales para producir y entregar el producto o servicio al cliente. Henry Ford fue un convencido de la importancia del mantenimiento preventivo a todos los equipos; de la necesidad de un buen control de

materiales; del papel de la calidad e inspección en los procesos y del papel de la mano de obra efectiva.

Ford concentró sus esfuerzos en eliminar el desperdicio de todos los aspectos de la operación. El flujo completo de producción, desde las materias primas, hasta el producto terminado debía ser recto, lineal. Instituyó sistemas estrictos y precisos para la planeación y control de los materiales y desarrolló procedimientos para minimizar la cantidad de movimientos innecesarios de los materiales y procedimientos, así como el tiempo perdido en la producción. En sus plantas se realizaban programas continuos de mantenimiento preventivo a todos los equipos y se llevaban a cabo inspecciones en cada etapa del proceso productivo para garantizar la fabricación de productos de excelente calidad. Los trabajadores realizaban sólo el trabajo que les correspondía y que se encontraba en sus estaciones de trabajo en las líneas de ensamble. Aquí es muy importante mencionar que el indicador de rendimiento de los trabajadores no partía de su eficiencia individual sino del desempeño global dentro del sistema.

Henry Ford fue sin duda una persona con una gran percepción y visión. Logró establecer un sistema de manufactura en el cual, los materiales y partes componentes se debían encontrar en el lugar adecuado, en el tiempo justo y en las cantidades correctas, para eliminar cualquier desperdicio.

Como conclusión del modelo de Henry Ford, podemos decir que la clave para la eliminación de desperdicio en una planta manufacturera se encuentra en la habilidad para desarrollar y mantener un flujo sincronizado de materiales y productos en la planta, y entregar los productos de acuerdo a su demanda. El grado al cual se pueda sincronizar el flujo de materiales y productos determina el punto en donde, se pueda eliminar el desperdicio para lograr un estado de equilibrio donde la planta pueda ser competitiva en el mercado.

¿ Qué ha sucedido desde entonces, que hizo fallar el sistema de Henry Ford?

Hace más de 75 años Henry Ford demostró cómo levantar y administrar una planta sincronizada. Muchas compañías alrededor del mundo, representantes de una gran variedad de industrias, aprendieron muchas lecciones valiosas de Henry Ford.

La devastación que causó la Segunda Guerra Mundial tanto en Japón como en Europa y otros lugares, se podía palpar con precisión en la desaparición casi total de la industria manufacturera. En el caso de Europa, la industria no solamente desapareció, sino que resultaba obsoleta en el mundo de la reconstrucción, sin ignorar la falta de recursos para echar a andar una nueva, más adecuada, a los tiempos por venir. La industria en Estados Unidos de Norteamérica, no sólo no había sufrido daño alguno, sino que ahora se abría, como triunfadora, hacia un nuevo horizonte de progreso y desarrollo muy rápido, pues los mercados y la necesidad de productos manufacturados eran suyos.

Todo el mundo demandaba más producción, así que había que crecer en capacidad en toda la nación, mientras la competencia extranjera permaneciera insignificante. Curiosamente, esas condiciones provechosas sacaron de la realidad a las empresas, pues su ventaja era tal, frente al extranjero, que no pusieron atención en mejorar la eficiencia e inclusive, empezaron a manifestarse políticas administrativas, que chocaban con su principal meta de ganar más dinero. Pareciera que en el caso de muchas empresas, el interés se concentraba en dominar mercados y satisfacer la demanda, sin un sistema provechoso a largo plazo. Los costos de producción no jugaban un papel relevante puesto que la clientela pagaría cualquier precio, por la falta de oferta y la industria no tenía límites en los incrementos de sus costos, que al fin y al cabo pagarían los consumidores.

Al mismo tiempo, aquellas industrias transitoriamente muertas, empezaron a resurgir con tal capacidad de manufactura, que empezaron a desarrollar una posición firme e importante, con una obvia presencia competitiva.

Cuando la industria norteamericana se apercibió de este peligro en los mercados, se volvió dependiente de sus sistemas de control de costos; y para mantener una eficiencia alta, volcó su atención sobre la vigilancia puntual de cada una de las etapas de la producción para conservar su posición anterior en el mercado y ahora conservarla por medio de la competitividad.

Las grandes empresas de Estados Unidos de Norteamérica crecieron desmesuradamente y su estructura cayó en un gigantismo, no sólo de operación compleja, sino de una visión interna inadecuada por su inexactitud o porque sus gerentes administrativos, sin ningún conocimiento de causa y desde arriba, tomaban decisiones sobre los problemas operativos por medio de sus sistemas de información de costos.

Hoy, ya se puede ver que los sistemas de contabilidad de costos son inapropiados y llevan a tomas de decisión radicales y desafortunadas. Desde entonces, los sistemas de contabilidad de costos han demostrado ser un sistema del pasado, desgastado, que produce efectos indeseables derivados de sistemas de información, creados para los requerimientos de los reportes financieros de las empresas.

Esto último significa que la información requerida para elaborar reportes financieros externos tiene poco o nada que ver con la información básica en la toma de decisiones operativas internas. Este sistema inadecuado de información de costos, ha sufrido cambios, que se han desarrollado en lo que en la actualidad se conoce como sistema estándar de contabilidad de costos.

Esta etapa, que causó grandes problemas a la industria norteamericana, derivados del sistema de contabilidad de costos, los sistemas de administración del trabajo y del flujo de producción, fueron alejando a la industria manufacturera cada vez más de los principios desarrollados y probados exitosamente por Henry Ford.

Los gerentes administrativos de grandes empresas norteamericanas con operación muy compleja, dependían de sus sistemas de información de costos para tomar decisiones correctas a problemas operativos críticos. Desafortunadamente, los sistemas de contabilidad de costos resultan inadecuados como soporte en la toma de decisiones internas, esto es, la mayoría de los sistemas de contabilidad de costos han sido un reflejo del concepto pasado, derivados de los sistemas de información establecidos para requerimientos en la elaboración de reportes financieros de las empresas.

La falta de visión, o mejor dicho, la nula reflexión a futuro de muchas empresas norteamericanas fue otra causa, que propició su decadencia e inclusive su desaparición.

Esta falta de reflexión, al proponer decisiones y estrategias que pudieran incrementar la productividad, calidad o servicio, tuvieron como resultado que la competencia extranjera sí buscara incrementar su participación en el mercado, ¿cómo?: mejorando la productividad y presentando precios competitivos.

En los años cincuenta, el sistema de producción en masa y grandes tamaños de lotes, quedaron obsoletos debido a los cambios, que presentaba la competencia mundial de empresas de primer nivel, los avances vertiginosos de la tecnología y la creación de nuevos sistemas de administración con estrategias propias de manufactura.

En los años sesenta, muchas corporaciones norteamericanas se vieron forzadas a cambiar de giro, orientándose meramente al servicio o la distribución. Este fenómeno ya no era un síntoma, sino había dado como resultado una ley de causa y efecto.

La premisa número uno había sido la falta de visión a largo plazo; el sistema inadecuado de toma de decisiones primordialmente basados en los costos de producción, así como una segunda premisa podría ser la falta de un sistema apropiado en las decisiones.

El resultado lógico es el antes mencionado con la consecuente ventaja para la competencia extranjera.

Otro resultado negativo, muy grave, fue la pérdida de muchas fuentes de trabajo, pues la situación hacía incosteable el alto costo de la mano de obra norteamericana. Ante una crisis tan profunda, Estados Unidos de Norteamérica tuvo que exportar alta tecnología, que resultó crucial para la modernización de muchos países del oriente, quienes a corto plazo empezaron a venderle a Estados Unidos partes componentes a precios muy accesibles.

Para 1970, ya era clara la amenaza a la supremacía de Estados Unidos en la manufactura de productos por países encabezados por Japón. Esta caída duró más de veinte años en que se logró nivelar la situación, gracias a que finalmente las empresas norteamericanas crearon nuevos sistemas logísticos y se concentraron en el flujo de la producción.

Los cambios que se habían ido presentando en los últimos cuarenta años en la industria manufacturera y las estrategias de las empresas se condensaban en: cómo hacer más. Cómo bajar los precios. Cómo hacerlo mejor. El primer cuestionamiento nos lleva a la base de la época de la posguerra, de 1950 hasta 1970, donde la segunda y tercera preguntas fueron esenciales.

El cómo hacerlo mejor era la preocupación y reto en los años ochenta.

En la década de los ochenta, un nuevo sistema de manufactura dio un cambio dramático a la industria; podríamos decir, casi de ciencia ficción. Así parecía la entrada

de las computadoras, que llevaban el control de los procesos de manufactura y los sistemas de información.

Para la década de los noventa, el reto ha sido la velocidad. Cómo hacerlo más rápido, lo que no significaba de ninguna manera olvidar cómo, hacer más, hacerlo a menor costo y mejor.

En estos tiempos se han reunido esos cuestionamientos con la importancia que merecen, pero se ha agregado un primer lugar a la demanda de los clientes de exactitud y prontitud en la entrega.

En el siglo XIX surgió la primera revolución industrial con las primeras máquinas, o mejor dicho, con la rapidez que daba el vapor; se crearon fábricas y comenzaron los movimientos de migración de los agricultores a las ciudades industriales.

La segunda revolución industrial se refiere a la época de Henry Ford, de quien hablamos en líneas anteriores, cuyo concepto de líneas de ensamble y producción en masa, dieron todo un sello o característica a una gran parte del siglo veinte.

El final del siglo presenta una nueva era para la industria manufacturera, que bien puede considerarse como una tercera revolución industrial.

En capítulos posteriores desarrollaremos la Teoría de Restricciones T.O.C. , que en esta última década del siglo veinte busca un análisis preciso de la organización como unidad, pero en cada paso del proceso también, hasta determinar dónde está el problema medular, que limita el éxito de la empresa. Al encontrar la falla debe solucionarla, dando un modelo para llegar a la mejora continua. Veremos asimismo, cómo la T.O.C. puede ser un paso hacia adelante, si pensamos en sistemas anteriores muy populares como “Just In Time”, acogido por los japoneses y llevado a su máxima expresión. Otro sistema fue MRP – Planeación de los Requerimientos de Materiales -, que desde los

años setenta utilizó las computadoras en la planeación y control de la producción. Después del MRP surgió otro sistema denominado MRP II - Planeación de los Recursos de Manufactura-, y TQM – Administración Total de la Calidad -, por mencionar algunos sistemas de manufactura desarrollados en los últimos años.

Es muy probable que en el siglo veintiuno también la Teoría de Restricciones T.O.C. se modifique o sea mejorado por otros, sin embargo veremos que actualmente propone soluciones viables y lógicas para industrias con problemas de los explicados en el capítulo II por la empresa, que justifica este trabajo.

3.2 Breve semblanza del Dr. Eliyahu Moshe Goldratt.

El Dr. Goldratt, autor del libro La Meta, un proceso de mejora continua y del programa Optimized Production Technology O.P.T., es uno de los hombres que han hecho posible en este momento, el milagro de llevar a la manufactura, el mundo casi de ciencia ficción de la computación.

El Dr. Goldratt pertenece a los primeros nombres importantes del nuevo Estado de Israel. Nació en Israel en 1948 y obtuvo los títulos de Físico y Matemático. Aunque Físico Matemático de profesión, su obra abarca muchos campos más, ya que su creatividad ha dado resultados en el ámbito de la educación. Es un innovador, además de un gran científico en el campo de las ciencias, la Física y las Matemáticas por supuesto, pero también de la Química y la Biofísica. Destacado escritor, su mente lógica y acostumbrada a la exactitud, lo introdujo en el campo de la Filosofía. Esta versatilidad aparente tiene una conexión muy clara entre el pensamiento, la lógica y la ciencia, pero fuera de estas posibilidades en las que su desarrollo había sido avalado por el estudio, el Dr. Goldratt se abrió más el abanico de caminos y metas al incursionar exitosamente como empresario y alcanzar el liderazgo.

En los años setenta, el Dr. Goldratt tuvo la oportunidad de asociarse con tres connacionales para desarrollar una herramienta computacional con miras a la programación de la producción, pero esta empresa por decirlo de alguna manera, se adelantó un poco a su época y no fue recibida, ni comprendida, con el éxito que él había esperado. De estos primeros intentos surgieron las bases o principios, que después desarrollaría para su Teoría de Restricciones T.O.C. El algoritmo¹ creado por él, entendiendo este concepto, como una serie de instrucciones para una metodología de planeación o programación en la producción, no fue apreciado, como ya se dijo, pero unos ingleses visionarios se lo compraron antes de que esa incipiente empresa quebrara.

En el mencionado algoritmo para el programa de planeación de la producción, el Dr. Goldratt consideraba la capacidad limitada de los recursos y sus principios provienen del concepto de acrecentar y empujar la eficiencia contra los bloqueos productores de cuellos de botella. Aquel programa se llamó **Optimized Production Timetables, O.P.T.**

Sus ideas y conceptos vertidos en este algoritmo resultaban hasta escandalosos por lo novedosos, cuestión explicable si pensamos que en 1979 habían llegado a su apogeo sistemas como el MRP -Planeación de los Requerimientos de Materiales-, así como el uso de las computadoras como meros auxiliares para la producción.

La esencia del O.P.T. radicaba en la planeación de la producción por computadora. Si el principal interés del O.P.T. era la planeación, podríamos decir que los principios y conceptos de T.O.C. yacían en una primera etapa y les faltaba un desarrollo amplio todavía.

¹ Algoritmo es un conjunto finito de instrucciones con un orden establecido, que sirven para realizar una tarea particular.

En los años siguientes, el Dr. Goldratt desarrolló trascendentalmente sus ideas fundamentales para la teoría y fue creando nuevas y evolucionadas versiones del programa O.P.T.

En 1982, el Dr. Goldratt decidió nombrar a la versión vigente de su programa **Optimized Production Technology**, nombre con el cual lograba conservar las mismas iniciales, ya conocidas, O.P.T.

El propio Dr. Goldratt se tuvo que convencer de que la planeación de la producción con la ayuda de un software se aplicaba tan sólo a un pequeño punto de una línea mucho mayor y problemática, que se puede traducir como la de administrar exitosamente una organización.

Su famoso libro La Meta, un proceso de mejora continua se publicó en 1984, en donde ya se presentaban los principios globales sobre manufactura, partiendo de la historia, aplicando la lógica para poder responder a la pregunta: ¿ qué estamos haciendo mal ?

La respuesta a la pregunta llegó casi naturalmente, como un proceso lógico, cuando los capitanes de muchas empresas leyeron La Meta y pudieron tomar conciencia de que los problemas analizados por el Dr. Goldratt parecían meros símiles de sus empresas. Éstos aplicaron las investigaciones y conclusiones del libro a su problemática con la sorpresa de que esta implementación consolidaba el éxito.

El Dr. Goldratt se basó en las investigaciones de esas manufactureras, que ahora lograban el éxito para apuntar tres conclusiones:

1. La necesidad real de proveer a las empresas de algún sistema que las encaminara a un proceso de mejora continua.
2. Formular una teoría de operación eficiente.

3. Reconocer y tener claro, que para la mayoría de las empresas el programa de producción, subordinado al recurso con restricción de capacidad, puede ser un cuello de botella. Los esfuerzos deben encaminarse para administrar al 100% la capacidad del recurso con restricción de capacidad.

Más adelante se aclarará ampliamente por qué puede ser un cuello de botella, sin deber serlo necesariamente.

En 1986, el Dr. Goldratt publicó una segunda edición de La Meta corregida y mejorada, pues ya incorporaba su concepto de la mejora continua.

Goldratt había dedicado sus esfuerzos a la creación de una teoría general realista, que permitiera a los gerentes administrar eficientemente sus empresas. Fue a principios de 1987 que esta teoría adoptó el nombre de Teoría de Restricciones.

Un año antes, en 1986, el Dr. Goldratt había fundado en New Haven, Connecticut, el Avraham Y. Institute, en honor a su padre, quien había fungido como miembro del Primer Parlamento Israelí. Esta institución ha tenido como propósito y meta, generar y propagar el conocimiento de T.O.C. El resultado de este propósito son las agencias por franquicia fundadas por todo el mundo.

Actualmente todas ellas funcionan a pesar de que el Dr. Goldratt se haya retirado del Instituto en 1997, para seguir promoviendo los principios de T.O.C. alrededor del mundo. En la actualidad existen oficinas en Australia, España, Brasil, Hong Kong, Holanda, Inglaterra, Israel, Sudáfrica y México.

Capítulo 4

CAPÍTULO 4

4.1 Carácter de la Teoría de Restricciones.

La Teoría de Restricciones, conocida por sus siglas T.O.C., consiste en una filosofía administrativa, creada y desarrollada, como se ha venido diciendo por el Dr. Eliyahu M. Goldratt. Al hablar en la semblanza del autor sobre sus estudios, nos hicimos un retrato mental de su concepto lógico y matemático de lo que debe ser el funcionamiento de una empresa. Se explicó cómo su obra no solamente es teórica, sino práctica, porque él mismo puso en práctica las teorías, que iba desarrollando.

Así pues, la teoría final del Dr. Eliyahu Goldratt parte de una hipótesis, que sostiene que cualquier sistema en organizaciones tiene al menos una restricción. Dicho obstáculo impide a las empresas crecer y ganar hasta el infinito, pues cuando menos existe una limitante para ese desarrollo.

Podríamos preguntarnos qué entendemos por restricción y la respuesta del Dr. Goldratt define la restricción como: cualquier cosa que limite un sistema para lograr un mejor desempeño contra su meta. El autor no sólo ha explicado lo que es una restricción, sino que ha desarrollado un sistema, que explica los diferentes tipos que existen y pudieran presentarse en las organizaciones. Esta clasificación de las restricciones se explicará a detalle más adelante.

Hemos presentado la hipótesis de la que partió el autor para definir su teoría en tres partes.

La primera parte de la teoría habla de un proceso mental por medio del cual, al reflexionar en la realidad de la empresa, se toma conciencia de su situación y por lo tanto de los problemas, que impiden un desarrollo óptimo de la empresa.

4.2. El proceso mental de T.O.C.

El proceso mental se pensó para contestar lógica y sistemáticamente las tres preguntas esenciales para llegar a cualquier proceso de mejora:

1. Al haber logrado conciencia plena de la situación, el primer paso sería contestar a :
¿qué cambiar?
2. La siguiente pregunta sería ¿hacia dónde cambiar?, y por último
3. ¿Cómo llevar a cabo ese cambio?

¿Qué cambiar? La primera de estas tres preguntas esenciales debe referirse a la identificación plena del problema medular, que se ha ido desarrollando; que limita el éxito de la organización. Si ya se ha logrado identificar el problema medular, el siguiente paso sería conocer su origen o causalidad y ya estaríamos en condiciones de preguntarnos hacia dónde queremos cambiar. La respuesta a esta pregunta la debemos encontrar y desarrollar pragmáticamente con alguna solución simple del problema. Debemos considerar el hecho de que las ideas no son soluciones, hasta que se vuelven realidad al ser implementadas. Así pues, aquí es fundamental la respuesta a la tercera pregunta de: ¿Cómo llevar a cabo ese cambio induciendo dentro de la empresa al grupo de gente idóneo para inventar las soluciones viables, que lleven a la meta?

En las organizaciones se presenta el fenómeno de la resistencia al cambio. Si tenemos éxito al contestar la pregunta ¿qué cambiar y hacia dónde cambiar?, existe una enorme dificultad inherente a cómo llevar a cabo ese cambio. La teoría T.O.C. trata de solucionar este fenómeno con una estrategia adecuada para vencer las “seis etapas de resistencia al cambio”. En esencia este principio dice que, tener una solución sin el consenso general del problema no sirve para ningún propósito. Tener una solución sin

las habilidades para lograr cambios significativos es un ejercicio en vano. Al vencer las seis etapas en sucesión, una persona es capaz de alcanzar el éxito al:

1. Lograr el consenso general sobre la causa del problema.
2. Lograr el consenso general sobre la solución al problema.
3. Contar con el consenso general de que la solución efectivamente resolverá el problema y se obtendrán los resultados esperados.
4. Lograr la participación de las demás personas para desarrollar una solución completa a través de su colaboración activa.
5. Desarrollar un plan de implementación para que la solución sea una realidad.
6. Sobrellevar los temores de la gente a hacer cambios importantes.

La segunda parte esencial de T.O.C. la constituye un conjunto de herramientas administrativas, desarrolladas a partir del proceso mental, que pueden ser empleadas para mejorar de manera significativa las habilidades gerenciales vitales como: la comunicación efectiva al romper las barreras de información creadas entre departamentos o áreas que se relacionan entre sí; lograr el cambio efectivo al designar los equipos de trabajo idóneos para lograr objetivos ambiciosos; motivar e inducir, como se mencionó anteriormente, a la gente dentro de la organización para inventar soluciones viables al delegar adecuadamente la responsabilidad y autoridad para implementarlas.

La tercera y última parte de la teoría es la aplicación de las soluciones probadas e innovadoras desarrolladas por el Dr. Goldratt, al aplicar la lógica y el sentido común a las áreas específicas de producción, distribución, mercadotecnia, ventas, administración de proyectos, planeación estratégica, etc.

El proceso lógico de pensamiento de T.O.C. nos proporciona una serie de pasos que combinan relaciones causa - efecto con nuestra experiencia e intuición para ganar un mayor conocimiento, empezando con la observación del mundo que nos rodea.

La teoría de restricciones es una herramienta que nos permite desarrollar la habilidad para reconocer los cambios de paradigmas, que se presentan cuando los tiempos cambian, pero no así nuestras suposiciones y reglas. No podemos revisar constantemente cada suposición para estar seguros que nos encontramos en línea con la realidad en constante cambio. La habilidad para determinar estos cambios es una gran ventaja. Aquellos que continúen con los mismos patrones de operación, sin tomar en cuenta los cambios, sufrirán de los efectos de sus acciones que no serán los que habían esperado.

4.3. Los cinco puntos focales de T.O.C.

El Dr. Goldratt en su libro de La Meta un proceso de mejora continua desarrolló lo que se conoce como los cinco puntos focales de T.O.C. en el proceso de la mejora continua, que explicaremos a continuación:

1. Identificar las restricciones del sistema; determinar qué recursos limitan el desempeño del sistema.
2. Decidir cómo – explotar – la restricción del sistema.
3. Subordinar toda acción a la decisión anterior; realizar una administración efectiva de la restricción como prioridad.
4. Elevar la restricción: romper la restricción al aumentar la capacidad del recurso cuello de botella de la organización.
5. Si se ha roto una restricción en los pasos anteriores, regresar al paso 1 sin permitir que la inercia del sistema cree una nueva restricción.

El primer punto para identificar la restricción, consiste en determinar qué recursos son los que limitan el desempeño del sistema. Este punto implica también, conocer su prioridad de acuerdo al impacto que tenga en la meta del negocio.

Una vez determinadas las restricciones, resulta evidente el segundo paso: decidir cómo explotar la restricción del sistema. Este punto se refiere en otras palabras a administrar o aprovechar al 100% el recurso cuello de botella.

Después de determinar cómo explotar las restricciones, el siguiente paso consiste en cómo administrar la vasta mayoría de los recursos del sistema, que no son restricción, de tal forma que todo lo que consume o requiera la restricción será provisto por los demás recursos.

El tercer paso consiste en subordinar toda acción a la decisión del paso número dos; realizar una administración efectiva de la restricción como prioridad y revisar estas acciones continuamente. No debemos detenernos en este punto, ya que es evidente que el proceso de mejora no termina aquí. Cualquiera que sea la restricción, existe un camino para reducir su impacto en el desempeño global de la organización, por lo tanto el siguiente paso será: elevar la restricción. Este paso consiste en romper la restricción, como por ejemplo, al aumentar su capacidad. Al romper la restricción, ésta ya no limitará al sistema, sin embargo existirá una nueva restricción, que limitará el sistema y por consiguiente la importancia del último paso del proceso de mejora.

Si se ha roto una restricción en los pasos anteriores, regresar al paso 1 sin permitir que la inercia del sistema cree una nueva restricción. Este punto tiene una advertencia, no permitir que la inercia cree una nueva restricción. Ocurre frecuentemente, que se formulan reglas formales o intuitivas debidas a la existencia de restricciones actuales. Al romper una restricción aparentemente no nos preocupamos de

retroceder y revisar esas reglas. Como consecuencia, los sistemas de hoy están limitados principalmente por restricciones de políticas administrativas.

4.4. Las cinco herramientas del proceso mental.

El Dr. Goldratt al desarrollar el proceso de pensamiento lógico para la mejora continua, ideó también una serie de herramientas de apoyo para minimizar el riesgo de cometer muchos errores y falsos inicios. Estas cinco herramientas son muy importantes porque permiten al experto en el conocimiento de la Teoría de Restricciones denominado por el autor Jonah², crear soluciones lógicas e innovadoras a problemas complejos.

Estas cinco herramientas son :

1. Construir un árbol de la realidad actual conocido por sus siglas **C.R.T. – Current Reality Tree -**.
2. Construir el diagrama de resolución del conflicto o de la evaporación de nubes conocido por sus siglas **E.C. – Evaporating Cloud -**.
3. Construir el diagrama sobre la realidad futura **F.R.T. - Future Reality Tree -**.
4. Construir un árbol con los prerrequisitos **P.T. - Prerequisite Tree -**.
5. Construir el árbol de transición **T.T. - Transition Tree -**.

4.4.1. El árbol de realidad actual C.R.T. no es otra cosa que un diagrama donde se expresa la ley de causa y efecto, que es capaz de describir todas las relaciones importantes de la organización de donde se derivan los problemas de la misma. Podría valer también la analogía con una fotografía que muestre la realidad presente de la organización; al verificar este diagrama se van detectando los principales problemas,

² Profeta Jonah tomado del Antiguo Testamento.

que aquejan a la organización en su totalidad. La raíz del árbol revela con claridad el origen de los problemas. Se puede considerar a este diagrama como un medio para determinar qué se puede cambiar, porque el C.R.T. nos muestra y describe la situación del sistema en la actualidad . Al intentar la construcción de este diagrama con reglas lógicas, se inicia la observación de los efectos no deseados y el modelo del sistema con una hipótesis condicional: si ...

El equipo que logró esta construcción, conoce el sistema y reconoce la problemática, y el C.R.T. muestra a todos la raíz del problema y la hipótesis brindará la solución posible.

4.4.2. Diagrama de resolución de conflicto E.C. Resulta muy descriptivo el nombre de este segundo paso en el proceso de pensamiento porque si encontramos la raíz de un problema, la pregunta sería por qué parece difícil eliminarla. La razón sería que hemos caído en un conflicto, cuyo origen puede ser de política, de reglamentos o prioridades.

Podría suceder que dentro de nuestra organización se ha gestado un conflicto que no hemos descubierto pero que está impidiendo eliminar la causa del problema localizado en la raíz; parece que la mayor parte de las veces el conflicto surge porque planteamos cosas o condiciones que se excluyen, por ejemplo cuál sería la prioridad si por un lado se necesita capacitar a los trabajadores, pero por otro lado también es inminente la compra de equipo nuevo, pero todo esto bajo la limitación que crea el presupuesto.

En este ejemplo la empresa se enfrenta al conflicto de estar en posición de pagar sólo una de estas necesidades. Este proceso E.C. es un diagrama que debe permitirnos visualizar el conflicto para poder hablarlo y resolverlo por medio de la hipótesis y los

requisitos que al cumplirse, llenarán una necesidad para que logremos despejar la nube. Visualizar el conflicto y las suposiciones que lo causan ya es un paso firme para eliminarlo. Este procedimiento nos permite resolver los conflictos, encontrar soluciones para atacar, o hasta eliminar los problemas esenciales. Como se dijo anteriormente, es un paso hacia la solución, pero no podemos asegurar que las soluciones sean las pertinentes o si no se presentarán otros problemas.

4.4.3. Árbol de realidad futura F.R.T.

En el párrafo anterior hablamos de la incertidumbre sobre la bondad de nuestras soluciones; para ello existe una tercera herramienta llamada el árbol de la realidad futura F.R.T. Este árbol es similar al C.R.T., pero el F.R.T. se inicia con la solución encontrada y termina con los efectos deseados, mientras que como vimos anteriormente, el C.R.T. inicia con los problemas y efectos no deseados.

El sistema inverso del F.R.T. nos lleva a identificar todas las cosas o situaciones para estar en posibilidad de construir un futuro deseable; visto lo cual el diagrama ofrecerá la posibilidad de evaluar la solución, cosa muy útil antes de tratar de implementarla. El F.R.T. es un ejercicio que se propone utilizando el sistema de *qué pasaría si ...*, para identificar los puntos fuertes de nuestra solución y es aún más importante detectar sus carencias o ramas negativas. Al identificar los problemas, que nuestra solución puede crear, ya podemos planear los pasos adicionales para prevenir los problemas, que se presenten en ramas completamente negativas.

4.4.4. El árbol de prerrequisitos P.T.

Una vez que se ha decidido el curso de acción a seguir, el árbol de prerrequisitos es una herramienta, que ayudará a implementar la estrategia. El P.T. permitirá

identificar los obstáculos con los que la organización se topará en su camino, así como la mejor manera de salvarlas. También indica la secuencia en la que se completarán los hechos durante la implementación. El P.T. proporciona la primera parte de la respuesta de cómo provocar el cambio.

4.4.5. El árbol de transición T.T.

La última de las herramientas del proceso mental es el árbol de transición. En el T.T. se describen las instrucciones paso a paso así como su secuencia lógica para la implementación del plan. El árbol de transición T.T. proporciona la segunda parte de la respuesta de cómo provocar el cambio.

El árbol de prerrequisitos y el árbol de transición proporcionan, según se ha explicado, las tácticas del proceso mental.

4.5. Principios fundamentales del T.O.C.

El Dr. Goldratt desarrolló su teoría con una serie de principios que explicaremos detalladamente a continuación:

- Los sistemas organizados son similares a cadenas. Cada organización presenta un eslabón más débil; la llamaríamos restricción. Ésta limita el éxito del sistema como unidad. Para explicar este concepto el Dr. Goldratt hace la analogía de una organización con una cadena, unida por un eslabón más débil que los demás. Si tenemos una cadena con diez eslabones, de los cuales 9 de ellos soportan un peso de 1,000 libras y con un eslabón que sólo soporta 100 libras, podemos esperar lógicamente, que la cadena completa soportará sólo un peso de 100 libras antes de romperse. Ese eslabón debilitado determina la capacidad máxima de carga de la cadena completa. Una pregunta surge así: ¿si queremos aumentar al doble la

capacidad de la cadena, debemos doblar la resistencia de todos los eslabones o nos debemos de enfocar en el eslabón más débil? La respuesta obvia es también la correcta. Si aumentamos la capacidad de carga de los nueve eslabones, que soportan un peso de 1,000 libras, no contribuiríamos en nada a incrementar la resistencia de la cadena entera. El eslabón más débil seguiría como limitante de su resistencia. Si llevamos esta analogía un paso más adelante, al suponer que en vez de mejorar el rendimiento, queremos mantener solamente el nivel actual, pero con mayor eficiencia. Supongamos que estamos conformes con la cadena que soporta las 100 libras, pero nos molestan por ejemplo los costos de mantenimiento que acompañan los 9 eslabones más fuertes. Queremos transformar nuestra cadena “monstruo” a una cadena “esbelta” con 10 eslabones iguales para tener el costo más bajo posible. Se pretende ajustar la cadena al tamaño adecuado y se venden los 9 eslabones más pesados reemplazando por 9 eslabones iguales al eslabón restante. En estos momentos tenemos una cadena verdaderamente eficiente. Cada eslabón es capaz de soportar una carga igual de 100 libras sin los gastos, por tener capacidad de sobra. ¿Pero, qué se ha logrado en realidad con este cambio? Nos hemos restringido al nivel actual de rendimiento. Antes de iniciar este programa de reducción de costos teníamos sólo una restricción; un eslabón débil. Ahora tenemos una cadena muy eficiente con 10 eslabones débiles. ¡El resultado de esta acción es que ahora contamos con 10 restricciones! Si en el futuro se tiene la necesidad de aumentar la capacidad, será necesario reforzar la resistencia de los diez eslabones. El resultado de una decisión de esa naturaleza sería: deshacer todo lo que se había hecho antes y el sacrificio para reducir costos. La pregunta en el aire es: ¿Qué cuesta más; mantener los niveles anteriores de capacidad, o volver a deshacer los esfuerzos que se realizaron para reducir costos?

- Las soluciones parecen óptimas temporalmente, pues los sistemas se deterioran con el tiempo. Este principio es fundamental para encauzar mejoras continuas. Por definición siempre existirá una restricción, que impida niveles infinitos de ganancia.
- Reforzar cualquier eslabón, que no sea el más débil, no contribuye en nada a aumentar la resistencia de la cadena. Como se mencionó anteriormente, es fundamental concentrar los esfuerzos en aumentar la resistencia del eslabón más débil de la cadena.
- La situación óptima global de la empresa, no es igual al concepto de optimización de cada eslabón. Este principio lo podemos explicar también con la analogía de la cadena. La mayoría de las mejoras o cambios, efectuados en la mayoría de los eslabones que representan los elementos o recursos del sistema u organización, no mejoran la resistencia de la cadena. Recordemos, como discutimos en páginas anteriores, que este principio es el resultado de tantos casos desastrosos causados por los sistemas de contabilidad de costos y su preocupación principal de mantener altos niveles de eficiencia en todos los elementos del sistema.
- La mayoría de los efectos indeseables son causados por pocos problemas, pero de raíz. Muchas de las decisiones tomadas por los gerentes para solucionar los problemas tienen poco impacto global en la organización. Luchan por solucionar los problemas, que se les presentan a diario, que en la mayoría de los casos son tan sólo síntomas de un problema esencial no identificado y de meras suposiciones. Los problemas de raíz no se perciben a primera vista, se manifiestan a través de un número de efectos indeseables relacionados entre sí. El análisis de las relaciones causa -- efecto resulta una herramienta poderosa para identificar estos problemas. Al utilizar el método efecto-origen-efecto buscamos explicar el origen de muchos problemas o efectos indeseables postulando un número mínimo de suposiciones.

Uno de los caminos más seguros para determinar los problemas medulares es empezar por un efecto no deseado; especular cuál es la causa que lo genera, ya ratificada o rectificada al revisar si existe algún otro efecto con la misma raíz que el primero.

- Los problemas medulares se presentan cuando existe un conflicto en nuestras suposiciones. La solución a los problemas medulares requiere de un cuestionamiento de las suposiciones tácitas y después invalidar por lo menos una de ellas.
- Las restricciones de un sistema pueden ser palpables –físicas- o políticas administrativas.
- La inercia es el peor enemigo del proceso de mejora continua.

4.6. Tipos de restricciones.

En las empresas podemos encontrar tres posibles categorías de restricciones, que limitan su desempeño. Las tres categorías son: restricciones físicas; restricciones de mercado y restricciones de políticas administrativas.

4.6.1. Restricción física: este tipo de restricción es fácil de identificar debido a su naturaleza física o tangible. Esta categoría incluye todos los recursos cuya capacidad es menor a la demanda del mercado. Podemos encontrar una restricción física en la capacidad disponible de las máquinas; la disponibilidad de los materiales y su calidad; la capacidad del recurso humano; el espacio disponible requerido para la manufactura, etc.

4.6.2. Restricción de mercado: este tipo de restricción se presenta cuando la demanda de los productos y / o los servicios proporcionados por la empresa, son

menores o iguales a la capacidad de la organización. La demanda del mercado es un factor decisivo ya que determina los límites de **throughput** en los cuales debe operar la empresa. La demanda de cierto producto está determinada naturalmente por el mercado. Se puede presentar una restricción en el mercado cuando no exista demanda suficiente de productos o servicios, que ofrece la empresa. Sin embargo, esta no es la razón principal de la existencia de la restricción de mercado. La existencia de la restricción de mercado se debe a que el desempeño de la compañía no es satisfactorio con respecto a los requerimientos competitivos de la industria. Algunas consideraciones adicionales a este punto son los requerimientos en tiempos de entrega; la calidad de los productos; el precio; la certeza y la entrega puntual de los productos o servicios. La causa principal de la existencia de una restricción de este tipo se debe a que las empresas no son capaces de cumplir los requerimientos del mercado. Otra causa común es que las empresas no han realizado una estrategia adecuada para explotar la capacidad del sistema actual, esto es, encontrar nuevas formas para penetrar mercados alternativos.

4.6.3. Restricción de políticas administrativas: por último este tipo de restricciones se refiere a aquellas que no son físicas o tangibles por naturaleza. Esta categoría incluye el sistema completo de indicadores financieros y métodos de operación e inclusive la conducta, que gobierna todas las decisiones tácticas y estratégicas del negocio. Las políticas, como las hemos definido, incluyen todo el juego de actitudes; la dirección del pensamiento; la cultura organizacional; los indicadores financieros; las reglas y procedimientos, que guían y determinan las actividades de la organización.

En el caso particular de este proyecto de tesis las restricciones del sistema son internas; la demanda del mercado es mucho mayor a la capacidad de la empresa, motivo

de este estudio, y nos concentraremos en identificar restricciones físicas y políticas, que limitan el desempeño de la misma.

4.7. Indicadores económicos de T.O.C.

Hemos explicado en párrafos anteriores que la meta de las empresas es generar ganancias en el presente y en el futuro. Sin embargo alcanzar la meta requiere también que se cumplan algunas condiciones necesarias como por ejemplo: conservar la calidad de los productos o servicios; mantener un ambiente de trabajo seguro para los trabajadores; mantener un flujo de efectivo sano; una remuneración equitativa, etc.

Cada negocio de manufactura está compuesto por varios subsistemas: se define primeramente el diseño e ingeniería del producto; después se adquieren los materiales para su fabricación. Finalmente el producto es fabricado, comercializado, vendido y por último se cobrará al cliente. La empresa no debe optimizar cada una de estas áreas funcionales de manera individual, porque sus objetivos son en su mayoría incompatibles. Por ejemplo el departamento de ventas preferirá contar con una línea de productos muy extensa, que ofrezca muchas opciones. El departamento de contabilidad enfatiza en la fabricación del producto más barato, y producción opta por el producto más sencillo y rápido de fabricar. Si la empresa lucha por ser exitosa, requiere que todos sus subsistemas o departamentos estén enfocados en la meta del sistema como un todo.

La pregunta que propondríamos en estos momentos sería ¿Cómo poder medir los resultados del sistema? Tradicionalmente se han utilizado los indicadores de utilidad neta y retorno sobre la inversión **R.O.I.** para medir si la empresa obtiene ganancias en dinero.

La utilidad neta es una medida absoluta para determinar si la empresa está ganando dinero, pero por sí solo es un indicador inadecuado. Supongamos que la

empresa tuvo una utilidad neta de 2 millones de pesos el año pasado. La pregunta que surge es si esta utilidad fue buena o no. Para contestar a esta pregunta debemos conocer la inversión realizada para generar dicha utilidad.

El retorno sobre la inversión es un indicador, que compara la utilidad con la inversión realizada. Si en el ejemplo anterior obtuvimos una utilidad neta de 2 millones de pesos con una inversión de 10 millones, entonces el **R.O.I.** obtenido fue del 20%. Si la inversión realizada hubiera sido 100 millones de pesos, el **R.O.I.** sería tan sólo un 2%.

Estos dos indicadores son suficientes para determinar si la empresa está ganando dinero, pero son inadecuados para evaluar decisiones de operación y de inversión.

En estos momentos debemos considerar una nueva perspectiva y acercamiento para evaluar correctamente el impacto de nuestras acciones en la productividad y rentabilidad de la empresa. Estos indicadores juegan un papel primordial en el desarrollo de nuevos procedimientos, que resultarán en decisiones operacionales más apropiadas.

El Dr. Goldratt estableció tres parámetros o indicadores de operación, que están directamente relacionados con la meta de las empresas. Estos indicadores son: **Throughput, Inventario y Gasto de Operación.**

Estos indicadores se pueden utilizar universalmente en empresas manufactureras y describen las principales actividades que gobiernan su desempeño. En esencia en cada empresa manufacturera se llevan a cabo las siguientes actividades:

1. Compra de materias primas y componentes.
2. Conversión de las materias primas en productos terminados.
3. Venta de los productos manufacturados o ensamblados.

Los indicadores de **throughput**, inventario y gasto de operación son intrínsecos a estas actividades. A continuación definiremos cada uno de ellos:

4.7.1. Definiciones de los indicadores de operación.

4.7.1.1. Throughput : es la tasa a la cual un sistema genera ganancias por medio de sus ventas. La fórmula para calcular el **throughput** es: *ventas menos el total de los costos de materia prima o los totalmente variables*. Las ventas son válidas cuando la empresa puede disponer de las ganancias, lo que significaría que producir meramente para inventario no forma parte del **throughput**.

4.7.1.2. Inventario : todo el dinero que el sistema invierta en cosas que pretenda vender, incluyendo las instalaciones, maquinaria y equipo así como el costo variable del inventario. El costo de la mano de obra directa para la producción del inventario no forma parte del inventario según la filosofía de T.O.C. Esta definición difiere de la tradicional en dos aspectos: el inventario no agrega valor a los materiales mientras son procesados. El enfoque tradicional dicta que el inventario absorba los costos de mano de obra y gastos indirectos durante el proceso de transformación de los materiales.

Esta suposición de que el valor del material en proceso se incrementa durante los procesos es errónea. En realidad no se ha agregado “valor” al producto durante los procesos de manufactura; si no es posible, que inclusive hasta haya perdido su valor, debido a que el material pierde flexibilidad al ser transformado. Por ejemplo, en la fabricación de varios productos se utiliza el proceso de forja. Si fabricamos productos para los cuales no existe demanda, no generamos **throughput** y consumimos materia prima, que tendrá que ser reemplazada por nueva. Para evitar estas distorsiones, valorizamos el inventario como el costo de los materiales al ser adquiridos. La mano de

obra y otros gastos incurridos en la producción son contabilizados en la siguiente categoría: gastos de operación.

El segundo aspecto diferente de la definición de inventario; incluye únicamente los materiales, que la empresa pretende vender. No se contabilizan consumibles como por ejemplo: herramientas de corte, lubricantes, equipo de limpieza, etc. ya que la empresa no pretende transformar estos productos para venderlos y generar **throughput**.

4.7.1.3. Gasto Operativo : se refiere a todo el dinero que gaste la empresa al transformar el inventario en **throughput**.

Esta definición difiere también del concepto tradicional del costo de operación. Primeramente no se hace distinción alguna entre el costo directo y el costo indirecto de la mano de obra; se requieren ambos para convertir el inventario en **throughput** o en el flujo de productos a los consumidores. Todos los gastos relacionados con el personal forman parte del gasto operativo. En el gasto operativo aparecen los sueldos de directores, gerentes, personal operativo, renta, energía eléctrica, teléfono, etc.

4.8. Estrategia del T.O.C.

El Dr. Goldratt establece que existen tres caminos abiertos en las empresas para alcanzar la meta de ganar dinero en el presente y hacia el futuro :

1. Incrementar **throughput**.
2. Reducir el inventario.
3. Reducir los costos operativos.

El punto más importante es incrementar el **throughput** a través de las ventas. La siguiente estrategia debe consistir en reducir el inventario, sobre todo el inventario en proceso para que la empresa pueda disponer de más recursos y convertirlos en **throughput**; así mismo al reducir el inventario se logran disminuir también los gastos de operación.

Sin embargo las empresas necesitan en ocasiones incrementar la inversión o los gastos de operación para poder incrementar las ventas y **throughput**, sobre todo en el corto plazo para alcanzar el objetivo de ganar dinero hoy y en el futuro.

Además de los tres indicadores antes mencionados existen dos relaciones o indicadores, que miden el desempeño de la empresa.

La relación **Throughput** entre Inventario - T/I - mide qué tan efectiva es la transformación de inventario o inversiones de materiales cuando se convierten en **throughput**. Es una medida de la velocidad del flujo de los materiales durante la operación de la empresa. Mientras más alto sea este valor significa tener un flujo más rápido de producción, que se traduce en la reducción de tiempos de entrega y en la respuesta más ágil a las necesidades de los clientes e inventarios de proceso más bajos.

La siguiente medida **Throughput** entre gasto operativo - T/GO - mide la productividad de la empresa. Este indicador representa la cantidad de dinero ganado por cada peso gastado.

El comportamiento de estos dos indicadores T/I y T/GO no son mutuamente excluyentes. Esto significa que se puede reducir uno de estos dos indicadores para mejorar el desempeño del otro.

En resumen podemos afirmar que los indicadores de **throughput**, inventario y gasto de operación permiten a los administradores desarrollar una perspectiva global más efectiva al tomar decisiones, que afecten la operación de la empresa. Al enfocarse

hacia estos indicadores los administradores tendrán la capacidad de evaluar el impacto de las decisiones y las acciones específicas en el desempeño global del negocio.

Capítulo 5

CAPÍTULO 5

5. Sistema Tambor – Cuerda – Amortiguador D.B.R.

5.1 Descripción:

El objetivo principal de los gerentes de manufactura es administrar los recursos de la empresa como: trabajadores, máquinas, materiales y equipos, de tal forma, que se puedan satisfacer las necesidades del mercado y al mismo tiempo se mantengan los costos totales de la empresa al mínimo.

La meta de administrar la producción desde la perspectiva de T.O.C. se puede expresar de la siguiente manera: cumplir con las expectativas del **throughput** y al mismo tiempo administrar eficientemente el inventario y los gastos de operación.

Los gerentes de manufactura conocen la dificultad que representa lograr un flujo suave y continuo de los productos de acuerdo a la demanda; sin embargo lo que no es evidente, es que los principales obstáculos para operar eficientemente sean el resultado de dos fenómenos, que se presentan en la manufactura. Uno de estos fenómenos es la existencia de eventos dependientes y las interacciones entre los recursos y productos. El otro fenómeno es la variabilidad y los eventos aleatorios, presentes en todos los ambientes de manufactura.

5.2 Eventos dependientes e interacciones.

En la operación de las empresas manufactureras se presenta el fenómeno de la existencia de eventos dependientes; esto significa que existen actividades o procesos, que no se pueden realizar sino hasta que ciertas operaciones o actividades ocurren primero. Como ejemplo podemos mencionar la secuencia de operaciones en una hoja de ruta o diagrama de proceso necesarias para la fabricación de un producto. En un ambiente ordinario de manufactura, la producción no se inicia hasta que todos los

materiales requeridos se encuentren disponibles. Las operaciones individuales se llevan a cabo de acuerdo a la secuencia establecida y por lo tanto no se inician hasta que las operaciones anteriores de la ruta de proceso se han terminado. Otro ejemplo muy claro de este fenómeno son las operaciones de ensamble: no se pueden concretar hasta que se encuentren disponibles todos los componentes comprados o fabricados para el ensamble.

Podemos mencionar otro problema de dependencia, que se presenta cuando se requiere un mismo recurso para la fabricación de varios productos. Cuando más de dos productos requieren de un mismo recurso, se vuelve muy importante definir un programa de producción. Algunas de las decisiones más complicadas en cuanto al funcionamiento en una empresa manufacturera son los problemas de programación. Programar la producción inadecuadamente puede impactar negativamente la operación de la empresa y perjudicar el rendimiento específico del inventario así como los gastos de operación.

5.2.1. La variabilidad y los eventos aleatorios.

La importancia de los eventos dependientes y las interacciones en el proceso de manufactura adquieren mayor relevancia debido a la presencia inevitable de sucesos imprevisibles o aleatorios y la misma variabilidad en los procesos, presentes en todo ambiente manufacturero. Los eventos aleatorios son acontecimientos que ocurren a intervalos irregulares de tiempo y tienen un efecto nocivo para la organización de la producción. Estos acontecimientos pueden presentarse en cualquier lugar y momento como se explicó. La disponibilidad de materiales, herramientas y mano de obra para efectuar algún trabajo está sujeta a este tipo de causas desorganizadoras. Las máquinas no pueden trabajar indefinidamente sin sufrir un desperfecto o requerir algún ajuste; las

herramientas se pueden romper o extraviar en la planta y los trabajadores pueden faltar debido a alguna causa como las enfermedades. La única regla que parecen seguir estos eventos es uno de los corolarios de la Ley de Murphy: los eventos aleatorios ocurrirán en el momento más inoportuno y en el lugar más costoso.

El término de variabilidad o fluctuación estadística significa que todos los procesos tienen cierto grado de fatalidad propia, que ocasiona desde luego un desorden en la producción. La variabilidad, que se llega a presentar en los procesos, es más previsible que los eventos aleatorios, pero de igual manera introduce un alto grado de inestabilidad a la producción. Algunos ejemplos de variabilidad pueden ser: el suministro de materiales; aunque éstos provengan del proveedor más confiable siempre se encuentran sujetos a cierto grado de incertidumbre; los tiempos de preparación y los tiempos de movimiento de materiales requeridos para la producción también son variables. No debemos olvidar que el mercado también está sujeto a fluctuaciones similares en forma de cambios en la demanda y en los pronósticos de ventas.

Los dos fenómenos explicados en las líneas anteriores se combinan y pueden ocasionar serios y graves problemas en la planeación o en el control de la producción. En realidad, la función cotidiana de carácter administrativo del supervisor de producción no es, muchas veces, más que tratar de confrontar la corriente casi ininterrumpida de alteraciones y ajustes a las actividades planeadas.

La manufactura vista desde fuera parecería si está bien programada, inamovible y perfecta, pero en este párrafo hemos tratado de ratificar la importancia de lo imprevisto, que puede no solamente interactuar con la programación alterándola, sino ocasionar muy graves dilaciones, bloqueos y deterioros de todo el proceso. El Dr. Goldratt explica en su libro: *La Meta un proceso de mejora continua* por medio de una

analogía, una posible solución en el caso de que esto se presentara. Esta analogía consiste de una excursión de **boy scouts**.

5.3. Analogía de la excursión de boy scouts.

En la excursión al campo, el recorrido de los niños exploradores vendría a ser el trabajo por realizar; la meta por dominar. La excursión se programa para un tiempo determinado en el recorrido; todos marchan en fila de la misma manera en que encontramos las diversas estaciones de trabajo de una fábrica, sin embargo esos niños no marchan a un mismo ritmo, igual que los diversos procesos de la manufactura; dicho de otra manera, tanto los niños como los pasos de la producción están provistos de capacidades diferentes para completar el recorrido.

Los excursionistas podrían variar el ritmo de su paso, con lo que se produciría un tropiezo de la fila, aunque fuera porque alguien paró momentáneamente a amarrarse las agujetas del zapato o acomodar la carga de la mochila.

El líder del grupo recibe la materia prima para realizar la excursión, que vendría a ser en este caso el camino todavía no andado; ese material se procesa en etapas al ser caminado por cada uno de los miembros de la fila; cuando el último niño explorador cubre el camino, la materia prima o el camino, ha sido recorrido por todos y se libera el producto terminado.

En este ejemplo, el inventario en proceso se representa por la distancia existente entre el líder y el último caminante. Al iniciarse la marcha, todos los niños forman un grupo y si el líder no coloca en el primer lugar de la fila al excursionista más lento, ésta se irá alargando, pues el espacio entre el primero y el último niño explorador continuará creciendo; visto desde el punto de vista de la manufactura, el fenómeno de dispersión de nuestra analogía representaría el aumento en el inventario por procesar. El movimiento

discontinuo por las diferencias en el tamaño y velocidad del paso, así como las diferentes capacidades para marcar el paso provocaron un contingente no compacto; lo mismo sucedería con los departamentos o estaciones de trabajo en una fábrica.

Una solución para el problema anteriormente descrito sería ordenar la fila de los boy scouts de acuerdo con su velocidad en la marcha y su posibilidad de avance. Si el líder coloca al niño más pesado, lento o de marcha más pesada en el primer lugar de la fila, como si dijéramos a la máquina de menor capacidad, la más lenta. Con esta medida el líder hubiera marcado un paso que minimizara el problema de la dispersión y se marcaría desde el principio el tiempo para realizar la excursión; en el caso de la fábrica con la estación de trabajo más lenta al principio, el costo podría ser demasiado alto o no viable en su implementación. Tal vez hasta fuera necesaria una reestructuración de la planta para hacerlo posible y aún así la solución no sería estable. A las subsecuentes operaciones se les tendría que modificar de manera que cada estación de trabajo tuviera mayor capacidad. Los cambios en la mezcla de productos podrían, en alguna operación, hacerla más lenta, aunque la primera por estar sobrecargada presentaría cuellos de botella móviles.

Otra solución es amarrar con una cuerda a todos los exploradores o tener un ritmo para mantener a todos caminando al mismo paso. Esto es en esencia lo que realizó Henry Ford en las líneas de ensamble de sus fábricas de automóviles. Al desplazar las unidades o el inventario en proceso en una banda transportadora, se aseguraba que todos los centros de trabajo operarían al mismo ritmo. El sistema justo a tiempo *Just in Time* con las tarjetas Kanban desarrollado por los japoneses es una variación del método Ford.

Las líneas de ensamble y el sistema con las tarjetas Kanban establecen un inventario de seguridad denominado también amortiguador entre cada pareja de

estaciones de trabajo. En nuestra analogía el amortiguador está representado por el tamaño de la cuerda. En el caso de las líneas de ensamble, el amortiguador representa el espacio de la banda transportadora existente entre dos estaciones de trabajo. En el sistema Kanban el tamaño del amortiguador está determinado por el número de unidades establecidas en las tarjetas de Kanban de las estaciones de trabajo. El nivel del amortiguador en un centro de trabajo da la señal para iniciar o concluir las operaciones en un centro de trabajo. El trabajo se inicia sólo cuando se baja el nivel mínimo del amortiguador y termina cuando se vuelve a llenar. De esta manera el trabajo jala con continuidad a través de la planta. Las líneas de ensamble y los sistemas Kanban están diseñados para sincronizar el flujo de la producción, manteniendo niveles de inventario en proceso muy bajos.

La principal desventaja del sistema de justo a tiempo **Just in Time** y las líneas de ensamble aparece cuando se presenta alguna perturbación en cualquier estación de trabajo deteniéndose la línea por completo. Los amortiguadores de cada estación de trabajo son demasiado pequeños, de tal manera que cuando se presenta un suceso aleatorio en una estación de trabajo, todas las demás consumirán rápidamente su amortiguador y la línea completa se fuerza a parar. Estos sistemas requieren por lo tanto del control o de la reducción en la variabilidad al máximo posible, de lo contrario será posible que el rendimiento de la fila completa sea inclusive menor al rendimiento del recurso con menor capacidad. Regresando a nuestra analogía, la implementación de los sistemas justo a tiempo y líneas de ensamble requieren que se aplanen los caminos y los cerros, que se mejoren las botas para caminar y dé un entrenamiento a los exploradores para que logren caminar exactamente con el mismo ritmo.

La solución propuesta por T.O.C. parte de la premisa de que los recursos tienen diferente capacidad y que como ya hemos explicado, es imposible eliminar la

variabilidad y los eventos aleatorios. La solución denominada Tambor – Cuerda – Amortiguador D.B.R., consiste en atar un extremo de la cuerda al líder de la tropa y el otro extremo al explorador más lento, que representa la restricción. De esta manera aseguramos que el líder de la tropa no pueda avanzar más adelante de lo que le permite el tamaño de la cuerda. Los exploradores detrás del explorador más lento podrán alcanzar siempre el paso de éste ya que son más rápidos y pueden cerrar rápidamente los espacios que se llegaran a formar temporalmente. En este caso los más rápidos se verían obligados a bajar el paso y avanzar con la velocidad del más lento. Volviendo a la analogía, el tamaño de la cuerda que une al líder con el niño más lento representa el inventario en proceso porque la cuerda viene a limitarlo. Los niños que hubieran adelantado son naturalmente los más rápidos, pero ese avance producirá su cercanía con el líder; la distancia entre éstos y la marcha del más lento es un espacio que denominaremos amortiguador de la restricción.

En la siguiente tabla 5.1. podemos resumir los principales puntos de la analogía de un proceso de producción con una tropa de niños exploradores:

PROCESO PRODUCCIÓN	TROPA DE NIÑOS EXPLORADORES
Se procesa la materia prima.	Se recorre el terreno.
Se usan recursos para procesar materiales.	Los niños exploradores marchan sobre el terreno.
El material se procesa por cada recurso secuencialmente.	Cada niño recorre el terreno en orden, sin rebases.
El inventario en proceso es la cantidad de materiales entre el primer recurso y el último.	El inventario en proceso es la longitud del terreno entre el primero y el último niño explorador.
El tiempo de entrega es el periodo de tiempo entre la liberación de la materia prima al sistema hasta que el material es procesado por el último recurso.	El tiempo de entrega es el periodo de tiempo desde que el primer niño recorre un lugar del terreno determinado hasta que el último niño marcha por el mismo punto.
El throughput es el monto total de producto procesado por el último recurso y vendido por la empresa.	El throughput es la cantidad total de terreno recorrido por el último niño (sin exceder el destino de la caminata).
El objetivo del proceso productivo es producir una cantidad de throughput en un periodo dado.	El objetivo de la excursión es cubrir una cantidad de terreno en un periodo dado.
El gasto de operación es el costo incurrido en convertir los materiales en el throughput deseado.	El gasto de operación es la cantidad de energía gastada por los niños exploradores para terminar la excursión.

TABLA 5.1. Analogía proceso productivo y una tropa de niños exploradores.

5.4 Panorama del D.B.R.

Los sistemas de control y planeación de la producción, que describimos brevemente, tienen sus propias fuerzas y debilidades. Las líneas de ensamble y el justo a tiempo *Just in Time* mantienen excelentes registros de monitoreo para la ejecución del proceso de manufactura, pero su aplicación en la industria es limitada. Los sistemas de planeación de los requerimientos de manufactura denominados *MRP II* pueden ser utilizados en una gran variedad de ambientes de producción, sin embargo su implementación requiere demasiado tiempo y el costo es muy elevado. Los requerimientos de datos necesarios para mantener dicho sistema de logística son inmensos y desafortunadamente el resultado final son programas que resultan inválidos en la mayoría de los casos; los tiempos de fabricación excesivamente largos y los flujos de producción carentes de sincronía.

La desventaja que tienen todos estos sistemas en común, es que no reconocen ni administran efectivamente la restricción del sistema. No se identifican explícitamente ni se incorporan las restricciones en la planeación y no reciben atención especial en la fase de ejecución del plan. Esta acción limita la habilidad de estos sistemas para generar niveles mayores de *throughput* y mantener al mismo tiempo bajos los niveles de inventario en proceso y gastos de operación.

El sistema *D.B.R.* incorpora las fuerzas clave de los sistemas de líneas de ensamble, *Just in Time* y *MRP II*, y al mismo tiempo soluciona el problema de la administración efectiva de la restricción. El poder del sistema de producción *D.B.R.* radica en estar basado firmemente en los conceptos de administración de las restricciones y su enfoque en el impacto global de las decisiones. La flexibilidad del sistema permite la aplicación del *D.B.R.* en empresas manufactureras universalmente.

Para desarrollar planes de producción se requiere de los siguientes tres ingredientes: primero, requerimos de información actualizada de la demanda. Segundo debe existir un suministro de materiales suficiente para soportar el plan de producción. Finalmente el flujo propuesto de producción no debe exceder la capacidad de los recursos. El tambor es el programa de producción detallado, que surge al ajustar la demanda del mercado con la capacidad de la restricción, y es necesario para cumplir con las fechas de entrega de los pedidos; evita la asignación incorrecta de componentes durante la fabricación y confusión en el piso de producción.

La variabilidad y los imprevistos son los causantes de las desviaciones en el flujo de producción de los materiales, que no corresponde exactamente con el programa previsto. La única manera para garantizar la entrega oportuna de las órdenes de producción es utilizar un amortiguador de tiempo para proteger el flujo. El amortiguador de tiempo incrementa el tiempo de fabricación planeado para acomodar los percances, que puedan presentarse. El amortiguador en el sistema D.B.R. se define como la cantidad adicional de tiempo necesario para proteger el flujo de producción. En la figura 5.1. - se observa que el amortiguador se manifiesta físicamente como una acumulación de inventario en un determinado sitio, como por ejemplo enfrente de un cuello de botella.

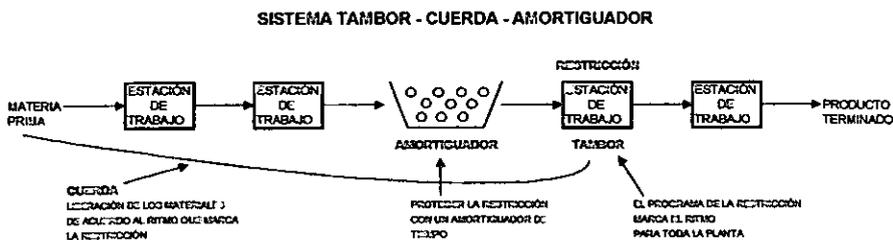


FIGURA 5.1. Sistema Tambor-Cuerda-Amortiguador

En realidad el amortiguador incrementaría el tiempo de entrega planeado dentro del marco mínimo previsto para procesar los productos por un tiempo suficiente para dar acomodo a los imprevistos que pudieran surgir. El amortiguador de tiempo en el sistema **D.B.R.** se define en términos de tiempos extras en la elaboración, necesarios para proteger el flujo de producción.

El tambor determina el ritmo y la secuencia de producción para toda la fábrica. La estructura del producto, las hojas de proceso, los amortiguadores y las políticas de producción se utilizan para determinar la cantidad y tiempo planeado de producción para cada recurso de la planta. Por lo tanto, el programa de producción de cada recurso depende del ritmo del tambor. Los recursos sin restricción de capacidad se sincronizan para soportar el programa del tambor. Esta parte de la estrategia sería análoga al símil de atar a todos los *boy scouts* con cuerdas para asegurarse de que todos los niños exploradores caminaran al mismo ritmo sincronizado.

La cuerda es el mecanismo necesario para asegurar que se logre la sincronización entre los recursos, sin necesidad de controlar activamente cada recurso de manera individual. La función de la cuerda es generar la liberación de los materiales adecuados en las cantidades correctas y en el tiempo justo. Si el tambor, amortiguador y las cuerdas están bien establecidos y administrados, entonces se protegerá el *throughput* deseado para el sistema y los niveles resultantes del inventario y gastos de operación permanecerán relativamente bajos.

5.5. Construcción del sistema D.B.R.

En la construcción de un plan **D.B.R.** se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales. El primer punto es la habilidad de la empresa para ejecutar el plan de producción durante un tiempo preestablecido, y el segundo punto tendría que ver con el

cómo reacciona la empresa ante las desviaciones imprevistas, pero siempre presentes en el flujo de producción.

En la elaboración de un plan de producción se deben tomar en cuenta las restricciones críticas como lo son: la demanda del mercado, capacidad de la planta y limitaciones de materiales. El primer punto se refiere a que las cantidades propuestas de producción no deberán exceder a las demandas del mercado. En segundo término se debe contar con los materiales necesarios para cumplir con el plan de producción previsto. Finalmente el flujo de producción requerido no deberá exceder la capacidad de todos los recursos. Este proceso ayuda a identificar un plan en el que se determina el nivel general de operación, que puede soportar el mercado y la empresa. Este plan es necesario para garantizar la entrega de los pedidos a tiempo, eliminar los faltantes de producción y la confusión general en el piso de producción.

5.6. Estrategia de D.B.R.

La estrategia de **D.B.R.** se puede resumir brevemente de la siguiente manera:

- Desarrollo del plan de producción, que sea consistente con las restricciones del sistema –Tambor-.
- Protección del **throughput** del sistema de las fluctuaciones, utilizando amortiguadores de tiempo en los puntos críticos del sistema –Amortiguador-.
- Atar la producción de todos los recursos al ritmo del tambor –Cuerda-.

5.7. Aplicación del D.B.R.

La aplicación práctica del sistema **D.B.R.** debe luchar por alcanzar las siguientes tres metas:

1. Simplificar el problema de planeación y control de la producción.
2. Estabilizar el flujo de materiales a través del sistema.

3. Enfocar los esfuerzos de la gerencia hacia la identificación de problemas y su solución en cuestiones medulares sin distraerse con otros factores.

Ya hemos presentado en forma general la estrategia para establecer un sistema logístico de control. A continuación explicaremos los aspectos técnicos de cada uno de los elementos de D.B.R. : tambor, cuerda y amortiguador.

5.8. Elementos del D.B.R.

5.8.1. El tambor.

El tambor es el plan detallado de producción para la restricción, que va marcando el paso para el sistema completo. El tambor debe armonizar los requerimientos del cliente con las restricciones del sistema. Es muy importante identificar el cuello de botella del sistema y enfocarse a determinar el ritmo del tambor. De lo contrario se presentarán intervalos de tiempo en los que la carga de trabajo en uno o más recursos con capacidad limitada serán mayores a la capacidad disponible, entorpeciendo en consecuencia el flujo de producción planeado.

5.8.1.1. Procedimiento para definir el tambor:

El primer paso para definir el tambor consiste en identificar los recursos cuello de botella o recursos con capacidad limitada; el siguiente paso consiste en determinar la mejor manera para modificar el plan maestro de producción, de acuerdo a la capacidad de los recursos. Existen tres factores clave que deben considerarse para determinar la programación del cuello de botella:

1. Establecer la secuencia y prioridades de producción.
2. Determinar el tamaño de lote en proceso.
3. Determinar el tamaño del lote en transferencia.

5.8.1.1.1. Establecer la secuencia y prioridades de producción.

La secuencia y prioridades de producción de un recurso cuello de botella, que no requiere de tiempos de preparación, es básicamente función de la fecha de entrega y del tiempo restante necesario para completar la orden, una vez que haya pasado por el cuello de botella. El cuello de botella deberá trabajar según la secuencia de prioridades y en las cantidades requeridas para llenar las órdenes específicas. El lote en proceso debe ser igual a la cantidad de la orden; la única cuestión consistiría en determinar el lote en transferencia, es decir, cuántas unidades deben moverse al mismo tiempo. Los lotes pequeños en transferencia aceleran el flujo de producción y mantienen inventarios pequeños en proceso, sin embargo incrementan el manejo de los mismos. Los lotes grandes en transferencia requieren menos movimientos de materiales, pero normalmente determinan flujos más lentos e inventarios más elevados.

Si el cuello de botella requiere de tiempos de preparación, el problema se vuelve más complicado. Es necesario determinar en qué momento es necesario parar un producto e iniciar otro diferente. En otras palabras, debemos determinar cuál es el tamaño ideal para el lote en transferencia. Este problema se complica aún más por el hecho de que el tamaño óptimo del lote en proceso puede diferir según los diferentes productos y puede ir cambiando en el tiempo.

Si se determina el lote en proceso con el mismo número, que el de la orden de producción, el resultado puede ser no satisfactorio. A pesar de que se pueden procesar las órdenes en la secuencia exacta de prioridades, esta acción puede requerir de demasiados tiempos de preparación. Es posible que se invierta demasiado tiempo en los cambios, con lo que el tiempo restante para terminar las piezas no sería suficiente.

Los lotes grandes de transferencia reducen el tiempo perdido en la preparación y liberan mayor capacidad en el cuello de botella. Sin embargo esta estrategia tiene

también su efecto negativo. Un lote grande en transferencia implica que varias órdenes de clientes se combinan en una corrida de producción. Algunas de éstas se producen con demasiada anticipación y antes de la secuencia de prioridades requerida. Esto significa también que otras órdenes deban esperar más en largas colas e inclusive se puedan retrasar tanto, que no se entreguen a tiempo.

Una vez ya identificado el cuello de botella, la regla consistiría en realizar el mayor número de cambios y preparaciones posibles sin excederse en la capacidad disponible. Si conocemos la capacidad disponible del cuello de botella y los tiempos de producción, podremos determinar el tiempo disponible para los cambios restantes, después de calcular el tiempo requerido en la corrida de producción de todos los productos, que pasarán por la restricción. También conocemos el tiempo requerido para la preparación, por lo tanto basado en el tiempo disponible para hacer los cambios, podemos determinar el número de cambios que podemos realizar.

5.8.2. Los Amortiguadores.

El objetivo primordial de los amortiguadores de tiempo se dirige a proteger las entregas prometidas para los pedidos, de las variaciones inevitables en la planta. La característica, que define a las variaciones radica en no ser previsible. No existe forma de determinar por adelantado qué material llegará tarde o qué máquina se puede descomponer o funcionar incorrectamente, produciendo piezas defectuosas. Debido a la naturaleza aleatoria de las variaciones, ¿cómo se podría programar un flujo estable en la producción? La respuesta a esta pregunta se encontraría si comprendemos que la meta no está basada en lograr que el flujo de producción sea exactamente igual al planeado, sino asegurarse que el flujo actual de producción sea suficiente para satisfacer la demanda. La planeación del flujo de producción debe realizarse de tal manera, que a

pesar de las variaciones que se presenten, el flujo será suficiente para satisfacer la demanda. El sistema **D.B.R.** a través del empleo de amortiguadores de tiempo logra proteger el sistema de casi todas las eventualidades que se presenten. El problema de administrar las variaciones en la producción se simplifica enormemente, si nos olvidamos de la mayoría de ellas.

5.8.2.1. Amortiguadores de tiempo y amortiguadores de *stock*.

Es importante reconocer la diferencia entre amortiguador de tiempo y amortiguador de *stock*. La gran parte del inventario en proceso, encontrado en el piso de producción, proviene de la falta de diferenciación del inventario y el amortiguador. La magnitud del problema aumenta si las empresas no reconocen la distinción entre ambos y sus objetivos. A continuación presentaremos la definición de estos dos tipos diferentes de amortiguadores:

5.8.2.1.1. Amortiguador de tiempo: los amortiguadores de tiempo representan el tiempo extra, planificado para la entrega y requerido en la producción, y las preparaciones para que los materiales alcancen los puntos específicos en el flujo de materiales. Colocados estratégicamente, los amortiguadores de tiempo están diseñados para proteger el *throughput* del sistema de las desviaciones inherentes a los procesos.

5.8.2.1.2. Amortiguador de *stock*: los amortiguadores de *stock* son inventarios de productos específicos, que se mantienen en forma de producto terminado, producto en proceso o en materia prima para cumplir en menor tiempo con las fechas de entrega de los pedidos. Los amortiguadores de *stock* están diseñados para mejorar el tiempo de respuesta del sistema a las condiciones específicas del mercado.

Es importante aclarar que tanto el amortiguador de tiempo como el amortiguador de stock no agregan tiempo ni inventario en el sistema. En la mayoría de las organizaciones implementar amortiguadores significa que se reubican los inventarios o los tiempos de entrega a lugares específicos. También significa reducir o eliminar todos los demás inventarios o el tiempo excedido. En otras palabras para la mayoría de las empresas establecer amortiguadores con el sistema D.B.R. conllevará a la reducción del nivel total del inventario y del tiempo de entrega de los pedidos. El empleo apropiado de los amortiguadores permitirá a las empresas mayor competitividad.

5.8.2.1.3. Comparación entre los amortiguadores de tiempo y los de stock.

Los amortiguadores de tiempo son relativamente sencillos de administrar, mientras que la predicción en el consumo de los amortiguadores de stock es menos confiable. Los inventarios de stock requieren ser monitoreados constantemente y ajustados a los requerimientos de los clientes, para evitar tener productos incorrectos en el amortiguador y terminar con piezas obsoletas. Los amortiguadores de stock son difíciles de administrar y menos flexibles que los amortiguadores de tiempo. La idea de los amortiguadores de stock es muy similar al concepto tradicional de inventario de seguridad.

5.8.2.2. Visualización de los amortiguadores de tiempo.

Para ilustrar el amortiguador de tiempo, utilizaremos el programa para un cuello de botella, que se muestra en la tabla 5.2., utilizando un modelo de amortiguador para cinco días.

PROGRAMA SEMANAL PARA EL CUELLO DE BOTELLA

DÍA	ORDEN DE TRABAJO	PRODUCTO	CANTIDAD	TIEMPO EN PROCESO (HORAS)
LUNES	101	C	100	3
	102	A	50	2
	104	E	35	2
	106	G	60	1
MARTES	107	A	50	2
	108	C	20	2
	110	B	40	4
MIÉRCOLES	111	F	30	3
	112	G	60	1
	113	D	80	4
JUEVES	115	B	40	4
	116	A	50	2
	117	C	20	2
VIERNES	120	B	40	4
	121	E	35	3
	122	G	50	1

TABLA 5.2. Programa semanal para el cuello de botella.

En la siguiente figura 5.2. se muestra el modelo del amortiguador para cinco días. El eje horizontal representa los días de la semana. El eje vertical indica las órdenes de trabajo programadas en las ocho horas disponibles de trabajo del recurso cuello de botella. La primera orden en ejecutarse es la número 101, cuya duración es de tres horas. La siguiente orden con el número 102 de una duración de dos horas. El programa determina la secuencia en la que deberían llegar los materiales a la zona de amortiguador. Este formato permite visualizar el programa del cuello de botella, la duración del amortiguador y facilita su análisis.

AMORTIGUADOR DE CINCO DÍAS PARA EL CUELLO DE BOTELLA

NÚMERO DE ORDEN Y HORARIO	8	106	110	113	117	122
	7	104			116	121
	6	102	108	112	115	
	5					101
	4					
	3					
	2					
	1					
	0					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	

FIGURA 5.2. Amortiguador de cinco días para el cuello de botella.

Debido a las variaciones en los procesos de manufactura, el contenido del amortiguador de tiempo será seguramente menor que el planeado, porque las órdenes pueden llegar tarde a la zona del amortiguador. Cuando una orden planeada no se encuentra en el amortiguador, se convierte en un hueco en el amortiguador. Esto significa que la orden de trabajo se encuentra en proceso en alguna otra parte de la fábrica y no ha llegado a la línea en el amortiguador del cuello de botella. La figura 5.3. muestra los huecos en el amortiguador para las órdenes: 110,113,115,116,120 y 122.

NÚMERO DE ORDEN Y HORARIO	8	106	110	113	117	122
	7	104			116	121
	6	102	108	112	115	
	5					101
	4					
	3					
	2					
	1					
	0					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	

FIGURA 5.3. Huecos en el amortiguador de la restricción.

5.8.2.3. Análisis del amortiguador de tiempo.

Para el análisis de los amortiguadores, se utiliza el diagrama de perfil de contenido del amortiguador. Este diagrama indica el porcentaje aproximado de trabajo en promedio, que se encuentra presente en el amortiguador en cada periodo de tiempo. El perfil de contenido del amortiguador, - ver figura 5.4.- está basado en el promedio actual a lo largo de un periodo largo de tiempo y refleja la consistencia en el desempeño del amortiguador en el tiempo.

En la situación ilustrada por la figura anterior, podemos inferir que el trabajo para el lunes se encuentra presente al 100%. El martes observamos que falta la orden 110. Esta orden requiere cuatro horas de proceso, por lo tanto el perfil del amortiguador se encuentra al 50%. Los porcentajes para los días miércoles, jueves y viernes son: 50%, 25% y 37.5% respectivamente.

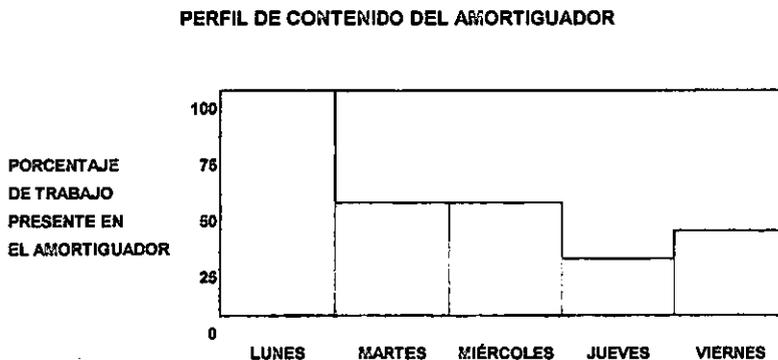


FIGURA 5.4. Perfil del contenido del amortiguador.

La siguiente pregunta que podemos hacer es: ¿Cómo debe ser el perfil de contenido del amortiguador? Si el amortiguador está siempre completo, su perfil de contenido será del 100% para todos los periodos. Esto significa que no existen fallas significativas que impidan el cumplimiento del programa planeado. En este caso no es

necesario un amortiguador para proteger el flujo de producción planeado y debe ser eliminado. Al eliminar o reducir el tiempo innecesario de los amortiguadores se reducen los tiempos de entrega, el inventario en proceso y los gastos operativos. Podemos concluir que no es apropiado tener perfiles de amortiguadores cubiertos al 100% en todos los periodos de tiempo. Por otro lado el nivel de los perfiles de contenido deben ser suficientes para lograr el objetivo principal de los amortiguadores de proteger el **throughput**. El material a procesar del primer periodo programado del amortiguador debe estar disponible la mayor parte del tiempo.

El concepto de un contenido aceptable del amortiguador para los demás periodos de tiempo es muy variable. La mayoría de los materiales del último periodo de tiempo deben estar ausentes. El contenido de los periodos intermedios del amortiguador deberán estar entre los límites del primero y del último, y deberán incrementarse al acercarse su turno en el proceso.

Si el amortiguador está siempre lleno, significa que el sistema está *sobreprotegido*: los desajustes no son tan serios como se pensaba en un principio y es conveniente reducir su tamaño. Caso contrario, si el amortiguador presenta demasiados huecos, sobre todo en los primeros periodos de tiempo, significa que los desajustes son importantes. En este caso es necesario incrementar el tamaño del amortiguador de tiempo. En base al análisis de los perfiles de contenido de los amortiguadores y a su desempeño en el tiempo, se realizan los ajustes en el tamaño de los amortiguadores para proteger el **throughput** del sistema.

5.8.2.4. Tipos de amortiguadores.

Existen tres tipos diferentes de amortiguadores y cada uno tiene el propósito de proteger alguna área de la fábrica contra desviaciones que amenacen el **throughput**.

Los tres tipos de amortiguadores son:

5.8.2.4.1. Amortiguador de embarque. Este amortiguador es utilizado para proteger los embarques de los pedidos terminados; además es utilizado para determinar el programa inicial o tambor de la restricción y la cuerda para la liberación de los materiales, que no pasen por el amortiguador de la restricción ni por el amortiguador de ensamble.

5.8.2.4.2. Amortiguador de restricción. Como su nombre lo indica, este amortiguador se utiliza para proteger la restricción y para determinar la liberación de los materiales de todas las operaciones, que pasen por la restricción.

5.8.2.4.3. Amortiguador de ensamble. Este amortiguador se utiliza para garantizar que las operaciones de ensamble alimentadas por la restricción no esperen a los materiales provenientes de otros recursos. Además determina la liberación de los materiales, que alimentan el amortiguador de ensamble.

5.8.2.5. Tamaño de los amortiguadores.

El objetivo principal de los amortiguadores de tiempo es proteger las entregas de los pedidos contra las variaciones que se pudieran dar en la planta; por consiguiente el tamaño de los amortiguadores depende de la magnitud de las fluctuaciones que se presenten. En teoría se puede calcular matemáticamente el tamaño de los

amortiguadores a través del conocimiento detallado del tipo de variaciones y magnitud de los desajustes que pudieran ocurrir en una planta en particular. En la práctica no se utilizan métodos matemáticos, debido a que no se cuenta con información precisa, cuantitativa ni estadísticos de las variaciones.

En la práctica se utiliza una regla empírica para determinar el tamaño inicial del amortiguador. El tamaño apropiado del amortiguador al principio, debe determinarse de tal forma que el tiempo total del amortiguador para cualquier producto sea aproximadamente la mitad del tiempo total de manufactura.

El valor real de los amortiguadores se basa en el hecho de que se aplican en muchos casos, por ejemplo:

- Estabilizan la ejecución diaria del programa de producción.
- Reducen la necesidad de cambios en el programa y expedición.
- Funcionan como guía para las escasas órdenes que requieran inevitablemente cambios de programación.
- Ayudan a establecer la secuencia de prioridades para eliminar o reducir aquellas alteraciones que impacten negativamente a la organización.

La administración correcta de los amortiguadores nos permite ignorar la mayoría de las variaciones de la producción. Sin embargo, si tenemos una orden que deba ser procesada en el cuello de botella y no se encuentre en el amortiguador, será necesario iniciar una acción y alistar los materiales para que estén disponibles en el momento requerido.

5.8.2.6. Zonas del amortiguador.

Resulta práctico dividir el amortiguador en tres zonas que son: la zona de expedición, la zona de seguimiento **tracking** y la zona de seguridad. El tamaño de

cada una de las zonas depende de la aplicación específica de cada amortiguador, pudiendo cambiar a discreción.

5.8.2.6.1. Zona de expeditación: La zona de expeditación o zona uno del amortiguador es la región que corresponde al periodo de tiempo inmediatamente anterior del programa del cuello de botella.

5.8.2.6.2. Zona de seguimiento: La zona intermedia del amortiguador es la de seguimiento y nos permite identificar y definir prioridades según las variaciones que están provocando huecos en el amortiguador.

5.8.2.6.3. Zona de seguridad: La última zona de seguridad del amortiguador corresponde a los trabajos futuros por realizarse.

En la figura 5.5. podemos observar el diagrama para el control de los amortiguadores con las tres zonas y sus respectivos colores.

DIAGRAMA PARA EL CONTROL DE AMORTIGUADORES

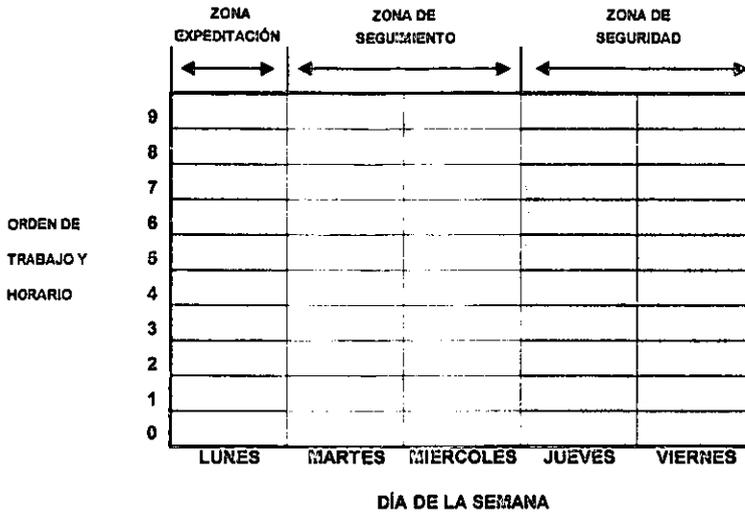


FIGURA 5.5. Diagrama para el control de amortiguadores.

5.8.3. La cuerda.

El último eslabón en el sistema consiste en comunicar efectivamente a través de toda la planta las acciones requeridas para apoyar el programa del tambor. Cada estación de trabajo debe estar sincronizada con los requerimientos del plan maestro de producción, de tal forma que el plan pueda ejecutarse. Esta es la función de la cuerda.

El problema básico de control se resuelve al garantizar que todos los centros de trabajo realicen las tareas programadas en la secuencia correcta. El camino más simple y efectivo para que un centro de trabajo procese la tarea en turno es si sólo se encuentra disponible y a la mano el material preciso para ese trabajo. En lugar de tratar de asignar prioridades adecuadas a todos los trabajos disponibles, como trata el sistema tradicional, el sistema logístico **D.B.R.** limita estrictamente la disponibilidad de los materiales en un centro de trabajo a tan sólo lo que se necesite de inmediato.

La disponibilidad de los materiales es la clave para controlar la ejecución del plan programado para sincronizar el flujo de producción. La disponibilidad de los materiales es función de la cantidad y programación de su entrada al sistema en los puntos de su propia liberación.

El no contar con suficiente material o tener el equivocado durante el proceso, repercute negativamente en el flujo de producción. De igual manera, tener demasiado material también puede impedir un flujo estable y perjudicar las entregas. Es necesario controlar estrictamente los puntos de liberación de materiales.

El mecanismo de la cuerda enfoca la función de control tan sólo a las áreas críticas y mantiene la información y el nivel de información del detalle al mínimo requerido. Nos ayudará a garantizar que:

- Los recursos de capacidad sin restricción se utilicen correctamente y no sobreactivados o desubicados.
- El material se libera al sistema y fluye a los amortiguadores de la manera apropiada para cumplir así el **throughput** planeado.

5.8.3.1. Puntos de control:

En el sistema **D.B.R.**, cualquier punto en el flujo donde se requiera un programa detallado para mantener el control del flujo de producción, se denomina punto de control del programa. Estos puntos por definición se pueden encontrar sólo en las siguientes cuatro categorías:

- Liberación de materiales.
- Cuellos de botella.
- Puntos de divergencia.
- Puntos de ensamble.

PUNTO DE DIVERGENCIA EN EL FLUJO DE PRODUCCIÓN

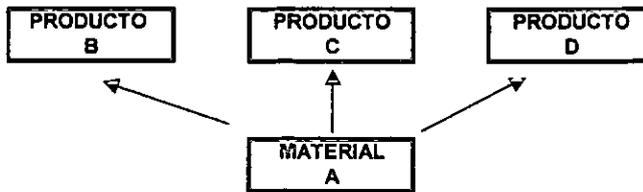


FIGURA 5.6. Punto de divergencia en el flujo de producción.

PUNTO DE ENSAMBLE EN EL FLUJO DE PRODUCCIÓN

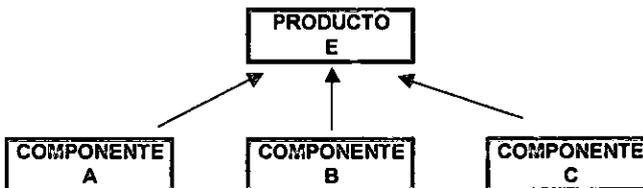


FIGURA 5.7. Punto de ensamble en el flujo de producción.

El elemento final del sistema **D.B.R.**, la cuerda, representa el elemento que nos permite sincronizar los recursos de capacidad sin restricción, con la restricción o cuello de botella del sistema. Como la mayoría de los recursos en cualquier planta no son cuellos de botella, vale la pena implementar con éxito el mecanismo de sincronización. La cuerda nos permite realizar esta tarea de una forma simple al dirigirse hacia los pocos puntos de control en el flujo de la producción, donde se llevan a cabo las decisiones entre cuál material, en qué cantidad, con qué secuencia, etc. son críticos. Todos los demás recursos reciben instrucciones de ejecución de acuerdo al sistema *primero en entrar, resulta el primero en salir*.

Como resumen de este marco teórico podemos decir que el sistema **D.B.R.** administrado correctamente nos permitirá maximizar el **throughput** de la planta, minimizando el inventario a través del control exacto y preciso de los amortiguadores para lograr un sistema simple de ejecución, controlando los recursos de capacidad sin restricción y con instrucciones mínimas necesarias.

Capítulo 6

CAPÍTULO 6

6. Implementación del sistema Tambor – Cuerda – Amortiguador D.B.R. en la empresa motivo de este proyecto de tesis.

6.1. Introducción.

La empresa motivo de este estudio manifiesta serios problemas en el control y la planeación de la producción, así como en su estructura organizacional. En este capítulo utilizaremos algunos principios de la teoría de restricciones T.O.C. y del sistema D.B.R. para tratar de implementar elementos que nos permitan resolver dichos problemas.

Recordemos que en el capítulo 3 explicamos los cinco puntos focales de T.O.C. para el proceso de mejoramiento continuo, base para la construcción del sistema D.B.R.

Proceso de la mejora continua:

1. Identificar las restricciones del sistema; determinar qué recursos limitan el desempeño del sistema.
2. Decidir cómo **explotar** la restricción del sistema.
3. Subordinar toda acción a la decisión anterior; realizar una administración efectiva de la restricción como prioridad.
4. Elevar la restricción; romper la restricción al aumentar la capacidad del recurso cuello de botella de la organización.
5. Si se ha roto una restricción en los pasos anteriores, regresar al paso 1 sin permitir que la inercia del sistema cree una nueva restricción.

6.2. Implementación paso a paso del sistema D.B.R., desarrollo del tambor.

Identificar las restricciones del sistema; determinar qué recursos limitan el desempeño del sistema.

6.2.1. Procedimiento para determinar restricciones físicas:

El sistema tradicional y primero que nos viene a la mente consiste en calcular la cantidad de activos, recursos o materiales para satisfacer la demanda del mercado. El siguiente paso es comparar los requerimientos del mercado con la disponibilidad de los activos. Una herramienta muy útil para determinar la disponibilidad de los recursos es el diagrama de perfil de carga de recursos. En este diagrama se puede graficar la carga de trabajo planeada de un recurso durante un periodo de tiempo establecido. La carga de trabajo se representa en términos de los requerimientos diarios derivados de la mezcla de producción programados y se compara esta carga de trabajo con la capacidad disponible del recurso. Sin embargo, el resultado de este tipo de análisis depende de la exactitud en la información acerca de la mezcla de producción, los tiempos estimados de entrega, los tiempos de preparación y de proceso y la disponibilidad de materiales en el inventario. En la mayoría de las empresas manufactureras, los datos que describen este tipo de información contienen muchos errores y es necesario realizar un esfuerzo monumental para limpiar estos errores, antes de poder realizar un análisis de carga e identificar los recursos con restricción de capacidad.

El Dr. Goldratt no recomienda utilizar la información de los sistemas M.R.P. para análisis de carga o el plan maestro de producción, debido a que él cuestiona la validez de los datos que utilizan estos sistemas. El resultado de este análisis depende en gran medida de información crítica de la mezcla de producción; de la estimación de fechas de entrega; de los tiempos de preparación y tiempos de proceso. Esta situación podría compararse a la identificación de restricciones de materiales. Para evitar todo el

esfuerzo y tiempo perdido depurando los sistemas de información, se puede recurrir a la gente de producción como: expeditadores o supervisores en la identificación de cuellos de botella, ya que ellos conocen los recursos y materiales, que ocasionan la mayoría de los problemas.

La identificación de las restricciones puede definirse como un proceso iterativo. Recorramos los pasos por identificar, explotar y subordinar una y otra vez. Cada vez, agregando otra restricción a la lista, hasta que llegemos a una etapa en la que, al final de la subordinación, no se encuentre violación alguna de la realidad. Así que la pregunta es ¿qué podemos declarar desde el principio como restricción con alta probabilidad de que lo sea?

La mayoría de las restricciones que enfrentamos en la realidad, no son cuellos de botella sino recursos que no tienen suficiente capacidad de protección. La marca de un recurso restricción, que no tiene capacidad de protección suficiente debido a que dicho recurso aunque en promedio tiene capacidad suficiente, no puede manejar sus picos de carga. La cantidad necesaria de capacidad de protección, que debe de tener un recurso, camina en función de la longitud del amortiguador de tiempo.

Para verificar si tenemos o no un cuello de botella, primero calculamos la carga total, colocada sobre cada uno de los tipos de recurso; la carga generada por los pedidos que deban trabajarse durante el horizonte del programa.

La presencia de un cuello de botella significa que no podemos cumplir con todos los pedidos en sus determinadas fechas de vencimiento; sencillamente no tenemos capacidad disponible suficiente por lo menos en un recurso; algo tendrá que analizarse y modificarse. Necesitamos una forma apropiada para que el sistema de información pueda enfrentar el conflicto, para que ese tipo de decisiones puedan tomarse fácilmente, pero no por el sistema, sino por los gerentes responsables.

En este estudio de tesis se sustentará un modelo de sistema para obtener información acerca de la utilización de los recursos de la empresa. La información generada por el modelo, ayudará a identificar el cuello de botella y los recursos con restricción de capacidad. No es una simulación debido a que no interviene la probabilidad. Los resultados obtenidos se validarán con la operación cotidiana de la planta para justificar esos resultados con la realidad.

El modelo utilizará un producto representativo de cada una de las familias que tiene la empresa en su catálogo.

Familias:

1. Brazos colgadores.
2. Cremalleras.
3. Estantería.
4. Ganchos.
5. Ménsulas.
6. Racks exhibidores de ropa.

El horizonte planeado para realizar el experimento de detección del cuello de botella durará un año.

6.2.2. Formulación del problema.

El modelo informático o computacional de la operación de la empresa permitirá determinar el recorrido de los materiales durante su fabricación; la ruta crítica en la fabricación de los artículos; el nivel de servicio de la empresa; el porcentaje de utilización de los recursos; el inicio y terminación de fabricación de todos los pedidos; el número de lotes en que se dividió cada pedido y el tiempo de espera de los materiales

para ser procesados. Esta información resulta muy importante para analizar la capacidad de la planta y gracias a los resultados obtenidos se identificarán las restricciones del sistema.

6.2.3. Los objetivos perseguidos por dicho modelo son los siguientes:

- Modelar la fabricación de varios pedidos con un horizonte de planeación definido con duración de un año.
- Determinar el tiempo de fabricación para todos los pedidos; este dato es importante para la planeación de la producción.
- Determinar el nivel de servicio de la empresa con la información utilizada en el modelo.
- Determinar el porcentaje de utilización de los recursos en el horizonte de tiempo planeado.
- Verificar la secuencia que siguen los materiales durante su fabricación.
- Los pedidos se fabricarán de acuerdo a su ruta crítica.
- Identificar cuellos de botella y el tiempo de espera de los materiales para ser procesados.

6.2.4. Construcción del modelo de la empresa.

Se utilizará el lenguaje de alto nivel C++ de BORLAND en la construcción del modelo de la empresa y de algún editor de textos para almacenar la información que requiera el modelo.

6.2.5. Recopilación de la información.

La siguiente información es necesaria para construir el modelo:

- Asignar los códigos y números de parte a productos y componentes.
- Codificar la lista de recursos de la empresa como: máquinas y estaciones de trabajo.
- Determinar las rutas de fabricación de los productos.
- Determinar los tiempos de preparación y de fabricación de los productos para cada operación.
- Determinar el tamaño del lote de proceso de los artículos.
- La información necesaria para cada pedido será: el tiempo de llegada y generación de la orden de trabajo; el artículo por fabricar; la cantidad y el tiempo de entrega del pedido.
- Cada artículo tendrá codificada su ruta de fabricación en un archivo de datos llamado rutas.dat. La información necesaria de cada ruta será: la máquina o estación de trabajo donde se realiza la operación; el número de máquina; el tiempo de fabricación para la operación correspondiente; el tamaño de lote de proceso y la unidad equivalente de movimiento para el análisis de flujo de los materiales.
- Los resultados del modelo se guardarán en dos archivos diferentes de salida. En uno de los archivos se guardarán los resultados, y en el otro archivo se guardarán todos los eventos operativos generados en el modelo.

6.2.6. Suposiciones del modelo.

Una de las ventajas de utilizar un lenguaje de alto nivel informático para la construcción del modelo del sistema real consiste en permitir al programador determinar las entradas, salidas y alcances del modelo. En este caso particular las suposiciones del modelo resultan las siguientes:

- Se dispondrá siempre de la materia prima.
- No se producirán paros de máquina debido a descomposturas de los equipos.
- No se producirán paros debido al ausentismo de los trabajadores.
- Las unidades de tiempo adoptarán siempre a la unidad.
- Los pedidos se fabricarán según su tiempo de llegada y se atenderá de acuerdo a la regla: primeras entradas, primeras salidas.
- Si una estación de trabajo se encuentra ocupada se busca otra similar y se le asigna el trabajo a ésta; en caso contrario el material deberá esperar su proceso en la estación de trabajo original.
- En caso de que todas las estaciones de trabajo semejantes estuvieran ocupadas, se asignaría el trabajo a la primera desocupada.
- La secuencia en la fabricación de los productos se determina para dar preferencia a su ruta crítica.
- El nivel de servicio de la empresa será calculado como el cociente del número de pedidos entregados a tiempo entre el número total de pedidos en el modelo.
- Los resultados de los archivos de salida se imprimen en formato de texto y pueden analizarse con la ayuda de alguna hoja de cálculo como EXCEL, LOTUS, etc., o de algún editor de textos.

6.2.7. Traducción del modelo.

Como ya se ha dicho anteriormente se utilizará el lenguaje de alto nivel C++ de Borland en la traducción del modelo. El siguiente paso consistirá en desarrollar el algoritmo del programa para posteriormente elaborar el código del mismo.

6.2.8. Algoritmo del programa.

6.2.8.1. Definición: Un algoritmo es un conjunto finito de instrucciones con un orden establecido que sirven para realizar una tarea en particular. Todos los algoritmos deben satisfacer también los siguientes criterios:

1. Entradas: Existen cantidades que se proporcionan externamente.
2. Salidas: Cuando menos se produce un valor o cantidad de salida.
3. Definición clara: Cada instrucción debe ser clara.
4. Finito: Si se siguen todas las instrucciones de un algoritmo para todos los casos, el algoritmo terminará después de un número finito de pasos.
5. Efectivo: Cada instrucción debe ser lo suficientemente básica para que cualquier persona con papel y lápiz la pueda llevar a cabo, siguiendo sus pasos.

6.2.8.2. Algoritmo del modelo para la empresa.

Leer información del archivo de datos
 Generar la lista de máquinas o estaciones de trabajo
 Leer la información del archivo de pedidos
 Generar la lista de pedidos como eventos ordenados por tiempo de llegada
 Repetir mientras haya eventos que procesar:
 Leer el primer evento de la lista
 Si el evento es un nuevo pedido
 Buscar su ruta de fabricación en el archivo de rutas
 Construir su ruta de fabricación
 Determinar su ruta crítica y reconstruir la ruta
 Verificar el estado general de los recursos:
 Verificar qué estaciones de trabajo de la ruta están en condiciones de iniciarse
 Para cada uno que pueda iniciarse:
 Si la máquina (género y número) especificada está libre:
 Iniciar ese paso
 Actualizar las variables de los registros
 Generar un evento para su terminación y agregarlo a la lista de eventos
 Si la máquina no está disponible, buscar una del mismo tipo que esté libre
 Si está libre:
 Iniciar ese paso
 Actualizar las variables de los registros
 Generar un evento de terminación y agregarlo a la lista de eventos
 Si no hay máquina disponible, se suspende esta etapa y se registra el tiempo en que se haya detenido y de espera de los materiales
 Se borra el evento de la lista y avanza al siguiente
 Si el evento es término de una máquina o estación de trabajo
 Verifica cómo sigue el proceso general:
 Se transfieren los lotes a la siguiente máquina o estación
 Se actualiza la información para la matriz de movimientos origen-destino
 Si terminó el pedido, verificar:
 Si el tiempo de fabricación es menor al tiempo de entrega
 Incrementa casos favorables
 Si no
 No se entregó a tiempo el pedido
 Se busca para todos los pedidos activos y para todas las etapas o estaciones de trabajo del pedido (x) si pueden ser activadas en la máquina
 Si se encuentra una:
 Activarla y terminar esta búsqueda
 Se borra el evento de la lista y avanza al siguiente
 Hasta que ya no hayan eventos por procesar
 Imprimir la información en los archivos de salida.

En el Anexo 5 se encuentra el código del modelo del sistema.

6.2.9. Descripción de los archivos de datos.

La información de entrada de datos para el modelo se divide en tres archivos: uno contiene la información de los recursos; otro la información de los pedidos y el tercero la información de las rutas de fabricación de los artículos. La información generada por el modelo se guardará en dos archivos de salida.

6.2.9.1. Archivo de datos: DATOS.DAT

El archivo de datos debe contener la siguiente información: cantidad de máquinas o estaciones de trabajo similares; el código o nombre de la máquina o estación - máximo tres caracteres -. Después de la última máquina se deberá poner un cero y la palabra *nada* para indicar la terminación de los recursos. A continuación, la palabra *lotes* se utiliza para indicar que se trabaja por lotes de proceso y los nombres de los archivos, que contienen la información de las rutas de fabricación; el archivo de los pedidos; el nombre del archivo de salida detallada y por último el nombre del archivo de resultados. Para la codificación de este archivo se requiere de algún editor de textos.

El siguiente es un ejemplo de la información que contiene el archivo de datos:

```

1
LC
2
SOL
1
CR
0
nada
lotes
rutas.dat
pedidos.dat
detalle.dat
salida.dat

```

En este ejemplo LC representa una línea de corte; SOL representa un equipo de soldadura y CR la cromadora. La información se guarda sólo con un dato por renglón sin tabuladores.

6.2.9.2. Archivo de Rutas RUTAS.DAT

En este archivo se codifican las rutas de fabricación de los artículos. Las rutas de fabricación deberán construirse iniciando con la última operación y continuando con sus antecesoras. Este procedimiento se necesita para posteriormente simplificar la construcción de la ruta por el programa.

Las reglas para la codificación del archivo de rutas son las siguientes:

- Empezar con el código del artículo; en este caso será de cinco caracteres.
- Después del nombre deberá seguir el signo de dos puntos.
- Al abrir un signo de paréntesis se creará un nodo para construir la ruta. Se deberá abrir un paréntesis cada vez que siga otra operación en la ruta.
- Después del paréntesis aparece el código de la máquina o estación de trabajo. Este código puede ser hasta de tres caracteres.
- Los parámetros de las máquinas se resaltarán entre corchetes separados por un espacio. Los cuatro parámetros que utiliza el programa son : número de máquina o estación de trabajo; el tiempo de fabricación por unidad; el tamaño de lote y la unidad equivalente de movimiento para el análisis del flujo de materiales.
- En la construcción de las rutas o ramas se debe prestar mucha atención a las operaciones y a sus antecesores. Un paréntesis abierto como se indicó anteriormente establece la creación de un nodo. Al cerrar un paréntesis se forma el “lazo” o la unión entre dos nodos. Un segundo paréntesis cerrado crea un lazo o unión entre la pareja anterior y la operación que les antecedió y así sucesivamente.

- Al finalizar cada ruta se deberá poner el signo de punto y coma.

Ejemplo del archivo de rutas:

```
EN022:(APT[1 0 60 1] (PIN[1 40 60 1] (PU[1 40 60 1] (SOL[1 40 250 1] (D[1 15 60 1]
(LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3 2000 1]))
(LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3 2000 1]))
(PUN[1 50 60 1] (R[1 15 60 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))
(R[1 20 60 1] (T[1 20 60 1] (LC[1 20 800 1] (ARL[1 1 800 1])))) ) ) ));
```

En el Anexo 2 se presenta el diagrama de la ruta de fabricación para un entrepaño de 22” * 48”.

6.2.9.3. Archivo de pedidos PEDIDOS.DAT

En este archivo se codifican los pedidos. La información requerida de los pedidos es la siguiente: el tiempo de llegada del pedido; el código del artículo con un máximo de cinco caracteres; la cantidad de artículos del pedido, y por último el tiempo de entrega del pedido.

Ejemplo:

```
1
ME100
500
2000
```

El código ME100 representa un producto de la familia de ménsulas; el pedido es de 500 piezas y la fecha de entrega es en el tiempo 2000. Al igual que el archivo de datos.dat se almacena sólo un dato por renglón.

6.2.9.4. Archivo de la salida resumida SALIDA.DAT

En el archivo de la salida resumida se guardan los siguientes resultados:

- Al inicio aparece el enunciado: usando lotes que indica que los pedidos se fabricarán de acuerdo a lotes de proceso establecidos.

- Información acerca del pedido: artículo del pedido; el tiempo de llegada del pedido; tiempo requerido para terminar su fabricación, y por último si se entregó a tiempo o no, según el tiempo de entrega establecido, en el archivo de pedidos. El siguiente enunciado indica las unidades equivalentes de movimiento en el manejo de los materiales.
- Al finalizar el resumen de los pedidos se indica el tiempo requerido para la fabricación de todos los pedidos del archivo de pedidos y el nivel de servicio de la empresa.
- Por último en el archivo de resumen aparece un reporte de utilización de los recursos, que indica el porcentaje del tiempo ocupado por cada máquina o estación de trabajo durante la fabricación de todos los pedidos.

Ejemplo del archivo de salida resumida:

Usando lotes

****Pedido: CRE04 llegó: 1 terminó: 1551 y estuvo a tiempo**
 Las unidades equivalentes movidas fueron: 12
 para 12 lotes en que se dividió el pedido

Tiempo total requerido para correr el modelo: 1551
 Nivel de servicio: 1

Reporte de máquinas:

C 1 ocupado: 50 = 3.2 %
 C 2 ocupado: 100 = 6.4 %
 C 3 ocupado: 150 = 9.7 %
 D 1 ocupado: 0 = 0 %
 D 2 ocupado: 100 = 6.4 %
 T 1 ocupado: 600 = 39 %
 P 1 ocupado: 0 = 0 %
 PP 1 ocupado: 600 = 39 %
 PIN 1 ocupado: 200 = 13 %

En este ejemplo podemos observar que el pedido del producto CRE04, representativo de la familia de cremalleras, llegó en el tiempo 1 y se finalizó en el tiempo 1551. En este caso el pedido se terminó antes de la fecha de entrega, por lo tanto

el nivel de servicio fue de uno: se fabricó un solo pedido y se entregó a tiempo. El reporte de máquinas nos indica el porcentaje de tiempo que requirieron los recursos para la fabricación de este pedido. Podemos observar que los recursos D1 –dobladora 1- y P1 –pulido 1 - no fueron utilizados para la fabricación del producto y los recursos T1 y PPI fueron utilizados en un 39% del tiempo requerido para la fabricación de la cremallera.

6.2.9.5. Archivo detallado DETALLE.DAT

En el archivo de detalle se imprime la información de todos los eventos operativos generados durante la corrida del modelo:

- Artículo, cantidad del pedido, tiempo de llegada y tiempo de entrega.
- Finalización de una máquina o estación de trabajo, indicando el tiempo del inicio y su terminación, así como el artículo que se fabricó y el recurso utilizado.
- Al terminar de imprimir los eventos aparece un resumen de las rutas de fabricación, indicando qué estaciones pertenecen a la ruta crítica y si sufrieron tiempo de espera para ser procesadas.
- Por último aparece la matriz de los movimientos de lotes, que se realizaron durante la corrida del modelo para generar así la matriz origen-destino para el análisis de flujo de materiales.

Ejemplo del archivo de salida detallada:

Nuevo Pedido(1)

Artículo: CRE04 cant: 10 Llego: 1 Entrega: 2001

Fin Máquina(1-1) CRE04 en Máquina: AL1

Fin Máquina(1-1) CRE04 en Máquina: AL1

Fin Máquina(1-51) CRE04 en Máquina: C1

Fin Máquina(1-51) CRE04 en Máquina: C3

Fin Máquina(51-151) CRE04 en Máquina: C2

Fin Máquina(51-151) CRE04 en Máquina: C3

Fin Máquina(151-251) CRE04 en Máquina: D2

Fin Máquina(151-451) CRE04 en Máquina: T4

Fin Máquina(451-1051) CRE04 en Máquina: PP1

Fin Máquina(1051-1351) CRE04 en Máquina: T4

Fin Máquina(1351-1551) CRE04 en Máquina: PIN1

Fin Máquina(1551-1551) CRE04 en Máquina: APT1

Máquina: AL 1 (0, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. espera: 0 (crit)

Máquina: C 1 (5, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. espera: 0 (crit)

Máquina: C 2 (10, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. espera: 0 (crit)

Máquina: T 4 (30, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. entrega: 0 (crit)

Máquina: PP 1 (60, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. espera: 0 (crit)

Máquina: T 4 (30, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. espera: 0 (crit)

Máquina: PIN 1 (20, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. Espera: 0 (crit)

Máquina: APT 1 (0, 200, 1) artículo: CRE04 tpo. Espera: 0 (crit)

Máquina: AL 1 (0, 200, 1) artículo: CRE04 tpo espera: 0

Máquina: C 1 (5, 200, 1) artículo: CRE04 tpo espera: 0

Máquina: C 2 (10, 200, 1) artículo: CRE04 tpo espera: 0

Máquina: D 2 (10, 200, 1) artículo: CRE04 tpo espera: 0

TABLA 6.1. Archivo de salida detallada.

Del ejemplo podemos observar que el nuevo pedido 1 corresponde a la fabricación de 10 cremalleras mod. CRE04. El pedido llegó en el tiempo 1 y su fecha de entrega es en el tiempo 2001. A continuación se enlistan los eventos de finalización de las operaciones en los diferentes recursos utilizados en la fabricación del producto. Los números entre los paréntesis indican el tiempo de inicio y el tiempo de terminación de la operación. Enseguida se imprime el código del artículo y en qué máquina o recurso se llevó a cabo la operación. Al terminar todas las operaciones se imprime la información acerca de los recursos, que forman parte de la ruta crítica del artículo: código de la máquina o recurso seguido por la información de tiempo de proceso, tamaño del lote y

el valor de su unidad equivalente de movimiento.³ Posteriormente se imprime nuevamente el artículo fabricado y el tiempo de espera de los materiales para ser procesados en el recurso, que forma parte de la ruta crítica del artículo. Esta información le permite al planeador conocer si los recursos, que pertenecen a la ruta crítica de fabricación, se encuentran disponibles o no cuando llegan los materiales para ser procesados. Al terminar de imprimir la información de todos los recursos o máquinas que forman parte de la ruta crítica se imprimen los demás resultados de los recursos, que no forman parte de ella.

6.2.10. Cómo funciona el programa:

El programa del modelo está compilado como una aplicación de *Windows* y requiere de la versión 3.1 o superior. Al correr el programa desde el comando Ejecutar del paquete de *Windows*, pregunta el nombre del archivo de datos que como se explicó anteriormente contiene la información necesaria para correr el modelo en la computadora. Es importante que todos los archivos se encuentren en el mismo directorio de trabajo. La corrida del modelo tarda unos cuantos segundos en ejecutarse. Los resultados se imprimen en los archivos de salida de resumen y detallado. Esta información puede accederse desde cualquier editor de textos.

6.2.11. Presentación de resultados al correr el modelo, identificación de la restricción.

En párrafos anteriores mencionamos que el horizonte de planeación para correr el modelo era de un año. En base a datos estadísticos generados durante los últimos dos años de operación de la empresa, se recopiló la información acerca de los pedidos y

³ unidad equivalente de movimiento se refiere al valor de peso asignado al lote para determinar la

cantidad de artículos en promedio, que se fabricaron durante ese lapso. En la siguiente tabla se muestra la información de los pedidos: tiempo de llegada del pedido; el código del artículo; la descripción del producto representativo de las diferentes familias y su acabado; la cantidad de productos a fabricar y por último la fecha de entrega de los pedidos. Se consideró la misma fecha de entrega para todos los pedidos, que coincide con el tiempo productivo de un año de trabajo considerando turnos laborales de nueve horas diarias. La cantidad total de productos como se muestra en la tabla 6.2. fue de 514,000 piezas.

TIEMPO DE LLEGADA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ACABADO	CANTIDAD	FECHA DE ENTREGA
1	PL024	PLATAFORMA CENTRAL DE 24" * 48"	BEIGE	6000	10929600
1	CRE04	CREMALLERA OCULTA 96"	BEIGE	18000	10929600
5	PL018	PLATAFORMA CENTRAL DE 18" * 48"	BEIGE	2000	10929600
6	ME120	MENSULA DE 12"	CROMO	120000	10929600
7	EN022	ENTREPAÑO DE 22" * 48"	BEIGE	24000	10929600
8	ZO100	ZÓCLO LATERAL DE 48"	NEGRO	10000	10929600
9	GA308	GANCHO DE 8"	CROMO	120000	10929600
10	UR101	POSTE PARA GÓNDOLA DE 84"	BEIGE	3000	10929600
11	BR320	BRAZO COLGADOR DE 12"	CROMO	31000	10929600
12	RA810	RACK PERCHERO DE 4 BRAZOS	CROMO	8000	10929600
13	CRE02	CREMALLERA EXPUESTA DE 96"	CROMO	30000	10929600
14	CL152	CLIP CENTRAL	NIQUEL	100000	10929600
15	BA100	BARRA COLGADORA 96"	CROMO	8000	10929600
16	SO100	SOPORTE DE 48"	BEIGE	18000	10929600
17	MC001	MARCO DE CABECERA DE 49" * 69"	BEIGE	2000	10929600
18	MA100	MARCO TIPO PESADO	BEIGE	3000	10929600
19	VI100	VIGA DE 48"	BEIGE	12000	10929600
20	AC100	ACCESORIOS	CROMO	4000	10929600
TOTAL:				514000	

TABLA 6.2. Productos fabricados en un año.

dificultad para transportar o mover el lote. Esta información es necesaria para el análisis de flujo de materiales.

Todos los pedidos se completaron antes del periodo de tiempo establecido de un año. En la siguiente tabla 6.3. se presentan los resultados generados por el modelo computacional de la utilización de los recursos de la empresa.

HORAS/TURNO 9
 TIEMPO: 10928509
 TOTAL DE DÍAS: 337.24

RECURSOS	SEGUNDOS	HORAS	PORCENTAJE UTILIZACIÓN
C1 ocupado:	1262500	350.69	12 %
C2 ocupado:	1320000	366.67	12 %
C3 ocupado:	1258000	349.72	12 %
C4 ocupado:	1289500	358.19	12 %
CR1 ocupado:	10150000	2,819.44	93 %
CR2 ocupado:	3945000	1,095.83	38 %
CR3 ocupado:	6855000	1,848.61	61 %
D1 ocupado:	1020000	283.33	9.3 %
D2 ocupado:	1050000	291.67	9.6 %
D3 ocupado:	360000	100.00	3.3 %
D4 ocupado:	688100	191.42	6.3 %
D5 ocupado:	1250900	347.47	11 %
LC1 ocupado:	980000	275.00	9.1 %
LC2 ocupado:	990000	275.00	9.1 %
P1 ocupado:	8512000	2,364.44	78 %
P2 ocupado:	60000	16.67	0.55 %
P3 ocupado:	2170000	602.78	20 %
P4 ocupado:	630000	175.00	5.8 %
P5 ocupado:	9078000	2,521.67	83 %
P6 ocupado:	10800000	3,000.00	99 %
P7 ocupado:	2360000	655.56	22 %
PIN1 ocupado:	3070000	852.78	28 %
PP1 ocupado:	1200000	333.33	11 %
PP2 ocupado:	281200	72.56	2.4 %
PP3 ocupado:	418800	118.33	3.8 %
PU1 ocupado:	860000	268.67	8.8 %
PUN1 ocupado:	1440000	400.00	13 %
R1 ocupado:	1052000	292.22	9.6 %
SI1 ocupado:	500000	138.89	4.6 %
SI2 ocupado:	480000	133.33	4.4 %
SI3 ocupado:	1005000	279.17	9.2 %
SI4 ocupado:	515000	143.08	4.7 %
SI5 ocupado:	630000	175.00	5.8 %
SOL1 ocupado:	1636800	454.67	15 %
SOL2 ocupado:	1034400	287.33	9.5 %
SOL3 ocupado:	1388800	385.78	13 %
SOL4 ocupado:	9045000	2,512.50	83 %
SOL5 ocupado:	1880000	516.67	17 %
SOL6 ocupado:	4800000	1,333.33	44 %
T1 ocupado:	1440000	400.00	13 %
T2 ocupado:	763000	211.94	7 %
T3 ocupado:	1200000	333.33	11 %
T4 ocupado:	1125000	312.50	10 %
T5 ocupado:	847000	235.28	7.8 %
T6 ocupado:	1233000	342.50	11 %
T7 ocupado:	1031000	286.39	9.4 %
T8 ocupado:	1257000	349.17	12 %
T9 ocupado:	1324000	387.78	12 %

TABLA 6.3. Porcentaje de utilización de los recursos.

El tiempo requerido para terminar todos los pedidos fue de 10926509 unidades de tiempo – segundos -. Al considerar turnos de nueve horas productivas por día, todos los pedidos se terminaron en 338 días. La información de esta tabla la podemos ver ilustrada en la gráfica 6.1. Utilización de los recursos.

6.2.12. Interpretación de la gráfica de utilización de recursos.

En esta gráfica podemos representar la utilización de los diferentes recursos de la empresa. En el eje x encontramos los recursos y en el eje "y" el porcentaje de utilización de los mismos. Es una herramienta que nos ayuda a determinar el recurso cuello de botella y los recursos con restricción de capacidad. Los recursos que se utilicen más de un 70% pueden ser considerados como recursos con restricción de capacidad, que denotaremos con las iniciales CCR de su traducción en inglés: **capacity constraint resources**. Los recursos CCR no cuentan con suficiente capacidad protectora, por lo tanto el programador de la producción deberá considerar la capacidad disponible de los CCR durante la elaboración del programa de producción.

La información generada por el modelo computacional de la empresa y la gráfica de utilización de recursos nos indica claramente que los recursos con restricción de capacidad son el departamento de soldadura, el departamento de pulido y la línea de cromado.

Lo más conveniente para iniciar la implementación de D.B.R., según el Dr. Goldratt, es identificar a uno de estos departamentos como el cuello de botella de la empresa, y a partir del recurso que escojamos, construir el tambor para explotar el cuello de botella y subordinar la activación y utilización de todos los demás recursos a la acción anterior.

La mayoría de los productos, que se fabrican en la empresa tienen un acabado final de níquel o cromo. Al realizar un análisis de carga de trabajo para los departamentos de pulido y cromo, identificamos que su capacidad no es suficiente. Para solucionar este problema, la empresa maquila un porcentaje mayor al 50% de su producción en talleres de pulido y cromadoras externos.

En el caso del departamento de soldadura la situación es más complicada. Los trabajos de ensamble de los racks, accesorios y muebles metálicos especiales requieren de mucha habilidad de los soldadores. La empresa no cuenta con subcontratistas calificados por lo tanto este trabajo no se subcontrata a talleres externos por problemas en la calidad final de los productos. Debido a este problema identificaremos al departamento de soldadura como el recurso cuello de botella de la empresa y al pulido y cromado como recursos con restricción de capacidad CCR. La carga de trabajo de estos recursos deberá ser monitoreada constantemente durante el proceso de subordinación del sistema D.B.R. para proteger el throughput de la empresa.

Los resultados del modelo computacional, en cuanto a la utilización de los recursos e identificación del departamento de soldadura, como el cuello de botella de la empresa y al pulido y cromado como recursos con restricción de capacidad, son respaldados por la opinión de los supervisores y expeditores de producción quienes conocen mejor la operación diaria de la empresa.

Con estos resultados nos encontramos listos para continuar con los pasos para la implementación del sistema D.B.R. en la empresa. El punto inicial de identificación de la restricción ha sido cubierto.

6.3. Determinar qué componentes pasan por la restricción.

Una vez que ya determinamos la restricción o restricciones del sistema, el siguiente paso es analizar qué artículos pasan por la restricción durante su proceso productivo. Para realizar esta tarea analizaremos las rutas de proceso de los productos.

Las herramientas más utilizadas por los ingenieros industriales para este análisis son el diagrama de rutas de proceso y los cursogramas analíticos, por mencionar algunas.

En la siguiente tabla 6.4. se presentan quince productos representativos y se identifican por medio de una cruz los procesos de manufactura en los diferentes departamentos de la empresa.

	PRODUCTO	C	T	D	R	SOL	PUN	PU	CR	PIN	EMP	
1	POSTES	X	X	X	X		X	X			X	X
2	RACKS PINTADOS	X	X	X	X		X				X	X
3	RACKS CROMADOS	X	X	X	X		X		X	X		X
4	BRAZOS CROMADOS	X	X	X	X		X		X	X		X
5	MENSULAS CROMADAS		X	X					X	X		X
6	CREMALLERAS EXPUESTAS		X	X	X				X	X		X
7	CREMALLERAS OCULTAS		X	X	X			X			X	X
8	CLIPS		X	X					X	X		X
9	PLATAFORMAS CENTRALES		X	X	X	X	X	X			X	X
10	PLATAFORMAS DE CABECERA		X	X	X	X	X	X			X	X
11	ENTREPAÑOS		X	X	X	X	X	X			X	X
12	ZOCLOS		X	X	X						X	X
13	MARCOS DE CABECERA	X	X	X	X		X					X
14	SOPORTE SUPERIOR		X	X	X			X			X	X
15	SOPORTE INFERIOR	X	X	X	X		X	X			X	X

LEYENDA DE DEPARTAMENTOS:

C.T. CORTE DE TUBO	PUN PUNTEADO
C.L. CORTE DE LÁMINA	PU PULIDO
T TROQUELADO	CR CROMO
D DOBLEZ	PIN PINTURA
R ROLADO	EMP EMPAQUE
SOL SOLDADURA	

TABLA 6.4. Análisis de rutas de proceso para 15 productos.

De la tabla del análisis de rutas de proceso, podemos observar que todos los productos pasan por las operaciones de corte de lámina y troquelado; la mayoría de ellos pasan por las operaciones de soldadura, donde se realizan los ensambles de los productos. Los herrajes de catálogo como ménsulas, clips, cremalleras, brazos colgadores y la mayoría de racks exhibidores que se fabrican con altos volúmenes de producción pasan por las operaciones de pulido y cromado, que hemos identificado como recursos con restricción de capacidad.

6.4. Determinar las prioridades de producción para la restricción.

El criterio básico, que seguirá el programa del tambor, será atender bajo el sistema de primeras llegadas, primeras salidas. En el caso de existir conflictos, que pongan en riesgo la entrega puntual de algunos pedidos, se le pedirá al usuario del

sistema interactuar para tratar de resolverlos y cambiar algunas prioridades, una vez que haya agotado los recursos para explotar la restricción y se mantengan algunos conflictos de pedidos, que se entregarán tarde.

Algunos autores como James F. Cox Michael S. Spencer⁴ sugieren utilizar la fórmula de contribución marginal por minuto de la restricción para cada producto, para determinar las prioridades de producción. La contribución marginal para cada producto se calcula al dividir su **throughput** entre el tiempo requerido de trabajo en la restricción. Los productos con una contribución marginal mayor tendrán prioridad sobre los de menor contribución.

$$T_m = T / t_{res}$$

donde:

T_m = **throughput** marginal

T = **throughput**

t_{res} = tiempo restricción

Recordemos que **T** = precio venta – materia prima

Ejemplo de cálculo de contribución marginal para algunos artículos:

DESCRIPCION	PRECIO	MATERIA	THROUGHPUT	TIEMPO	
	VENTA	PRIMA		CCR min	T / t _{res}
ENTREPAÑO 22" * 48"	156.00	80.00	78.00	4.00	19.00
CREMALLERAS	100.00	45.00	55.00	3.00	18.33
PLATAFORMA 24" * 48"	174.00	98.00	78.00	5.00	15.20
RACK T	840.00	275.00	365.00	40.00	9.13
RACK SWASTICA	842.00	350.00	492.00	65.00	7.57
POSTE 43" * 84"	380.00	200.00	180.00	35.00	5.14
BRAZO COLGADOR	48.50	23.40	25.10	10.00	2.51
MENSULA 168	35.80	13.50	22.30	10.00	2.23

TABLA 6.5. Contribución marginal.

⁴ ref. Libro de The Constraints Management Handbook

De los ejemplos podemos observar que el artículo entrepaño de 22" * 48" tiene el mayor valor de contribución marginal de **throughput**.

Sin embargo, este mecanismo no será utilizado en este caso debido a que la empresa motivo de este estudio opera principalmente bajo pedido con diferentes prioridades.

Los criterios que sigue la empresa para determinar las prioridades son el tipo de cliente y la fecha de entrega requerida. Los pedidos de los proyectos de las empresas filiales del GRUPO tienen prioridad sobre los pedidos de clientes, que son exclusivos de la empresa.

6.5. Utilizar estas prioridades y construir una gráfica de Gantt para la utilización de la restricción.

La gráfica de Gantt es probablemente la primera técnica utilizada en la planeación y control de proyectos. Esta gráfica representa con sencillez un proyecto. El eje horizontal de la gráfica representa el tiempo; se programan las actividades y se representan por medio de un dibujo de barras, mostrando las relaciones de precedencia entre ellas. El porcentaje de avance de cada actividad se indica al sombrear la porción apropiada del dibujo de la barra o dibujando un "caret" en la barra. Al dibujar una línea vertical en la fecha actual se determina fácilmente si una actividad se encuentra adelantada o retrasada en el programa. Henry Laurence Gantt fue el inventor de la mencionada gráfica y es considerado uno de los tres personajes, junto con Frederick W. Taylor y Frank Bunker Gilbreth, que establecieron los fundamentos de la ingeniería industrial.

6.5.1. Construcción del reporte del tambor y gráfica de Gantt.

La información necesaria para construir el reporte del tambor y poder representarlo en una gráfica de Gantt es la siguiente:

- Número de orden de fabricación.
- Número de orden de trabajo.
- Descripción del producto.
- Cantidad de piezas a fabricar.
- Acabado del producto.
- Cuerda para dibujos.
- Cuerda para materiales.
- Fecha de requisición de materiales.
- Liberación de la orden de trabajo.
- Amortiguador de la restricción.
- Tiempo programado de trabajo para la restricción.
- Inicio de trabajo programado de la restricción.
- Fin de trabajo programado de la restricción.
- Amortiguador de embarque.
- Fecha de entrega del pedido al cliente.
- Recurso de la restricción que trabajará la orden de trabajo.

La columna de la cuerda para dibujos indica los días necesarios para que el departamento de ingeniería dibuje los planos y elabore los programas y desarrollos de corte, troquelado y doblado de los productos.

En la columna de cuerda para materiales, indicamos los días necesarios para pedir los materiales a los proveedores y éstos se encuentren disponibles para ser

procesados por la restricción en la fecha programada. El tamaño de la cuerda dependerá de la respuesta en la entrega de los materiales de los proveedores.

La columna de requisición de materiales nos indica la fecha en la que debemos elaborar la orden de compra de materiales a los proveedores. Esta fecha se determina de acuerdo al tamaño de la cuerda.

La fecha de liberación de la orden de trabajo, como su nombre lo indica, es la fecha en la que se inicia el trabajo.

El amortiguador para la restricción es el tiempo programado para asegurar que los materiales se encuentren disponibles antes de la restricción.

En la columna de tiempo programado de trabajo para la restricción determinamos el tiempo de trabajo estimado en el recurso restricción –soldadura- para procesar las órdenes.

El inicio de trabajo en la restricción es la fecha en que debe iniciarse el trabajo en este recurso.

En la siguiente columna de finalización de la restricción indicamos la fecha de término programada para la restricción. Esta fecha resulta de sumar a la fecha de inicio, el tiempo programado de trabajo para la restricción.

Al finalizar el trabajo, en la restricción debemos agregar un amortiguador de embarque para garantizar que todas las operaciones posteriores a la restricción se terminen a tiempo y no fallemos en la fecha de entrega prometida al cliente. La columna del amortiguador de embarque indica este tiempo.

La columna de fecha de entrega del pedido indica la fecha comprometida para entregarle al cliente su pedido.

La última columna cuyo encabezado es recurso le permite al programador identificar a qué recurso de la restricción le fue asignado el trabajo.

ID	D.F.	O.T.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ACABADO	CUERDA DIBUJO	CUERDA MATS.	REQUISICIÓN MATERIALES	LIBERACIÓN O.T.	AMORT. RESTRICCIÓN	TIEMPO RESTRICCIÓN	INICIO RESTRICCIÓN	FIN RESTRICCIÓN	AMORT. E.S. SANGRE	ENTREGA PEDIDO	RECURSO
1	1230	2110	POSTES	100	PINTURA	6	4	23-Dic-99	02-Ene-00	6	4	03-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00	EG01
2	1210	2115	BACAS	60	PINTURA	6	4	31-Dic-99	04-Ene-00	6	2	10-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00	EG02
3	1211	2118	GANCHOS PARA PANEL 6"	88	NIQUEL	6	4	30-Dic-99	03-Ene-00	6	3	09-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00	EG03
4	1230	2120	ENTREPAÑO DE 12" x 48"	250	PINTURA	6	4	02-Ene-00	09-Ene-00	6	2	12-Ene-00	14-Ene-00	8	22-Ene-00	EG04
5	1235	2122	INSULAS PARA BARRA B"	500	CROMO	6	4	28-Dic-99	01-Ene-00	6	5	07-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00	EG05
6	1236	2123	BARRAS COLGADORES DE 12"	125	NIQUEL	6	4	29-Dic-99	02-Ene-00	6	4	06-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00	EG06
7	1238	2124	BARRAS DE 48"	10	CROMO	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	1	13-Ene-00	14-Ene-00	8	22-Ene-00	EG07
8	1239	2126	BRAZOS COLGADORES DE 12"	20	CROMO	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	2	13-Ene-00	15-Ene-00	8	23-Ene-00	EG08
9	1240	2127	BRAZOS PARA BARRA DE 12"	250	NIQUEL	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	3	13-Ene-00	16-Ene-00	8	24-Ene-00	EG09
10	1242	2128	HERRAJES PARA MUEBLE LIA	70	CROMO	6	4	05-Ene-00	09-Ene-00	6	2	13-Ene-00	17-Ene-00	8	25-Ene-00	EG10
11	1243	2129	CANALES	30	ACERO	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	2	13-Ene-00	15-Ene-00	8	23-Ene-00	EG11
12	1244	2130	INSULAS DE 12"	1000	NIQUEL	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	2	13-Ene-00	15-Ene-00	8	23-Ene-00	EG12
13	1245	2131	PLATAFORMAS	200	PINTURA	6	4	05-Ene-00	09-Ene-00	6	5	13-Ene-00	18-Ene-00	8	28-Ene-00	EG13
14	1247	2132	PLATAFORMAS DE CABECERA	100	PINTURA	6	4	06-Ene-00	10-Ene-00	6	2	15-Ene-00	20-Ene-00	8	28-Ene-00	EG14
15	1248	2133	ENTREPAÑOS DE 22" x 48"	500	PINTURA	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	2	18-Ene-00	18-Ene-00	8	28-Ene-00	EG15
16	1249	2134	ZOCLOS DE CABECERA	100	PINTURA	6	4	07-Ene-00	11-Ene-00	6	3	17-Ene-00	20-Ene-00	8	28-Ene-00	EG16
17	1251	2135	VARGO DE CABECERA	1	CROMO	6	4	05-Ene-00	10-Ene-00	6	1	16-Ene-00	17-Ene-00	8	28-Ene-00	EG17
18	1252	2136	BACK PERCHERO	4	CROMO	6	4	09-Ene-00	13-Ene-00	6	2	19-Ene-00	21-Ene-00	8	28-Ene-00	EG18
19	1254	2137	BACK PERCHERO	20	CROMO	6	4	08-Ene-00	13-Ene-00	6	1	18-Ene-00	22-Ene-00	8	30-Ene-00	EG19
20	1255	2138	BARRAS DE 96"	20	CROMO	6	4	08-Ene-00	13-Ene-00	6	2	18-Ene-00	21-Ene-00	8	28-Ene-00	EG20
21	1256	2139	BACK PERCHERO	22	PINTURA	6	4	08-Ene-00	13-Ene-00	6	2	19-Ene-00	21-Ene-00	8	28-Ene-00	EG21
22	1257	2140	BACK DE CUATRO BRAZOS	3	CROMO	6	4	11-Ene-00	15-Ene-00	6	2	19-Ene-00	21-Ene-00	8	28-Ene-00	EG22
23	1258	2141	BACK PERCHERO	8	CROMO	6	4	03-Ene-00	07-Ene-00	6	1	18-Ene-00	19-Ene-00	8	27-Ene-00	EG23
24	1259	2142	COLGADOR PARA PANEL 12"	30	NIQUEL	6	4	12-Ene-00	16-Ene-00	6	2	22-Ene-00	24-Ene-00	8	01-Feb-00	EG24
25	1260	2143	GANCHOS PARA BARRA B"	50	NIQUEL	6	4	12-Ene-00	16-Ene-00	6	3	22-Ene-00	25-Ene-00	8	02-Feb-00	EG25

TABLA 6.6.1 Item parte et trucober.

6.5.2. Aplicación del algoritmo de D.B.R. para la elaboración del tambor y gráfica de Gantt.

Para llevar a cabo esta tarea utilizaremos las herramientas de *Microsoft Project Manager* y *Microsoft Excel*. La programación se realiza de la siguiente forma: una vez que ya calculamos la cantidad que el “recurso cuello de botella” tiene que producir para poder surtir un pedido, y conocemos el tiempo requerido para fabricar una unidad y el tiempo de preparación, podemos concluir fácilmente la cantidad de carga de trabajo que se necesitará del recurso. El siguiente paso es colocar esa carga de trabajo en el eje del tiempo; determinar cuándo tiene que trabajar el recurso para que ese pedido pueda surtirse. Tenemos la fecha de entrega del pedido y determinamos la longitud del amortiguador de embarque y la cantidad de tiempo que debemos permitir para que la tarea llegue a su destino. En otras palabras el “recurso restricción” debe terminar su trabajo con suficiente tiempo, calculado en el amortiguador de embarque, antes de la fecha de vencimiento del pedido.

El procedimiento se repite hasta terminar con todos los pedidos que requieran del “recurso cuello de botella”. Se colocan los bloques de trabajo resultantes en el eje de tiempo del recurso. Para cada pedido debemos asignar las existencias y generar los bloques. Una vez asignados todos los bloques se presenta una gráfica, que denominamos “de las ruinas⁵”.

⁵ Se denomina gráfica de las ruinas porque los bloques se encuentran en desorden y pareciera como si se tratara de un edificio en ruinas.

Es necesario nivelar la producción para asegurarnos que la cantidad de bloques que se requiera hacer al mismo tiempo, no exceda el número de unidades disponibles del “recurso restricción”. Así nivelamos las ruinas, cambiando los bloques de arriba hacia la izquierda, haciéndolos antes de lo estrictamente demandado por las fechas de vencimiento de los pedidos. Esto realmente significa incrementar el inventario, pero esto será mejor que perder **throughput**. En la siguiente gráfica se presenta el tambor nivelado.

Después de nivelar es posible que algunos bloques sean empujados hacia el pasado. No podemos ordenar a un recurso que haga el trabajo ayer. Es necesario desplazar los bloques en conflicto hacia la derecha en la escala de tiempo, puesto que es obvio que no podemos iniciar el trabajo ayer. A estos bloques los denominaremos “bloques rojos”, debido a que debemos de estar alertas cuando éstos se presenten. Algunos bloques rojos se terminarán después de lo planeado en un principio. Podrán estar expuestas las fechas de entrega a incumplimiento. El usuario del sistema deberá tratar de resolverlos.

Este proceso sin embargo no termina aquí; hay que ver que se encuentren listos los materiales para que sean procesados por la restricción.

El usuario es el que debe determinar cuándo unir bloques para ahorrar los tiempos de preparación en la restricción; determinar cuándo y cuánto tiempo extra es necesario para vencer los bloques rojos, o asignar a otro recurso parte de la carga de trabajo del cuello de botella. No nos debe gustar fallar en las fechas de entrega, pero existe algo peor como el incumplimiento en la fecha de entrega sin haberlo advertido al cliente.

6.6. Programar los demás productos, cuyos componentes no pasen por la restricción en el programa de producción.

Una vez que terminamos el proceso de programación de todos los pedidos que tienen operaciones, que pasan por la restricción y resueltos los conflictos que se llegaron a presentar en el tambor, debemos programar ahora todos los demás pedidos, cuyos componentes no pasan por la restricción, utilizando el mismo criterio de primeras entradas, primeras salidas. Algunos de los productos representativos que fabrica la

empresa y que no pasan por la restricción son: cremalleras expuestas, clips, zoclos centrales y ménsulas por mencionar algunos.

6.7. Desarrollar el programa de liberación de materiales desde la restricción, viendo en retrospectiva sus pasos.

Hemos determinado las fechas exactas de las operaciones de los “recursos restricción” y resuelto los conflictos en algunos bloques. Conocemos naturalmente también las fechas de entrega de los pedidos. El siguiente paso consiste en fijar las fechas de todas las demás actividades; este es el proceso de subordinación.

El primer paso consiste en determinar las fechas para la liberación de materiales, de tal forma que nos aseguremos que llegarán a tiempo a la restricción. La regla que hemos escogido, es liberar los materiales, un amortiguador de restricción antes de la fecha en que deban ser utilizados por el “recurso restricción”. Así, para poder determinar esas fechas de liberación de materiales, sólo se tiene que restar el amortiguador de restricción a las fechas, que ya fueron establecidas en el tambor. La cantidad de material y el tiempo para su liberación se controla como ya hemos mencionado anteriormente por medio de la cuerda.

En la siguiente tabla 6.7. podemos observar la fecha de inicio de la restricción y como mencionamos en el párrafo anterior, al restar el tiempo contemplado para el amortiguador de la restricción al inicio de la restricción obtenemos la fecha de liberación de los materiales.

ID	O.F.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ACABADO	CUERDA DISEÑO	CUERDA MATERIA	REQUISICIÓN MATERIALES	LIBERACIÓN O.F.	AMORT RESTRICCIÓN	RANGO RESTRICCIÓN
1	1200	POSTES	100	PINTURA	0	4	20-Dic-09	02-Ene-00	0	03-Ene-00
2	1210	RACKS	50	PINTURA	0	4	31-Dic-09	04-Ene-00	0	10-Ene-00
3	1211	GANCHO PARA PANEL 6"	60	NQUEL	0	4	30-Dic-09	03-Ene-00	0	09-Ene-00
4	1230	ENTREPAÑO DE 14" * 40"	200	PINTURA	0	4	02-Ene-00	06-Ene-00	0	12-Ene-00
5	1235	MENSULAS PARA BARRA 6"	500	CROMO	0	4	23-Dic-09	01-Ene-00	0	07-Ene-00
6	1233	BRAZOS COLGADORES DE 12"	125	NQUEL	0	4	20-Dic-09	02-Ene-00	0	03-Ene-00
7	1233	BARRAS DE 46"	10	CROMO	0	4	03-Ene-00	07-Ene-00	0	13-Ene-00
8	1233	BRAZOS COLGADORES DE 12"	20	CROMO	0	4	03-Ene-00	07-Ene-00	0	13-Ene-00
9	1240	BRAZOS PARA BARRA DE 12"	250	NQUEL	0	4	03-Ene-00	07-Ene-00	0	13-Ene-00
10	1242	HERRAJES PARA MUEBLE LIA	70	CROMO	0	4	03-Ene-00	03-Ene-00	0	15-Ene-00

TABLA 6.7. Lista para el programa de liberación de materiales.

6.7.1. Reporte de liberación de materiales.

La liberación de los materiales a producción como mencionamos en párrafos anteriores es uno de los cuatro puntos de control en la manufactura de productos. Es muy importante el control de liberación de materiales para la implementación del sistema D.B.R.

En este reporte de liberación de materiales el supervisor de producción podrá controlar la cantidad y la fecha de liberación de materia prima a producción en los departamentos de corte de lámina y corte de tubo semanalmente.

La información requerida para llevar este control es la siguiente: el día de la semana; el número de la orden de trabajo; la descripción de los productos de la orden de trabajo; la cantidad a fabricar; la columna de corte de lámina, que denotaremos con las iniciales CL y la columna de corte de tubo CT para indicar con un asterisco o paloma en qué departamento se inició el trabajo, y por último la columna de observaciones le permitirá al supervisor apuntar si se registró alguna desviación al programa de liberación de materiales y la causa de tal desvío.

La información contenida en este reporte y el monitoreo del amortiguador de la restricción le permitirá al programador ajustar el tamaño del amortiguador de la restricción. El reporte de liberación de materiales se encuentra en el Anexo 3.

6.8. Desarrollar el programa de entregas desde la restricción hacia adelante y agregar un amortiguador de embarque.

El tiempo de amortiguador de embarque – añadido a la restricción- debe ser suficiente para que los productos se entreguen a tiempo, considerando los tiempos de espera, preparación y proceso, movimientos de materiales de todas las operaciones en recursos sin restricción de capacidad entre el cuello de botella y el embarque de los productos.

En la siguiente tabla 6.8. podemos observar las fechas de terminación de trabajo en el recurso restricción: FIN RESTRICCIÓN y añadimos un amortiguador de embarque de ocho días para los diez pedidos de la tabla. Para estos pedidos un amortiguador de ocho días es suficiente para garantizar que se entregarán a tiempo.

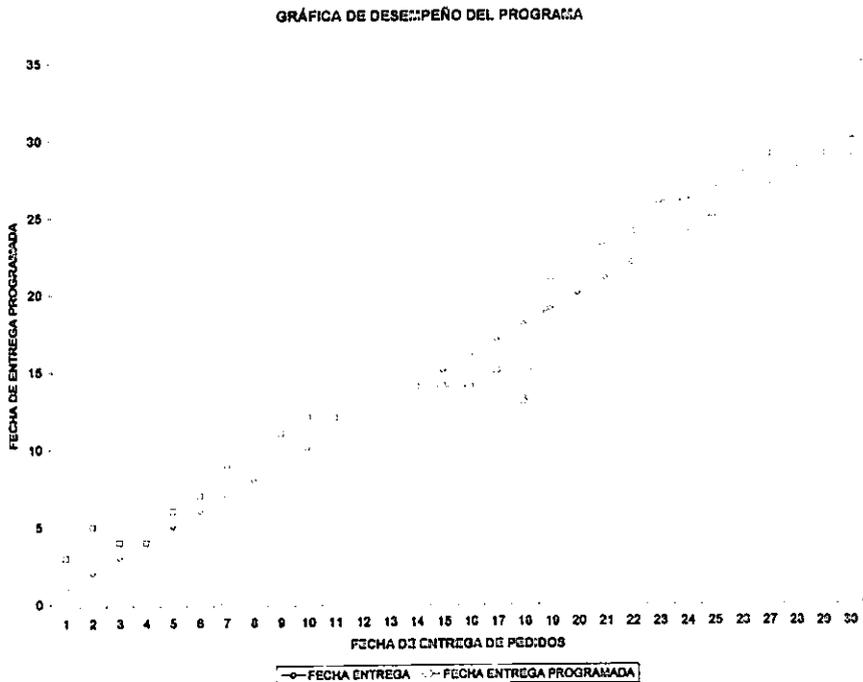
ID	O.F.	O.T.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ACABADO	TIEMPO RESTRICCIÓN	INICIO RESTRICCIÓN	FIN RESTRICCIÓN	AMORT EMBARQUE	ENTREGA PEDIDO
1	1200	2110	POSTES	100	PINTURA	4	08-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00
2	1210	2115	RACKS	50	PINTURA	2	10-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00
3	1211	2116	GANCHO PARA PANEL 6"	63	NIQUEL	3	03-Ene-00	12-Ene-00	0	20-Ene-00
4	1220	2120	ENTREPAÑO DE 14" * 48"	200	PINTURA	2	12-Ene-00	14-Ene-00	0	22-Ene-00
5	1235	2122	MENSULAS PARA BARRA 6"	500	CROMO	5	07-Ene-00	12-Ene-00	8	20-Ene-00
6	1230	2123	BRAZOS COLGADORES DE 12"	125	NIQUEL	4	03-Ene-00	12-Ene-00	0	20-Ene-00
7	1236	2124	BARRAS DE 48"	10	CROMO	1	13-Ene-00	14-Ene-00	8	22-Ene-00
8	1230	2126	BRAZOS COLGADORES DE 12"	20	CROMO	2	13-Ene-00	15-Ene-00	8	23-Ene-00
9	1240	2127	BRAZOS PARA BARRA DE 12"	250	NIQUEL	3	13-Ene-00	16-Ene-00	0	24-Ene-00
10	1242	2123	HERRAJES PARA MUEBLE LIA	70	CROMO	2	15-Ene-00	17-Ene-00	0	25-Ene-00

TABLA 6.8. Lista de terminación de trabajo en el recurso restricción.

6.9. Gráfica de desempeño.

La mejor manera de analizar el plan de producción se realizará comparando las fechas de entrega de los clientes, para varias órdenes con las fechas de terminación programadas para la entrega de las mismas órdenes. Tal comparación se ilustra en la gráfica 6.5. Si las fechas de entrega programadas son idénticas a las requeridas por el cliente, entonces el resultado de graficar estos puntos resulta una línea recta a 45 grados

por encima del eje horizontal x de referencia. Es de esperar naturalmente que este fenómeno no ocurra normalmente. En realidad los puntos graficados al comparar las fechas de entrega de los pedidos con las fechas programadas de terminación pueden presentar cualquier forma de curva. En la gráfica 6.5. se muestra una gráfica de desempeño en donde la curva oscila por encima y por debajo de la línea a 45 grados. Todos los puntos por encima de la línea representan órdenes, por terminarse según en la fecha programada, que saldrán retrasadas. Los puntos por debajo de la línea a 45 grados representan órdenes, que se terminarán antes de lo programado.



GRÁFICA 6.5. Gráfica de desempeño.

La gráfica de desempeño del programa tiene dos funciones básicas: se puede utilizar para ilustrar el grado en el cual las órdenes de trabajo se programan para terminar tarde o antes de la fecha de entrega dada por el cliente. Pero más importante aun, esta gráfica puede utilizarse para identificar las acciones pertinentes, que nos llevarán a mejorar el desempeño de las entregas de los pedidos.

Es importante mencionar que el análisis de la gráfica de desempeño no considera las fechas reales de terminación y entrega de las órdenes. Se asume que con los tiempos establecidos por los amortiguadores, las fechas de terminación no deberán diferir en gran medida de las fechas programadas.

Si existen diferencias notables entre la entrega actual de las órdenes y el programa de terminación de las mismas, la administración deberá tratar de reducir las variaciones causantes de esta diferencia.

6.10. Reportes para medir el desempeño en la implementación del sistema D.B.R.

En este punto analizaremos los reportes sugeridos para el seguimiento del tambor; el monitoreo de los amortiguadores de la restricción y de embarque; el seguimiento para las cuerdas; los reportes para medir el desempeño de la restricción y el nivel de servicio de la empresa.

La comparación antes y después de la implementación del sistema D.B.R. servirá eficazmente para evaluar resultados y sustentar la hipótesis propuesta como base del estudio de la presente tesis.

6.11. Monitoreo de amortiguadores.

La medida de cuánto y cuándo ha fallado el proceso de subordinación, se logra a través de la administración de los amortiguadores; del monitoreo de la liberación oportuna de materiales hacia producción y de las de áreas donde los desfases de la producción son frecuentes y se requiere mayor atención. Las evidencias de estas áreas problemáticas aparecen cuando se acumulan los materiales para ser procesados o causan huecos en el amortiguador de la restricción.

6.12. El reporte para el monitoreo de la cuerda.

Para contestar a la pregunta de cómo se puede medir el desempeño de la cuerda, debemos monitorear la liberación a tiempo de los materiales, de acuerdo al programa del tambor y también de acuerdo a los demás recursos, que no son restricción para no fallar el programa de entregas. Este es parte del proceso de subordinación. Para saber si la longitud de la cuerda es la adecuada, necesitamos saber si los materiales llegan demasiado pronto al amortiguador o si llegan tarde y retrasan el programa del tambor.

La información requerida para llenar el reporte para el monitoreo de la cuerda es la siguiente: la fecha, la orden de fabricación, la descripción del producto, la cantidad a fabricar, la fecha de liberación de materiales para el corte de lámina y corte de tubo, que denotaremos con las iniciales C.L., para el corte de lámina, y C.T. para el corte de tubo. La columna de observaciones se utiliza para apuntar si se presentaron desviaciones en el programa y el por qué de sus causas.

6.13. El amortiguador de la restricción.

En capítulos anteriores comentamos que uno de los principales problemas que se presentaban en la operación de la empresa consistía en que los materiales no se encontraban listos y en un sólo lugar para ser ensamblados en el departamento de soldadura. Para solucionar este problema es necesario contar con un área o espacio físico designado para poder colocar los materiales provenientes de los departamentos de corte de lámina, corte de tubo, troqueles y doblado. A esta zona la denominaremos “área de amortiguador de la restricción”.

La empresa cuenta actualmente con seis equipos de soldadura, que trabajan bajo las instrucciones de un supervisor. Cada uno de estos equipos requerirá de su propio amortiguador. Los equipos de soldadura y sus respectivos amortiguadores se identificarán con un número del uno al seis. El espacio asignado para los seis amortiguadores y sus números se marcarán en el piso; de esta forma los supervisores de los departamentos de corte, troquelado y doblado sabrán a qué equipo de soldadura le corresponde trabajar las órdenes de trabajo y colocarán los materiales en el amortiguador correspondiente al seguir el programa del tambor.

La tarea de monitoreo del amortiguador de la restricción, que realiza el supervisor, se simplifica considerablemente al instalarse los materiales de los seis equipos de soldadura en un solo lugar. Durante el seguimiento del programa es fácil identificar los huecos en el amortiguador de soldadura y expedir los materiales faltantes, que se encuentren en la zona roja del amortiguador.

La tarea de inspección y conteo de los materiales por parte de los inspectores de control de calidad se simplifica considerablemente también. Los inspectores de aseguramiento de la calidad podrán inspeccionar los materiales y garantizar que se

encuentren dentro de las especificaciones. En caso contrario se dará aviso al supervisor correspondiente para solucionar el problema.

6.14. Reporte de monitoreo del amortiguador de la restricción.

El reporte sugerido para el control del amortiguador de la restricción permitirá al supervisor de esta área y a la gente de planeación y control de la producción, determinar si la longitud del amortiguador es la adecuada para garantizar que los materiales lleguen a tiempo al “recurso restricción”. Las columnas de control zona I, zona II y zona III le permitirán al supervisor y planeador determinar cuántas órdenes llegaron al amortiguador en las respectivas zonas. Si la gran mayoría de órdenes llegaron en zona verde, es indicador de que el tamaño del amortiguador es demasiado grande y se puede reducir. Caso contrario, si un número importante de órdenes llegaron en zona roja del amortiguador, es indicador de que el tamaño del amortiguador es insuficiente para absorber las variaciones y pone naturalmente en peligro el desempeño de la restricción y el **throughput** de la empresa.

Al identificar los huecos en el amortiguador y rastrear las causas por las cuales se presentaron, se puede determinar acciones para una subordinación más efectiva. Hay que enfocar los esfuerzos de mejora para resolver los problemas de subordinación al asignar más recursos; capacitar a los trabajadores; reducir los cambios y tiempos de preparación; asignar parte del trabajo a otras áreas o ajustar mediante la asignación de tiempo extra. Cualquiera de estas acciones debe agilizar el flujo de producción.

Este reporte se llena cada semana por el Departamento de Control y Planeación de la Producción. La información contenida en este reporte es la siguiente: la orden de fabricación; la descripción del producto; los materiales componentes para el ensamble; la cantidad requerida; las columnas para indicar si los materiales llegaron en zona I, zona II o zona III del amortiguador de la restricción identificados por los colores

respectivos: rojo, amarillo y verde. La columna de observaciones se utiliza para registrar las causas cuando los materiales llegan en zona roja al amortiguador o simplemente no llegaron a tiempo y hubo una reprogramación de la producción.

En el Anexo 3 se presenta el reporte de monitoreo del amortiguador de la restricción.

6.15. Reporte de desempeño para la restricción.

El supervisor del “recurso restricción soldadura” es el encargado de llenar este reporte y será utilizado por el Departamento de Control y Planeación de la Producción, y su finalidad es calificar el desempeño de los seis equipos de soldadura.

Al igual que los demás reportes se deberá llenar semanalmente. El monitoreo del desempeño de la restricción es la base para el proceso de explotarla. Recordemos que la habilidad de explotar la restricción depende de la pronta identificación del cuello de botella y de la habilidad de los demás recursos al apoyar y subordinar su operación, cuidando y siguiendo el programa del tambor.

Con la ayuda de este reporte, el programador de la producción podrá analizar si el tiempo programado para terminar las órdenes de trabajo en cada equipo de soldadura fue el adecuado o si hubo desviaciones al programa y apuntará las causas de tales desviaciones para análisis estadísticos posteriores. Este reporte le permitirá al planeador, como mencionamos anteriormente, analizar las principales causas de desviación en el tambor.

La información contenida en este reporte es la siguiente: la fecha; la orden de fabricación; la descripción del producto; la cantidad a fabricar; el tiempo asignado para la restricción; el equipo que realizó el trabajo; la desviación en tiempo si no coincidió el tiempo asignado en el programa con el real y la columna de observaciones para

describir brevemente la causa de la desviación. En el Anexo 3 se presenta el reporte de desempeño de la restricción.

6.16. Reporte de monitoreo del amortiguador de embarque.

Este reporte es necesario para determinar si el tamaño del amortiguador de embarque es el adecuado para garantizar que los pedidos se entreguen a tiempo. Las columnas de control zona I, zona II y zona III permitirán al supervisor y planeador determinar cuántas órdenes llegaron al amortiguador en las respectivas zonas. Al igual que en el reporte del amortiguador de la restricción, si la mayoría de órdenes llegaron en zona verde, es indicador de que el tamaño del amortiguador de embarque es demasiado grande y se puede reducir. Caso contrario, si un número importante de órdenes llegaron en zona roja, es indicador de que el tamaño del amortiguador no es suficiente para absorber las variaciones y pone en peligro el **throughput** de la empresa.

Mediante el análisis de este reporte se puede determinar de manera dinámica el tamaño de los amortiguadores de embarque para los diferentes pedidos. En el caso de nuestra empresa los productos cuyo acabado final es pintura, tienen un amortiguador de embarque más corto que los cromados, debido a que el proceso de cromado requiere de más operaciones.

Este reporte es muy similar al utilizado para monitorear el amortiguador de la restricción. El departamento de embarques es el responsable de llenar este reporte y de entregarlo al departamento de control y planeación de la producción para su análisis. La información contenida en este reporte es la siguiente: la orden de fabricación; la descripción del producto; la cantidad del pedido; las columnas para indicar si los productos llegaron en zona I, zona II o zona III del amortiguador de embarque, identificados por los colores respectivos: rojo, amarillo y verde. La columna de

observaciones se utiliza para registrar las causas cuando los productos llegaron en zona roja del amortiguador o simplemente no llegaron a tiempo y no se entregó a tiempo el pedido al cliente. En el Anexo 3 se presenta el reporte de monitoreo del amortiguador de embarque.

6.17. Reporte y gráfica de nivel de servicio.

El nivel de servicio es un indicador de desempeño, que utilizaremos en el desarrollo de este estudio midiendo la operación de la empresa en cuanto al cumplimiento de las fechas de entrega de los pedidos.

El nivel de servicio, que denotaremos con las iniciales N.D.S., se calcula al dividir el número de pedidos entregados a tiempo a los clientes entre el número total de pedidos, que se levantaron durante ese mismo lapso de tiempo.

La fórmula para calcular el nivel de servicio es la siguiente:

$$\text{N.D.S.} = \frac{\text{Número de pedidos entregados a tiempo}}{\text{Número total de pedidos}}$$

Capítulo 7

CAPÍTULO 7

7. Puesta a punto para implementar el sistema D.B.R.

Al retomar los puntos o efectos indeseables de la empresa, que se mencionaron en el capítulo dos de esta tesis, encontramos que un problema fundamental era la estructura muy simplista de la organización en la empresa. Se realizaban demasiadas actividades por un grupo muy restringido de personas con responsabilidad, y tanto trabajo diversificado bajo el aparente control de estos funcionarios daba como resultado el descuido del control y planeación de la producción. El crecimiento de la capacidad productiva de la planta y el mayor rango en los pedidos fueron poniendo de manifiesto y en forma escandalosa el problema de la ineficiencia, porque cada vez ese mismo número reducido de controladores fallaba más causando malestar dentro y fuera de la empresa.

Los directores de la empresa decidieron enfrentar frontalmente el problema y se planteó como primera medida la reestructuración de la organización. Se identificó la necesidad de tener un departamento de producción; un departamento de ingeniería, un departamento de planeación y control de la producción, un departamento de aseguramiento de la calidad, además de la administración.

La nueva estructura hacía muy clara la necesidad de implementar un sistema nuevo de logística para administrar la producción.

Se evaluaron algunos sistemas comunes de administración de la producción como lo son las líneas de ensamble, el MRP II y el justo a tiempo. Estos sistemas han sido implementados satisfactoriamente en varias empresas, sin embargo tienen sus limitantes, que se mencionaron en el capítulo 3. Sus sistemas de logística tienen poca aplicación y requieren una inversión muy elevada y mucho tiempo para la implementación, y en algunos casos han quedado inclusive, obsoletos.

Se pensó en implementar un sistema diferente, que permitiera mejorar la operación de la empresa y cuyos beneficios se palparan a corto plazo.

El interés de los directores de la empresa en estudiar la Teoría de Restricciones desarrollada por el Dr. Eliyahu Goldratt surgió de la lectura de sus libros y de pláticas y talleres de aplicación de la misma. Esta teoría con ideas innovadoras se explicó en los capítulos 3, 4 y 5.

Este estudio trata de probar precisamente, que la implementación del sistema D.B.R. es la solución propuesta por la Teoría de Restricciones T.O.C. del Dr. Goldratt para hacer más eficiente la operación de empresas manufactureras.

7.1. Estructura de la organización.

Al proponer un cambio en la organización de la empresa surgía la necesidad de revisar las funciones de los diferentes departamentos para poder determinar los perfiles de los nuevos puestos y comenzar con el proceso de reclutamiento de personal.

7.2. Departamento de Producción.

En el departamento de producción era necesario contratar a personas con un perfil técnico, que conocieran los procesos de manufactura, utilizados en la empresa. Su principal función sería supervisar los procesos productivos. Así el jefe de producción tendría ahora a su cargo supervisores para el área de máquinas de corte, troquelado y doblado; un supervisor para el área de ensamble y un supervisor para el área de acabados y empaque de los productos terminados.

Principales actividades de los supervisores del departamento de producción:

1. Recepción de las órdenes de fabricación y revisión de la información contenida en las órdenes, junto con los planos del producto; los desarrollos

de corte, troquelado y doblado; la lista de habilitación de los materiales para las operaciones de corte de lámina y tubo y programas para las máquinas de control numérico CNC.

2. La liberación de las órdenes de trabajo para su producción, de acuerdo al programa.
3. El control de los procesos productivos así como de la supervisión de la operación correcta de los operadores; de la maquinaria; de los troqueles, dados y de los equipos.
4. Identificación de los materiales en proceso.
5. De esta manera se crea el ambiente propicio para llevar a cabo el programa del tambor.

Con la ayuda de los nuevos supervisores, el jefe de producción puede delegar muchas actividades, que desempeñaba anteriormente él solo y que le impedían dirigir de manera efectiva la operación de la planta.

Al analizar la problemática del departamento de producción se llegó a la conclusión de que uno de sus problemas esenciales era la carencia de planos de los productos exactos, proyectados por ingeniería. Anteriormente el jefe de producción contaba con escasos planos de los productos de catálogo, que representaban aproximadamente el 40% de la producción. El 60% restante lo constituían los productos especiales, de los cuales, se carecía de verdaderos planos de ingeniería. En repetidas ocasiones y debido a la urgencia de los pedidos, se desarrollaban apenas algunos croquis con la información mínima necesaria para que se fabricaran los productos.

En el departamento de producción no existía un control adecuado de estos documentos. Al finalizar la fabricación se perdían muchos de estos croquis. En

ocasiones los clientes solicitaban el mismo producto y se tenía que repetir nuevamente un croquis similar para fabricarlo.

El siguiente paso que se tuvo que implementar para solucionar estas lagunas en el departamento de producción fue la necesaria creación de un Departamento de Ingeniería.

7.3. Departamento de Ingeniería.

La ingeniería del producto la realizaba, como mencionamos anteriormente, el jefe de producción en forma artesanal y casuística. Al crecer la cantidad y la diversidad de productos se presentaban muchos retrasos en la fabricación, debido a que una persona tenía que intentar manualmente los planos y se tardaban en liberar las órdenes a producción, porque los planos no se encontraban listos. Este problema se solucionó con la creación de un nuevo departamento de ingeniería. Para cubrir el perfil de los nuevos puestos se contrató principalmente a ingenieros mecánicos con experiencia en procesos de manufactura, con conocimientos de paquetes de diseño, asistido por computadora y de programación de máquinas de control numérico CNC.

La estructura de este departamento se construyó con un jefe de ingeniería; un supervisor de dibujo; dibujantes y programadores de máquinas de control numérico.

Las principales actividades del departamento de ingeniería son:

1. Generación de planos de los productos con todos sus componentes.
2. Diseño e ingeniería de troqueles o dispositivos para la fabricación de los productos.
3. Cálculos y desarrollo de los materiales para realizar las operaciones de corte, troquelado y doblado.
4. Elaboración de programas para las máquinas de control numérico CNC.

5. Elaboración de las listas de habilitación de materia prima para la fabricación de los productos.
6. Control y archivo adecuado de los documentos y planos verificados.

El control de los documentos como: planos; croquis; programas de máquinas CNC; las especificaciones estrictas de los muebles y acabados sería responsabilidad del departamento de ingeniería.

7.4. Ejecución del sistema D.B.R.

A principios del año 1999 se dio el primer paso para intentar implementar un nuevo sistema logístico para el control y planeación de la producción. La dirección de la empresa determinó que el mejor sistema era **D.B.R.**, desarrollado por el Dr. Goldratt. Este sistema permitiría mejorar la operación de la empresa significativamente sin la necesidad de invertir sumas enormes en la compra de un **software** muy sofisticado para el control y planeación de la producción, que requeriría mucho tiempo para ser implementado y que no se ajustaría a la forma de trabajar de la empresa.

La lógica del sistema **D.B.R.** y el proceso de mejora continua desarrollados por el Dr. Goldratt parecían ser la mejor opción.

Con la ayuda del modelo computacional de la empresa, de la gráfica de utilización de recursos y del análisis de la carga de trabajo, se determinó que el recurso con restricción de capacidad de la empresa pesaba sobre el departamento de soldadura.

Una vez identificado el recurso con restricción de capacidad, el siguiente paso consistiría en determinar todos los productos, que durante su proceso de fabricación, pasarían por la restricción. Esta información no existía, es por ello, que se confió al departamento de producción, la elaboración del tambor o programa de producción, al

inicio de la implementación del sistema **D.B.R.**, ya que las personas del departamento de producción conocían mejor la ruta de fabricación de los productos.

El tambor consistía en un reporte de producción en el cual se ordenaban las órdenes de fabricación por prioridades y por fechas de entrega. Este reporte se elaboraba en *Excel* y se revisaba cada semana.

Los primeros resultados del tambor mostraron que se mejoraba el orden con el que se trabajaban las órdenes de producción en la planta. Sin embargo había situaciones en las que se paraba la producción en el “recurso restricción soldadura” porque los materiales no se encontraban listos para ensamblarse y continuaban las dilaciones en la fecha de entrega y los problemas de calidad de los productos, sobre todo en los pedidos de los clientes del GRUPO.

En esta primera etapa de implementación de **T.O.C.** podemos mencionar, que el conocimiento de la Teoría de Restricciones y del sistema **D.B.R.** no era comprendido por toda la organización. Sólo los ejecutivos de la empresa y la jefatura de producción se consideraban capacitados en **T.O.C.**.

Los obstáculos a los que se estaba enfrentando la empresa en esos momentos eran: el desconocimiento de la teoría en los mandos medios de la organización y la falta de control y seguimiento del programa del tambor. No se contaba con el personal necesario para poder controlar el sistema de manufactura completo.

La estrategia a seguir en ese momento partía de la creación de un departamento de planeación y control de producción. Este departamento se formó en su inicio con personal del departamento de producción, que conocía el sistema de **D.B.R.** y que elaboraba el programa del tambor. Con este desarrollo la actividad de poner en marcha el tambor pasó a ser responsabilidad del departamento de planeación.

Al personal de nueva contratación y a los supervisores de las diferentes áreas se les exigió la lectura del libro La Meta, un proceso de mejora continua y se les capacitó en el tema de teoría de restricciones y el sistema **D.B.R.**

7.5. Departamento de Planeación y Control de la Producción.

La estructura de este departamento quedó constituida por un jefe de planeación; un supervisor del tambor; programadores y personal para el control de cuerdas y amortiguadores.

Las principales actividades del departamento de planeación y control de la producción son:

1. La elaboración del tambor.
2. Determinar las prioridades de producción con los líderes de proyecto.
3. La entrega del tambor y las órdenes de fabricación al departamento de producción de la empresa.
4. El control y seguimiento del mecanismo de la cuerda.
5. El monitoreo de amortiguadores de la restricción y de embarque.
6. La generación de estadísticas para medir el desempeño del sistema **D.B.R.**

El primer problema que se presentó al integrarse este departamento consistió en que los nuevos integrantes no conocían los tiempos de fabricación de los productos. Los tiempos asignados para los trabajos realizados en el recurso restricción fallaban: algunas órdenes requerían un tiempo mucho mayor al programado en el recurso restricción y otras órdenes se terminaban en un tiempo mucho menor, y si no se encontraba terminada la siguiente orden para trabajarse, se frenaba el recurso en detrimento del sistema completo y **throughput** de la empresa. Para solucionar este problema fue necesario que los programadores del departamento de planeación analizaran cada una de

las órdenes de fabricación con sus respectivos planos de ingeniería. No es necesario determinar, como nos dice el Dr. Goldratt, todos los tiempos estándares de fabricación de todas las operaciones que se realizan en la planta; basta con conocer el tiempo requerido para los trabajos realizados por la restricción y determinar la variabilidad en los procesos anteriores a la restricción y de los procesos posteriores a ella para definir también el tamaño de los amortiguadores. Esto significa que el personal de planeación debía determinar el tiempo de fabricación requerido en la restricción y estimar la duración de los amortiguadores para la restricción y de embarque, y controlar el mecanismo de la cuerda.

Una vez que el departamento de planeación finalizaba la programación del tambor se le entregaba al jefe de producción. Uno de los objetivos del departamento de producción consiste en seguir el programa del tambor.

Como lo explicamos en el capítulo anterior el reporte del tambor contiene la información necesaria para iniciar las órdenes de fabricación, de acuerdo al programa; controlar los tiempos asignados para las operaciones en la restricción y las fechas de entrega de los pedidos.

Las personas con la responsabilidad de verificar que se cumpla el programa del tambor serían el jefe de producción y el jefe de planeación y control de la producción. En el departamento de producción se controlan los procesos de fabricación; y los supervisores de producción controlan los amortiguadores de la restricción y de embarque. Al detectarse alguna orden, que no se encuentre en el amortiguador, es decir un hueco en el amortiguador, y que de acuerdo a la fecha del tambor se encuentre en zona roja, se le avisaría inmediatamente a los jefes de producción y planeación. La orden en este caso pasa a reportar al líder del proyecto o director de la empresa del

problema para tomar una decisión y expeditar la orden, o avisar al cliente que hay problemas de producción y la fecha de entrega de su pedido está en entredicho.

Los reportes sugeridos para el seguimiento de los amortiguadores de la restricción y de embarque, como el reporte de desempeño de la restricción, permiten evaluar el desempeño general del sistema D.B.R. Estos reportes se vislumbran positivos cuando ya sirvan para retroalimentar al departamento de planeación y control de la producción y sea posible realizar ajustes al tambor, estimando mejor los tiempos.

7.6. Departamento de Aseguramiento de la Calidad.

Otro aspecto muy importante que menciona el Dr. Goldratt, señala la importancia del aseguramiento de la calidad de los productos. Uno de los problemas del departamento de producción, que se mencionó en el capítulo 2 muestra que los materiales no llegaban completos al departamento de ensamble y no cumplían con las especificaciones de los planos. En otras palabras no se estaban controlando los procesos productivos. En el departamento de soldadura se tenían que corregir estas desviaciones o se desechaba el producto, lo que ocasionaba retrasos en la producción; incremento del desperdicio y naturalmente encarecimiento.

La estrategia para solucionar este problema consistió en implementar un sistema de aseguramiento de la calidad. Dicho sistema requería de personal que realizara las actividades de control de calidad de los productos. Se formó un departamento de aseguramiento de la calidad, integrado por un jefe e inspectores de la misma. Sus principales actividades plantean las siguientes tareas:

1. Inspección de la materia prima.
2. Inspección de los procesos.
3. Inspección de los productos en el amortiguador de la restricción.

4. Inspección en los procesos especiales de soldadura, pintura y cromo. Se llaman procesos especiales a los que por sus características no se pueden inspeccionar durante el proceso en sí; no se puede probar la calidad de un cordón de soldadura en el mismo momento que el operador lo hace; se puede inspeccionar o probar después de haber terminado de aplicar un cordón de soldadura.
5. Inspección final del producto en el amortiguador de embarque.
6. Control e identificación de los productos de calidad no conforme.

Es muy importante asegurarse de que la materia prima cumpla con las especificaciones requeridas. Al inspeccionar las materias primas se detecta el producto no conforme; se clasifica y se coloca en áreas destinadas para su control y con ello se evitan errores en que se utilice por equivocación. Al hallar un defecto en el material, antes o durante el proceso de fabricación, se le notifica al supervisor de producción y se emite un reporte denominado aviso de defecto, con la finalidad de reportar la causa del problema y caerá la responsabilidad en el departamento de producción para corregirlo y proponer acciones preventivas para que no se repita el mismo problema.

7.7. Control en el piso de producción.

El programa del tambor elaborado por el departamento de planeación se entrega semanalmente al jefe de producción. La instrucción, que recibe el jefe de producción, será seguir el programa del tambor.

Las órdenes de fabricación programadas en la semana se liberan para su producción, de acuerdo a la fecha de inicio que aparece en el tambor. La materia prima requerida se adquiere, por supuesto, con la anticipación necesaria a la fecha indicada

por la cuerda, que recordemos, es el mecanismo para garantizar que los materiales se encuentren listos y en la cantidad justa para arrancar la fabricación de la orden. Este es el primer punto de control en la producción para implementar el sistema D.B.R. La fecha de inicio de la orden se registra en un reporte de control para las cuerdas.

La instrucción que recibe el supervisor del área de máquinas, al recibir la orden de fabricación consiste en trabajarla y terminarla lo más pronto posible para entregar los materiales al encargado del amortiguador de la restricción. El objetivo es entregar a tiempo los materiales para que el “recurso restricción” las trabaje.

Los materiales procedentes de las operaciones de corte de lámina, corte de tubo, troquelado y doblado se entregan al encargado del amortiguador de la restricción y se colocan en el lugar establecido del equipo de soldadura, que procesará la orden según el tambor. Se debe colocar un pizarrón en esta área con la información de las órdenes y los colores de control para el amortiguador: verde, amarillo y rojo, con objeto de poder identificar las fechas importantes para el monitoreo del amortiguador de la restricción y el equipo de soldadura, que va a trabajar la orden. Al observar el pizarrón, el jefe de producción y los supervisores se confrontan con la programación de las órdenes en la planta. Los inspectores de aseguramiento de la calidad, pueden inspeccionar los materiales en el amortiguador de la restricción y determinar si cumplen con las especificaciones del producto.

El encargado del amortiguador de la restricción registra la fecha en la que recibe los materiales de las órdenes en el reporte de monitoreo del amortiguador de la restricción.

Existe una persona del departamento de planeación, responsable del monitoreo del amortiguador de la restricción. A esta persona la denominamos controlador de la restricción y su función es verificar la fecha en la que se entregan los materiales al

encargado del amortiguador e informar al departamento de planeación si no han entregado y que la fecha indique si la orden se encuentra en la zona I del amortiguador o color rojo.

Al detectarse un hueco en el amortiguador, cuando el semáforo de colores del amortiguador se encuentre en amarillo, el controlador de la restricción dará aviso al supervisor de máquinas para que rastree la orden. Si el semáforo se encuentra en rojo entonces se le avisa al jefe de producción para que tome las acciones correspondientes de acelerar la orden, avisando al líder de proyecto y al director de la empresa, si fuera necesario. Al finalizar la semana, el controlador entrega su reporte de seguimiento del amortiguador de la restricción, al departamento de planeación para analizar el desempeño durante esa semana.

El supervisor del “recurso restricción soldadura” recibe los materiales y la orden de fabricación del encargado del amortiguador de la restricción. El supervisor le entrega la orden y los materiales al oficial de soldadura y a su equipo para que la trabaje. La instrucción, que recibe el supervisor de soldadura, es la de controlar el trabajo en el departamento y terminar las órdenes lo más pronto posible. El supervisor de soldadura es el responsable del reporte de desempeño de la restricción. Al finalizar la semana lo debe entregar al departamento de planeación para analizar el desempeño de la semana.

El proceso de soldadura es el que limita el desempeño, y por consiguiente el **throughput** de la empresa.

Hemos explicado la importancia del control del amortiguador de la restricción y el cuidado que se tiene para garantizar que los materiales se encontrarán listos para su ensamble. Recordemos la advertencia del Dr. Goldratt: un minuto perdido en el recurso restricción es un minuto perdido del sistema completo. Este es el proceso de explotación y subordinación al que se refiere el Dr. Goldratt en el proceso de mejora continua.

Al finalizarse los trabajos en la restricción, el supervisor de soldadura entrega el material y las órdenes al supervisor de acabados. La instrucción, que recibe este último, es trabajar las órdenes de fabricación lo más pronto posible. Terminado el ensamble en el departamento de soldadura, los productos pueden pasar por los procesos de pulido y posteriormente a galvanoplastia o directamente al departamento de pintura. Aquí se requiere otro punto de control ya que nos encontramos en un punto de divergencia donde un mismo producto puede tener diferentes acabados. El supervisor de esta área revisa el acabado en la orden de fabricación y entrega el material al departamento de pulido para los productos, cuyo acabado es cromo o níquel satinado, o los entrega al departamento de pintura. En el caso en que la capacidad del departamento de pulido y cromado no sea suficiente por la carga de trabajo, el supervisor de acabados tiene las siguientes opciones: recurrir a la maquila para el acabado; incrementar el tiempo extra o aumentar un segundo turno en el departamento de pulido y galvanoplastia.

Los procesos de manufactura posteriores a la restricción: pulido, cromado, satinado, pintado y empaque forman parte del amortiguador de embarque. Los productos, cuyo acabado es pintura tienen un amortiguador de embarque más corto, que el de los cromados o satinados, precisamente porque no requieren tantos procesos y la variabilidad disminuye. Recordemos que el pulido y cromado son recursos con capacidad restringida; dependiendo de la mezcla de producción, pueden llegar a convertirse en cuello de botella. En el supervisor de acabados cae la responsabilidad de determinar si estos procesos se pueden realizar en la planta o si se tienen que maquilar por la carga de trabajo actual.

En el área de empaque se colocó un pizarrón similar al del amortiguador de la restricción con la información de las órdenes y los colores de control para el amortiguador: verde, amarillo y rojo, con objeto de poder identificar las fechas

importantes para el monitoreo del amortiguador de embarque. En este pizarrón se registran también las órdenes que están en maquila y la fecha de entrega del proveedor. Al observar el pizarrón, el jefe de producción y los supervisores se confrontan con la programación de las órdenes en la planta. Los inspectores de aseguramiento de la calidad, pueden inspeccionar los materiales en el amortiguador de embarque y determinar si cumplen con las especificaciones del producto.

El encargado del amortiguador de embarque registra la fecha en la que recibe los productos en el reporte de monitoreo del amortiguador de embarque.

Al igual que para la restricción, existe una persona del departamento de planeación, responsable del monitoreo del amortiguador de embarque. A esta persona la denominamos controlador del amortiguador de embarque y su función es verificar la fecha en la que se entregan los productos al departamento de empaque e informar al departamento de planeación; si no se han entregado en esa fecha, indicará que la orden se encuentra en la zona I del amortiguador o color rojo.

Al detectarse un hueco en el amortiguador, cuando el semáforo de colores del amortiguador se encuentre en amarillo, el controlador del amortiguador de embarque dará aviso al supervisor de acabados para que rastree la orden. Si el semáforo se encuentra en rojo entonces se le avisará al jefe de producción para que tome las acciones pertinentes para acelerar la orden, avisando al líder de proyecto y al director de la empresa, si fuera necesario. Al finalizar la semana, el controlador entregará el reporte de seguimiento del amortiguador de embarque al departamento de planeación, para analizar el desempeño durante esa semana.

El departamento de planeación y control de la producción recopila y analiza la información de los reportes de control de cuerdas; monitoreo de amortiguadores;

desempeño de la restricción y nivel de servicio. Los resultados se entregan al director de la empresa; al gerente de nuevos proyectos y a los jefes de producción y planeación.

7.8. Departamento de Nuevos Proyectos.

Uno de los puntos que se mencionaron en el capítulo 2, explica que la empresa carecía en buena parte, de clientes propios. Los principales clientes eran los del GRUPO. Al crearse una nueva división para proyectos nuevos, se pretendía una apertura hacia el mercado nacional e internacional.

La nueva división quedó formada por: un gerente; líderes de proyecto; diseñadores industriales para proyectar espacios comerciales y vendedores.

Las principales actividades de este grupo son:

1. Captar nuevos clientes.
2. Atención a clientes nacionales y extranjeros.
3. Proyectos y diseños de espacios comerciales.
4. Atención a las ventas directas realizadas por teléfono.

Esta importante decisión por parte de la Dirección ahora sí permitiría a la empresa crecer, captando clientes propios y posicionarla mejor en el mercado de tiendas de departamento y de autoservicio, a corto plazo.

Capítulo 8

CAPÍTULO 8

8. Resultados inmediatos después de las reformas del sistema D.B.R.

La pregunta a responder sería ahora cómo se implementó y cuáles han sido los resultados inmediatos y los que se pretenden alcanzar a mediano plazo.

La primera estructura simplista de la empresa, que representaba un freno importante para el crecimiento de la misma y para la implementación del sistema **D.B.R.**, quedó solucionado con la reestructuración de la organización. Se crearon nuevos puestos y se definieron las funciones de los departamentos de Producción, Ingeniería, Planeación, Aseguramiento de la Calidad y Nuevos Proyectos.

8.1. Reestructuración de la organización.

Los nuevos puestos de nivel ejecutivo, creados en la empresa, fueron: un gerente de planta y otro para el departamento de nuevos proyectos, además del gerente de administración que ya existía; para los niveles de mando medio se crearon plazas para: un jefe de producción; un jefe para planeación y control de la producción; un jefe para el departamento de ingeniería y un jefe para aseguramiento de la calidad.

En el siguiente nivel de la pirámide organizacional se colocan supervisores para las diferentes áreas. Dentro del departamento de producción se contrataron supervisores para las áreas de máquinas, soldadura, taller mecánico, acabados y empaque. El departamento de planeación requería un supervisor para el tambor, e ingeniería un supervisor sobre los dibujantes, y por último, en el departamento de aseguramiento de la calidad faltaba un supervisor de calidad.

La función de cada jefe departamental partía de la propia organización de cada área, determinándose así la variedad de funciones del mismo, pudiendo al mismo tiempo escoger a los candidatos idóneos para dicho puesto.

Por medio de la siguiente tabla - 8.1.- tenemos la posibilidad de observar gráficamente las variantes en la organización anterior y frente a la actual, con las personas contratadas para la reestructuración de la empresa.

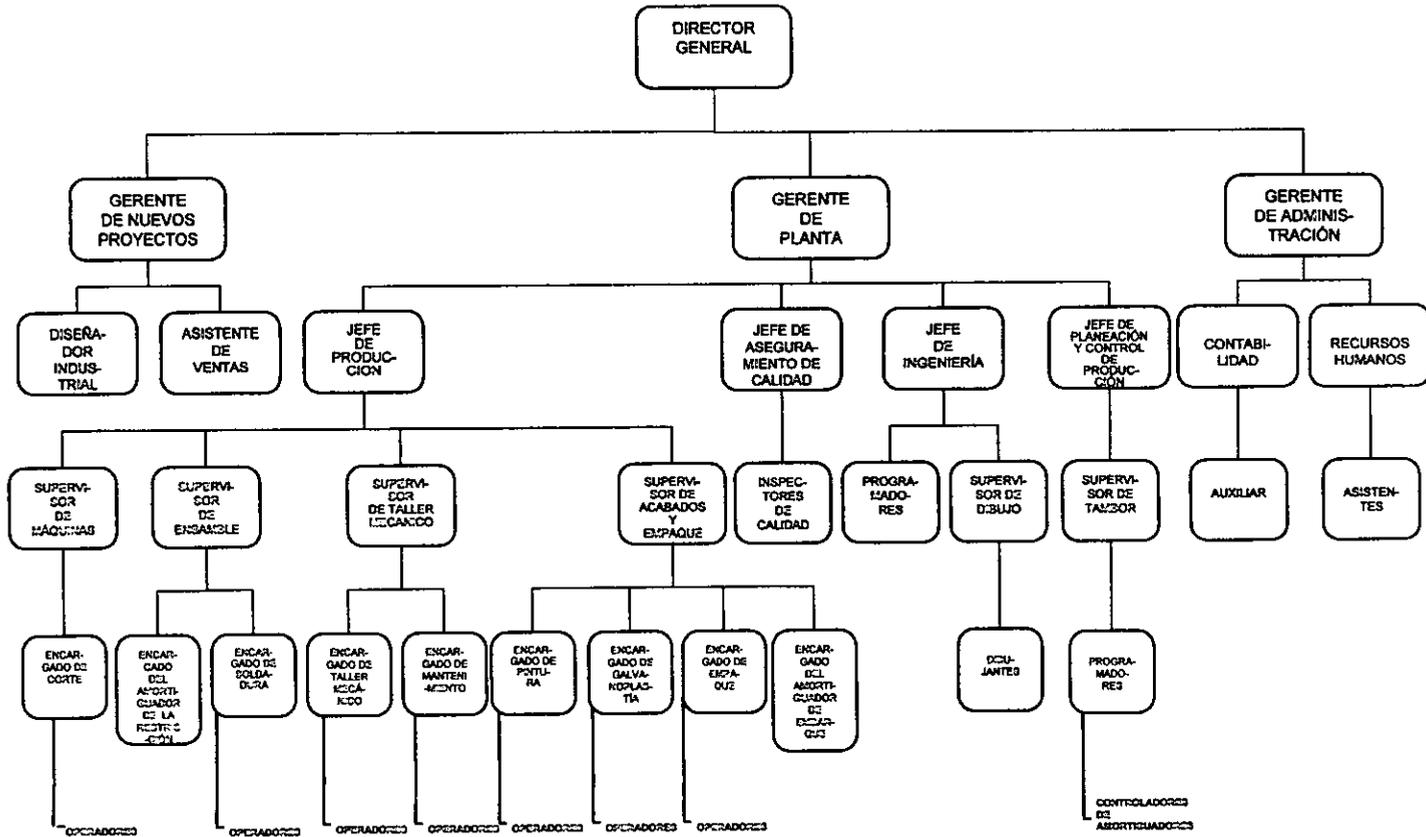
DEPARTAMENTOS	NUEVAS		
	ANTES	DESPUÉS	CONTRATACIONES
ADMINISTRACIÓN	8	10	2
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	0	4	4
INGENIERÍA DEL PRODUCTO	0	11	11
NUEVOS PROYECTOS	0	4	4
PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	0	6	6
PRODUCCIÓN	4	12	8
TOTAL:			35

TABLA 8.1. Nuevas contrataciones de personal.

La contratación del nuevo personal incrementó el costo de la nómina de la empresa en un 26%, sin embargo este incremento en el costo de operación permitía a la empresa aumentar el **throughput**, meta que previamente se había contemplado. Recordemos que la estrategia de negocio, de acuerdo a T.O.C., es incrementar **throughput** reduciendo al mismo tiempo la inversión y el gasto de operación. Se requiere mayor inversión y gasto, en ocasiones para lograr lo primero. Así sucedió en el caso de nuestra empresa al dar dicho paso.

Veamos gráficamente cómo quedó el organigrama de la empresa, después de los cambios ya presentados.

ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



8.2. El nuevo Departamento de Producción.

La tabla anterior muestra categóricamente el importante apoyo que se brindó a este departamento. Anteriormente cuatro personas se desempeñaban en él y se desarrolló tres veces al estar compuesto ahora por doce empleados.

La reforma produjo cambios positivos, descritos a continuación:

8.3. Control en la planta.

Los supervisores de máquinas, soldadura, acabados y embarques se encargan de controlar sus áreas respectivas. Anteriormente el jefe de producción aparecía como el único responsable de todo el trabajo. La responsabilidad diversificada, ahora en los supervisores y los encargados para las áreas de corte, amortiguador de la restricción, soldadura, pintura, galvanoplastia, amortiguador de embarque y empaque, otorga un mayor control de la planta. Los supervisores y el jefe de producción se reúnen semanalmente para reportar los avances de las órdenes y la situación real de la fabricación. El objetivo de esta junta es que los supervisores de área ejecuten las órdenes del jefe de producción y le reporten el estado general de la planta productiva. En esta junta se les entrega a todos los supervisores una copia del tambor y se planean las actividades de la semana, para garantizar una subordinación efectiva de los recursos para seguir el tambor.

8.4. Identificación y rastreo del producto.

Con la estructura anterior se liberaban las órdenes de fabricación con la información mínima para fabricar los productos y ni siquiera se contaba con el personal necesario para implementar un sistema para la identificación y rastreabilidad del producto. Una nueva reforma implementada consiste en la identificación del producto a

través de las tarjetas viajeras de control. En esta tarjeta se registra el número de la orden de trabajo, la descripción del producto, la cantidad por fabricar, de acuerdo a la lista de habilitación de materiales, elaborada por ingeniería; la secuencia de las operaciones; el número o clave del operador y máquina que realizaron el trabajo, además de la fecha de terminación de las operaciones. Esta tarjeta es un auxiliar muy útil, que permite identificar el producto en proceso.

8.5. Tiempos más cortos de fabricación.

Los materiales pasaban mucho tiempo en la planta. No se contaba con el mecanismo de la cuerda, y en ocasiones se liberaban las órdenes de fabricación con demasiada anticipación para mantener a los trabajadores ocupados. Esto provocaba que aumentara el inventario en proceso. Actualmente al subordinarse todos los recursos al cuello de botella y con la ayuda del mecanismo de la cuerda, se logra la sincronización en la manufactura de los productos y por consiguiente tiempos más cortos de fabricación.

8.6. Departamento de Ingeniería.

El departamento de Ingeniería está formado por once personas, un jefe; un supervisor de los dibujantes; un diseñador de troqueles y herramientas; seis dibujantes y dos programadores de máquinas. Este departamento es fundamental para el éxito en la implementación del sistema **D.B.R.** porque aquí se genera la información necesaria para la fabricación de los productos, de acuerdo a las cuerdas de ingeniería, que aparecen en el tambor.

La generación de los planos; programas para las máquinas CNC y las listas de habilitación de materiales han sido de gran ayuda para que los departamentos de

Planeación, Producción y Aseguramiento de la Calidad puedan realizar su trabajo con mucha mayor eficiencia.

8.6.1. Cómo funciona este departamento.

El jefe de ingeniería recibe la información de los líderes de proyecto sobre los productos por fabricar y determina el tiempo necesario para dicha elaboración de los planos y los programas, de acuerdo a su complejidad.

La instrucción, que recibe el jefe del departamento, por parte del departamento de Planeación, consiste en la elaboración de los planos y programas para las máquinas CNC, de acuerdo a las cuerdas del tambor.

El jefe de ingeniería distribuye el trabajo entre los dibujantes y programadores. El supervisor de dibujo coordina el trabajo entre los dibujantes y revisa los planos. Estos planos deben de contar con la aprobación del jefe de ingeniería y del líder de proyecto, antes de ser liberados. Una vez que ya se hayan aprobado los planos, éstos se entregan a los programadores para que elaboren los programas de máquinas CNC; calculen los desarrollos de materiales para las operaciones de corte, troquelado y doblado y elaboren las listas de habilitación de materia prima. El jefe de ingeniería recopila y revisa toda la información antes de entregarla al departamento de Planeación.

El resultado de esta reforma ha permitido solucionar el problema de la falta de información de las órdenes de producción. El departamento de planeación puede estimar mejor los tiempos de fabricación con los planos de ingeniería, mientras Producción tiene completos los programas y listas de habilitación de materiales. El departamento de aseguramiento de calidad puede inspeccionar los materiales en proceso, con las especificaciones de los productos, que aparecen en los planos.

8.6.2. Semáforo de colores para el monitoreo de avances.

Este departamento cuenta también con un sistema de semáforo, similar al del control de amortiguadores de la restricción y de embarque. El jefe de ingeniería avisará al jefe de planeación y líderes de proyecto de los atrasos en los dibujos de los planos cuando la información no se encuentre lista y el semáforo de colores se encuentre en color rojo.

8.7. Departamento de Planeación y Control de la Producción.

Al departamento de planeación y control de la producción lo forman seis personas: un jefe, un supervisor del tambor, dos programadores para la elaboración del tambor y dos personas para el control de los amortiguadores de la restricción y de embarque.

Los cambios producidos por la reforma se describen a continuación:

La elaboración del tambor y el tiempo estimado en la fabricación de los productos se realiza en este departamento.

Las herramientas utilizadas para la elaboración del tambor y para la logística del sistema D.B.R. son: *Microsoft Project Manager* y *Excel*, respectivamente. Los reportes y Gráficas de Gantt utilizados, mencionados en el capítulo 6, son fáciles de interpretar y analizar.

Los programadores del tambor reciben las órdenes de fabricación, junto con los planos de los productos. La primera actividad que realizan es determinar las órdenes para operaciones en el “recurso restricción soldadura”. Una vez separadas estas órdenes, el siguiente paso consiste en estimar el tiempo requerido en el “recurso restricción”, para la fabricación de los productos. A continuación se determinará el tamaño del amortiguador de embarque para cada una de ellas. El tiempo asignado para el

amortiguador de embarque debe ser suficiente para garantizar que la orden de fabricación se entregará a tiempo. A la fecha de entrega de dicha orden se le resta este amortiguador para determinar cuándo debe terminar el trabajo en la restricción. Este proceso se realiza para todas las órdenes, que requieran operaciones en la restricción.

Una vez terminado este proceso, el siguiente paso consiste en estimar el tamaño del amortiguador de la restricción para la liberación de los materiales para cada una de las órdenes. El tamaño del amortiguador debe ser suficiente para garantizar que los materiales se encontrarán listos y a tiempo en el área designada para el amortiguador de la restricción, para ser procesadas por el departamento de soldadura.

Los programadores del tambor asignan cada una de las órdenes a los diferentes equipos de soldadura. El tiempo requerido en el “recurso restricción” y de los amortiguadores de embarque y de la restricción, se representan por medio de bloques, en la Gráfica de Gantt. Podemos observar en la gráfica 8.1., el tiempo programado en la restricción de color azul y qué equipo de soldadura realizará el trabajo. Los bloques del amortiguador de entrega los podemos identificar con el color gris claro. Estos bloques contienen las iniciales V,A,R para indicar el mecanismo del semáforo de colores para su control. La inicial V –verde- es para identificar la zona III del amortiguador; la inicial A –amarillo- para la zona II del amortiguador y por último R –rojo- para identificar la zona I o de expedición del amortiguador. Así mismo, el amortiguador de la restricción también está identificado por medio de los colores verde, amarillo y rojo, para indicar cada una de las zonas de control del amortiguador.

Una vez asignados todos los bloques podemos observar la carga de trabajo para cada uno de los equipos de soldadura. El siguiente paso consiste en nivelar la carga de trabajo, para asegurarnos que la cantidad de bloques u órdenes que se tienen que fabricar al mismo tiempo, no exceda la capacidad disponible del “recurso restricción”. El proceso de nivelación, como mencionamos en el capítulo anterior, consiste en recorrer los bloques hacia la izquierda en el eje del tiempo para fabricarlos antes de lo demandado por la fecha de entrega de los pedidos. Después de nivelar es posible que algunos bloques se hayan empujado hacia atrás; esto significa que tenemos que reprogramar estas órdenes y desplazar los bloques en conflicto hacia la derecha en la escala de tiempo. Algunas órdenes se terminarán después de lo planeado en un principio. Las fechas de entrega de estas órdenes podrán estar expuestas a incumplimiento. En estos casos el jefe de planeación avisará a los líderes de proyecto y al Director de la Empresa para buscar una solución, que puede ser: aumentar la capacidad del recurso incrementando el tiempo extra; asignar el trabajo a otro recurso alternativo, contratar personal, etc.

Al concluir el proceso de planeación de todas las órdenes, que requieran operaciones realizadas por la restricción, se programan las órdenes restantes cuyo proceso de manufactura no pasa por este recurso.

El nuevo proceso de planeación para las órdenes de fabricación en proyectos grandes se desarrolla como sigue: el jefe del departamento recibe un proyecto y verifica que la información sea suficiente para determinar la carga de trabajo para la restricción, y en base a este resultado, estimar una fecha para la fabricación del proyecto y para las cuerdas necesarias para desarrollar la ingeniería del producto, así como para la adquisición de materia prima. Esta fecha se negocia con el cliente. En el caso de aceptarse se procede a la generación de planos de ingeniería y se generan las órdenes de fabricación. El sistema utilizado para determinar las prioridades de las órdenes es el siguiente: los pedidos son programados de acuerdo al criterio de primeras entradas, primeras salidas, sin embargo cuando exista algún conflicto para entregar algún pedido entre los pedidos del GRUPO y de los clientes propios, la Dirección General es quien decidirá cuál alcanza prioridad.

El jefe del departamento de planeación recopila la información de las órdenes de fabricación, antes de liberarlas para su fabricación.

Los controladores recopilan la información de los amortiguadores y reportan los resultados semanalmente al jefe de planeación. Esta información se analiza y los histogramas y gráficas se generan para medir el desempeño de la planta.

Los reportes que utilizan los controladores del departamento de planeación para medir el desempeño del sistema son: el reporte de liberación de materiales, el reporte para el control del amortiguador de la restricción, el reporte de desempeño para la restricción y el reporte para el control del amortiguador de embarque. Estos reportes se encuentran en el Anexo 3.

El reporte para medir el desempeño de la restricción se utiliza para analizar cuándo el tiempo programado para terminar el trabajo en el recurso soldadura se adecua para cada uno de los seis equipos de soldadura. En la siguiente tabla se puede observar

las desviaciones, presentadas en cada uno de los seis equipos de soldadura para una muestra de veinte órdenes de fabricación.

TABLA PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE LA RESTRICCIÓN

ÓRDENES ID	EQUIPO 1 DESVIACIÓN	EQUIPO 2 DESVIACIÓN	EQUIPO 3 DESVIACIÓN	EQUIPO 4 DESVIACIÓN	EQUIPO 5 DESVIACIÓN	EQUIPO 6 DESVIACIÓN
1	0	1	0	0	0	-1
2	0	-1	-1	1	0	0
3	-1	0	-1	1	0	0
4	1	1	0	0	0	0
5	2	2	0	0	0	-1
6	-1	2	0	1	0	-1
7	-2	1	1	1	1	0
8	-1	1	1	-1	0	0
9	1	0	0	0	1	1
10	0	1	-1	0	1	1
11	2	2	-1	1	1	0
12	2	1	1	1	0	1
13	1	1	1	0	0	-2
14	0	1	-1	-1	0	-2
15	0	0	-1	0	1	-1
16	-1	0	0	1	0	0
17	0	0	1	1	1	1
18	0	-1	-1	0	0	0
19	1	0	0	0	0	1
20	1	1	0	1	0	0

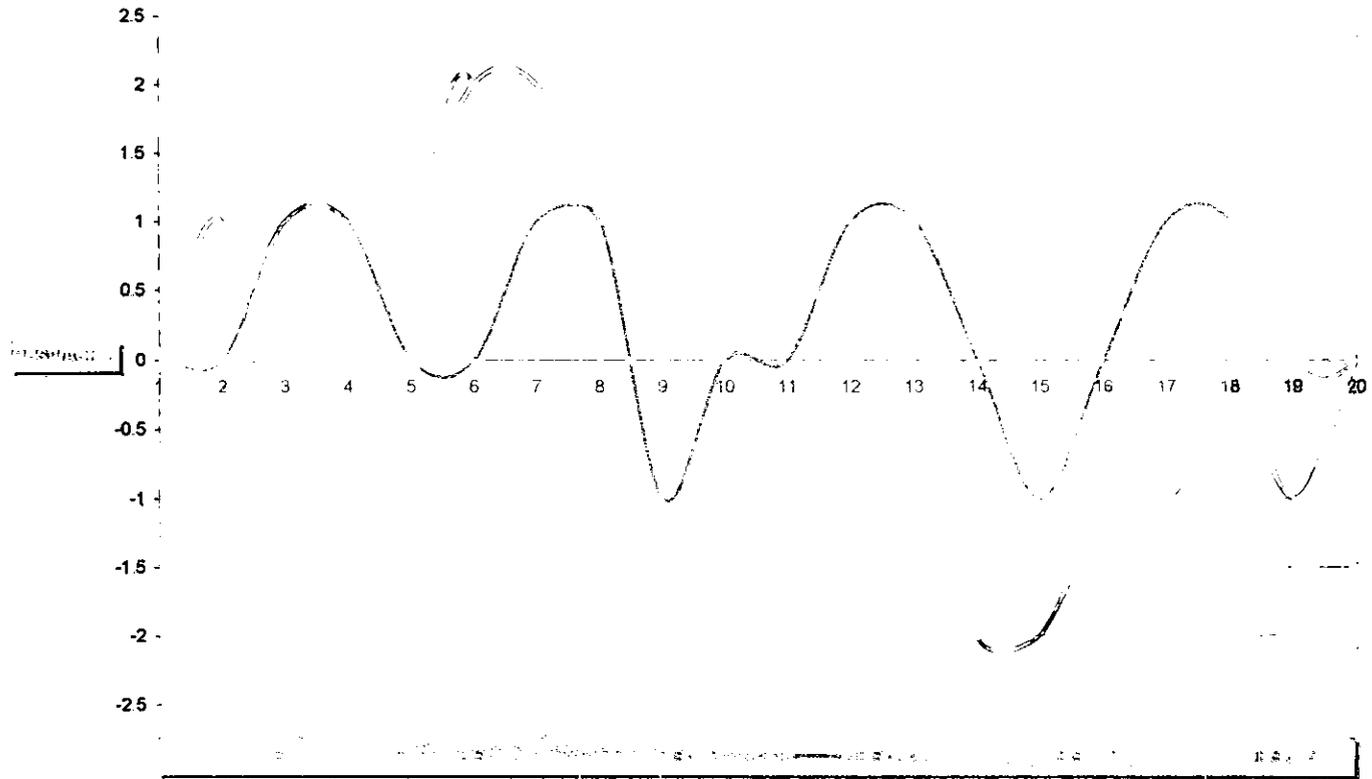
TABLA

TABLA 8.2. Tabla para medir el desempeño de la restricción.

En la tabla 8.2. podemos observar la desviación del programa, presentada para cada uno de los seis equipos de soldadura. Un número positivo se indica cuando el trabajo en el equipo de soldadura ha requerido más tiempo del programado en su elaboración final. Una desviación negativa significa que el equipo de soldadura terminó la orden en un tiempo menor al programado en el tambor.

El departamento de Planeación y Control de la Producción recopila esta información todos los meses, para el análisis de sus estimaciones de tiempo para los trabajos en la restricción. La información recopilada en este reporte es muy importante para retroalimentar a los programadores del tambor, corrigiendo sus estimaciones de tiempo para los diferentes pedidos. Recordemos que los programadores del tambor no tienen la información completa ni estadísticas previas de tiempos estándares de fabricación.

Gráfica 8.3.



8.8. Reporte y gráfica de nivel de servicio.

En la tabla para el cálculo del nivel de servicio N.D.S. se evidencia la cantidad de pedidos que se entregaron en los meses de enero a diciembre, tanto para los del GRUPO como de los demás clientes. Con la ayuda de esta tabla se aprecia cuántos pedidos se entregaron a tiempo para calcular el N.D.S. y cuántos pedidos se entregaron tarde y con cuántos días de retraso.

En la tabla 8.3. Información para la gráfica de nivel de servicio año 1999 y en la gráfica 8.3. Nivel de servicio año 1999, podemos analizar cómo fue el nivel de servicio N.D.S. de la empresa antes de la implementación del sistema tambor – cuerda – amortiguador D.B.R. El número de pedidos entregados a tiempo para los del GRUPO fue muy irregular. En el mes de abril fue tan sólo de 6.40%, mientras que el porcentaje mayor se alcanzó en el mes de diciembre con apenas un 51.79%. El total de pedidos del GRUPO durante el año 1999 completó un número de 1331, de los cuales se entregaron a tiempo 504, lo que representa apenas el 37.87% de los casos.

Los pedidos para los clientes propios de la empresa tuvieron también mucha variación. El mes de abril reflejó también un porcentaje muy bajo de 46.15% y en el mes de diciembre se alcanzó el porcentaje mayor de 84.21%. El total de pedidos de los clientes propios durante el año 1999 fue de 824, de los cuales se entregaron a tiempo 485, que representa el 58.86% de los casos.

Se puede observar también, que la cantidad de pedidos con más de 10 días de atraso en su entrega durante el año de 1999, tanto para los pedidos del GRUPO como para los de clientes propios fue bastante importante.

TABLA DE INFORMACIÓN PARA LA GRÁFICA DE NIVEL DE SERVICIO AÑO 1999

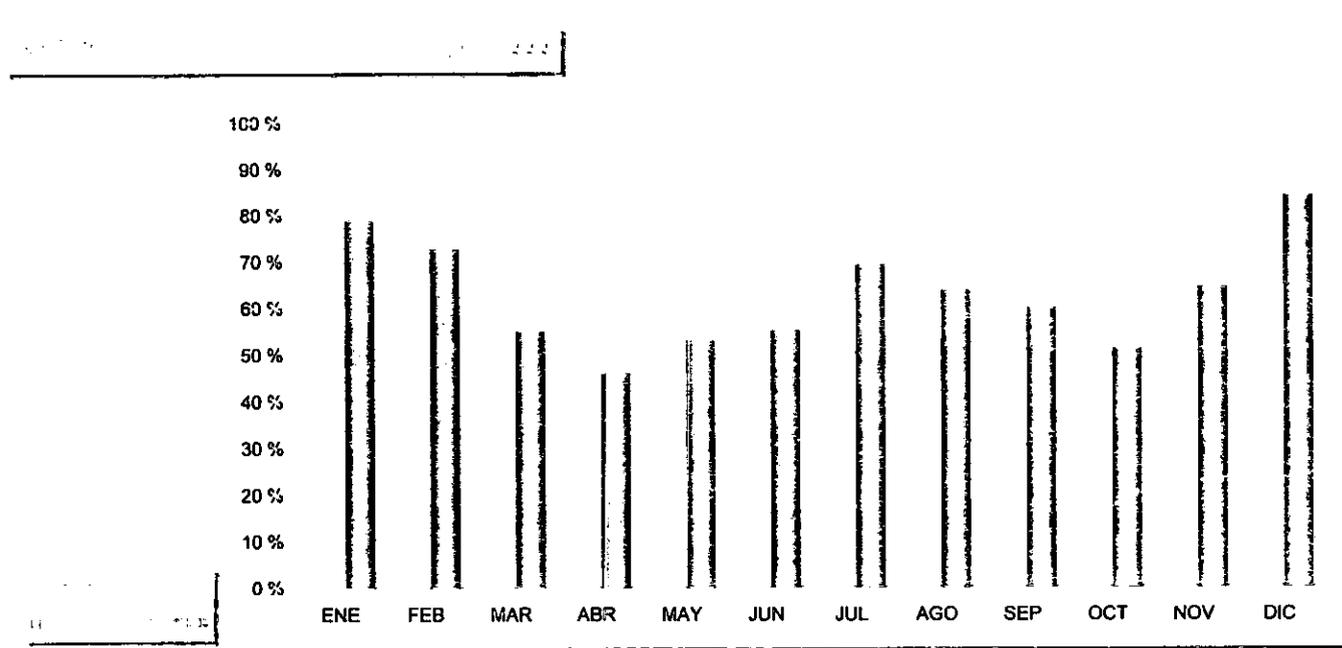
DÍAS ATRASO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES
60 O MÁS	1	1	0	0	0	0	1	0	2	4	1	0	5	2	15	6	3	1	0	2	5	0	1	0
40 A 45	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	0	2	0	0	0	0	1	3	1	0	0
44 A 40	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	1	3	1	1	4	1	0	1	0
33 A 35	1	0	1	0	0	1	5	2	0	2	1	0	0	6	0	0	4	0	0	1	1	0	1	0
34 A 30	1	2	9	0	0	0	7	0	2	0	2	0	0	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0
29 A 25	1	2	5	0	3	1	0	1	3	1	0	1	5	0	4	0	2	0	1	0	0	1	1	1
24 A 20	1	1	0	0	3	2	11	2	4	2	3	0	5	1	7	3	4	2	4	0	1	0	4	0
19 A 15	0	1	3	0	14	6	12	1	7	6	6	2	6	2	3	2	5	2	9	4	3	2	3	0
14 A 10	5	1	7	2	0	0	19	2	0	6	14	6	10	2	12	2	17	5	8	4	4	2	3	1
9 A 5	11	1	0	4	21	4	30	10	14	3	22	4	12	6	10	1	10	6	12	6	13	5	3	1
4 A 1	27	10	14	4	13	16	30	17	20	13	18	12	23	14	22	23	25	22	20	24	21	11	10	3
A TIEMPO	33	40	20	27	15	37	0	50	41	40	74	31	50	55	72	63	64	33	46	50	52	35	20	32
TOTALES:	60	63	70	37	70	67	125	65	112	75	143	56	135	88	162	108	149	78	101	98	104	57	56	38
NDS:	53.07%	67.03%	25.64%	72.07%	10.74%	53.22%	0.40%	43.15%	53.61%	53.33%	81.75%	65.36%	37.04%	62.50%	44.44%	63.62%	42.02%	60.00%	43.84%	62.02%	60.00%	81.40%	51.70%	64.21%

Tel: 63.

NIVEL DE SERVICIO ANTES DE IMPLEMENTAR D.B.R. AÑO 1999

PEDIDOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.	TOTAL PEDIDOS
GRUPO	36.7 %	25.6 %	19.7 %	6.4 %	36.6 %	51.8 %	37.0 %	44.4 %	43.0 %	45.5 %	50.0 %	51.8 %	37.38 %	1331
CLIENTES PROPIOS	67.8 %	73.0 %	55.2 %	46.2 %	53.3 %	55.4 %	62.5 %	63.9 %	50.0 %	52.1 %	61.4 %	84.2 %	58.86 %	824

Gráfica 8.4.



El bajo desempeño de la empresa en la prontitud y exactitud en las entregas se debía a todos los problemas, que explicamos en su operación y a la falta de control. Esta situación ponía a la empresa en una situación poco favorable en el mercado. Los reclamos de los clientes eran considerables.

En el año 2000 se empezó con la implementación del sistema **D.B.R.** y se llevó registro del nivel de servicio de cada mes. Se puede observar los resultados en la tabla 8.4. Información para la gráfica de nivel de servicio año 2000.

TABLA DE INFORMACIÓN PARA LA GRÁFICA DE NIVEL DE SERVICIO AÑO 2000

DÍAS ATRASO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	GRUPO	CLIENTES	
53 O MÁS	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
49 A 45	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
44 A 40	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
39 A 36	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
34 A 30	2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	3	0	3	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
29 A 25	5	0	0	0	2	0	11	4	4	1	3	0	2	0	2	1	0	2	0	0	4	1	2	0	
24 A 20	4	0	2	3	4	0	3	0	3	0	8	0	5	0	2	0	1	3	2	0	0	1	1	1	
19 A 15	4	1	2	1	5	1	3	3	2	2	7	0	4	4	0	4	1	2	4	2	10	3	5	1	
14 A 10	5	1	3	3	4	5	5	7	7	1	10	0	4	4	12	2	18	5	5	8	8	3	3	3	
9 A 5	10	2	14	1	10	8	15	12	20	2	16	2	22	2	21	15	21	23	14	12	10	5	5	9	
4 A 1	15	12	33	10	33	15	45	19	19	21	32	16	30	16	48	37	45	42	32	24	25	31	35	14	
A TIEMPO	70	44	76	43	60	53	145	65	115	87	100	60	120	120	133	132	150	178	132	120	59	60	83	72	
TOTALES:	110	63	137	71	103	63	234	140	170	64	165	109	207	155	235	191	233	259	191	163	132	117	150	101	
HDS:	60.34%	64.71%	56.03%	60.56%	61.65%	67.05%	61.97%	67.65%	64.81%	71.20%	54.33%	62.67%	61.84%	61.29%	57.87%	63.11%	63.56%	63.73%	63.11%	72.29%	44.70%	53.12%	65.33%	71.20%	

Tabla 8.4.

En el año 2000 se registró un aumento sustancial en la demanda de los productos de la empresa. La cantidad de pedidos del GRUPO, como de los clientes propios, se incrementó considerablemente.

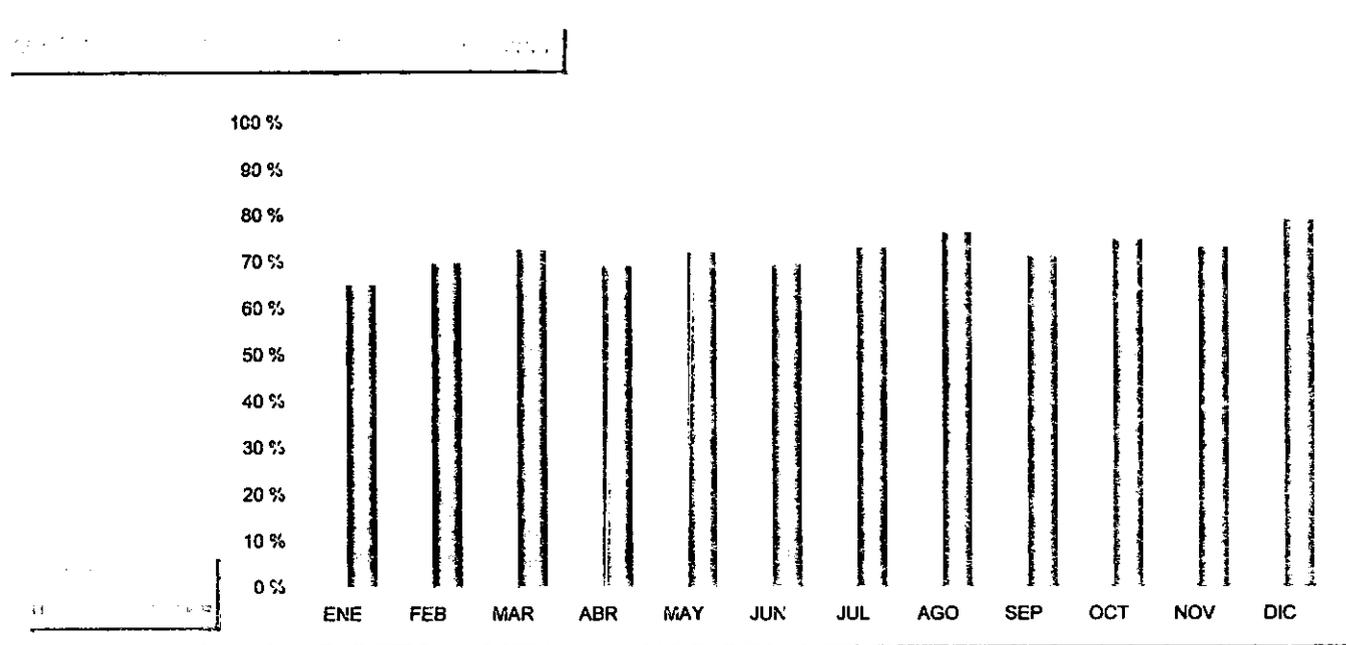
En el año 1999 la cantidad de pedidos del GRUPO sumó 1331 y el número de pedidos de clientes fue de 824. En el año 2000 se generaron un total de 2171 pedidos para el GRUPO, lo que representa un aumento de la demanda del 63.11%, con respecto al año anterior. La cantidad de pedidos de clientes en el año 2000 llegó a 1559; por lo tanto el incremento de la demanda fue del 89.20%, con respecto al año anterior.

El promedio de pedidos producidos por el GRUPO y el de los demás clientes después de implementar **D.B.R.** entregados a tiempo durante el año 2000 fue **N.D.S.** = 60.62%, para los del GRUPO y el nivel de servicio a clientes propios **N.D.S.** = 70.17% ver en la gráfica 8.5. El nivel de servicio después de implementar **D.B.R.** año 2000 presentó estos resultados. Cabe hacer mención que el tamaño del amortiguador de embarque se fijó en 9 días durante todo el año 2000. Un número importante de pedidos del GRUPO y clientes propios de la empresa se entregó entre 1 y 4 días tarde. Esto es indicativo de que el tamaño del amortiguador de embarque de 9 días debe incrementarse de 1 a 4 días para mejorar el nivel de servicio.

NIVEL DE SERVICIO DESPUÉS DE IMPLEMENTAR D.B.R. AÑO 2000

PEDIDOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.	TOTAL PEDIDOS
GRUPO	60.3 %	56.9 %	61.9 %	62.0 %	64.6 %	54.4 %	61.8 %	57.9 %	63.6 %	69.1 %	44.7 %	65.3 %	60.62 %	2171
CLIENTES PROPIOS	64.7 %	60.6 %	67.1 %	67.9 %	71.3 %	82.6 %	81.3 %	69.1 %	68.7 %	72.3 %	58.1 %	71.3 %	70.17 %	1559

Gráfica 8.5.



En la tabla 8.5. Datos comparativos antes y después de **D.B.R.** se observan los resultados al implementar el sistema **D.B.R.** en la empresa.

MES	GRUPO		CLIENTES PROPIOS	
	ANTES DE D.B.R.	DESPUÉS DE D.B.R.	ANTES DE D.B.R.	DESPUÉS DE D.B.R.
ENERO	36.67%	60.34%	67.80%	64.71%
FEBRERO	25.64%	56.93%	72.97%	80.56%
MARZO	19.74%	61.88%	55.22%	67.05%
ABRIL	6.40%	61.97%	46.15%	67.86%
MAYO	36.61%	64.61%	53.33%	71.28%
JUNIO	51.75%	54.36%	55.36%	82.57%
JULIO	37.04%	61.84%	62.50%	81.29%
AGOSTO	44.44%	57.87%	63.89%	69.11%
SEPTIEMBRE	42.95%	63.56%	50.00%	68.73%
OCTUBRE	45.54%	69.11%	52.08%	72.29%
NOVIEMBRE	50.00%	44.70%	61.40%	58.12%
DICIEMBRE	51.79%	65.33%	84.21%	71.29%
N.D.S. PROMEDIO:	37.87%	60.62%	58.86%	70.17%

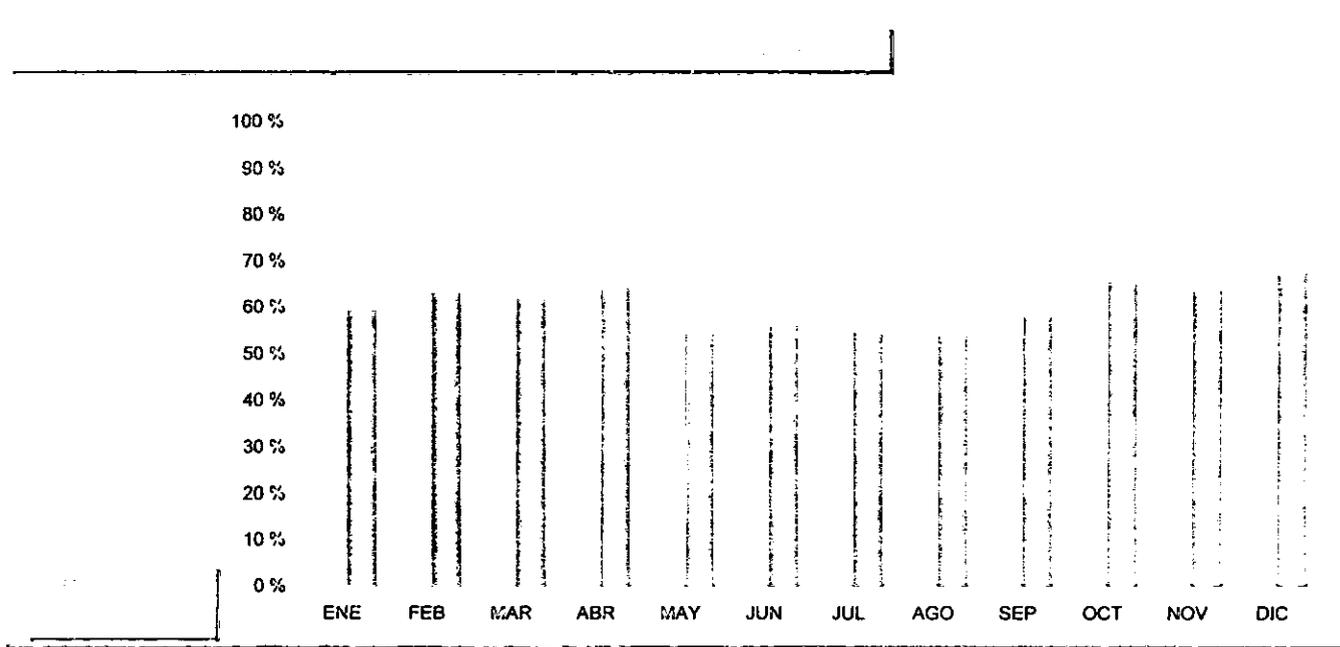
Tabla 8.5. Datos comparativos antes y después de D.B.R.

Las siguientes gráficas 8.6. y 8.7. muestran la comparación del nivel de servicio antes y después de implementar **D.B.R.** para los pedidos del **GRUPO** y los pedidos de clientes propios.

COMPARACIÓN NIVEL DE SERVICIO ANTES Y DESPUÉS DE D.B.R.

PEDIDOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.	TOTAL PEDIDOS
GRUPO ANTES	36.7 %	25.6 %	19.7 %	6.4 %	36.6 %	51.8 %	37.1 %	44.4 %	43.0 %	45.5 %	50.0 %	51.8 %	37.9 %	1331
GRUPO DESPUÉS	60.3 %	56.9 %	61.9 %	62.0 %	64.6 %	54.4 %	61.8 %	57.9 %	63.6 %	69.1 %	44.7 %	65.3 %	60.6 %	2171

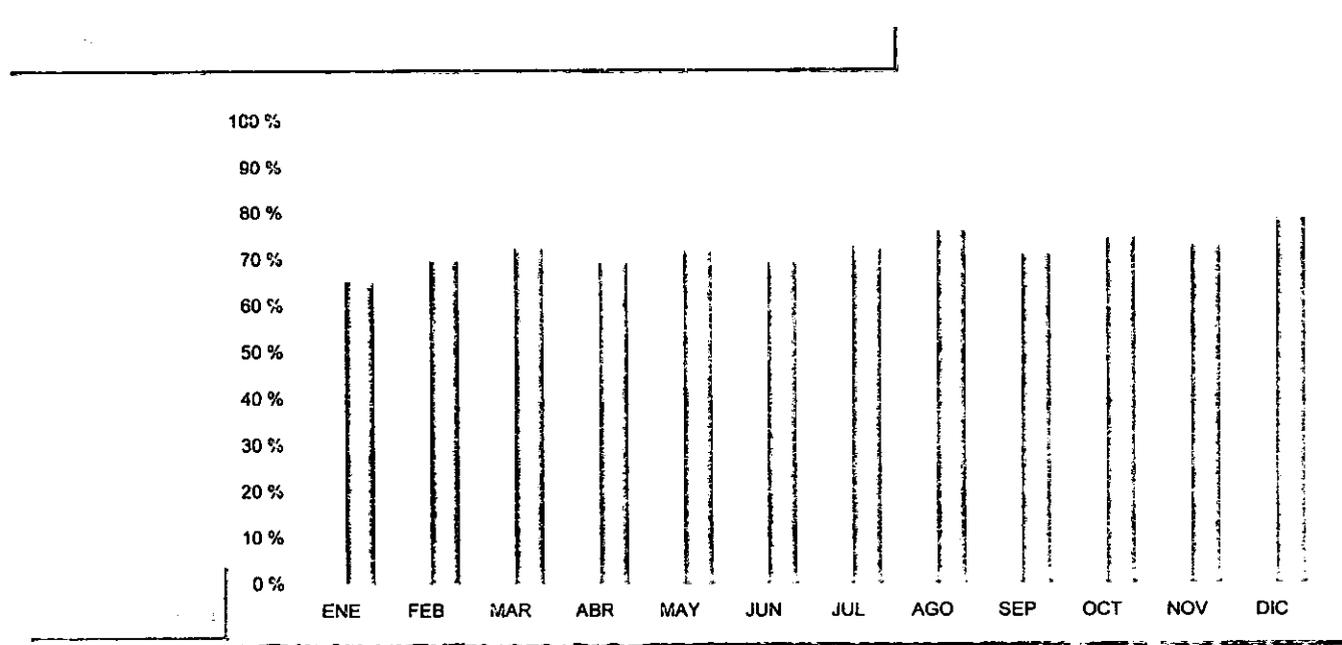
Gráfico 8.6.



COMPARACIÓN NIVEL DE SERVICIO ANTES Y DESPUÉS DE D.B.R.

PEDIDOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.	TOTAL PEDIDOS
CLIENTES ANTES	67.8 %	73.0 %	55.2 %	46.2 %	53.3 %	55.4 %	62.5 %	63.9 %	50.0 %	52.1 %	61.4 %	84.2 %	58.9 %	824
CLIENTES DESPUÉS	64.7 %	60.6 %	67.1 %	67.9 %	71.3 %	82.6 %	81.3 %	69.1 %	68.7 %	72.3 %	58.1 %	71.3 %	70.2 %	1559

Gráfica 8.7.



Los resultados generados por la implementación del sistema **D.B.R.** en la empresa modelo de este estudio para la tesis, empiezan a evidenciarse de manera creciente y positiva debido a que dicha empresa ha despegado hacia un nivel de servicio altamente positivo, como se puede observar en las gráficas comparativas 8.6. y 8.7.

El promedio de pedidos entregados a tiempo en 1999 para el GRUPO, fue de 37.87%. Después de implementar **D.B.R.** el promedio de pedidos se incrementó a 60.62%. Este número aparentemente no resulta tan alto, sin embargo debido al aumento de la demanda del 63.11% en la cantidad de pedidos del GRUPO en el año 2000, si se comparan los 504 pedidos entregados a tiempo en 1999 con los 1316 del año 2000, se obtiene un incremento del 161.11% en las entregas.

El promedio de pedidos de clientes entregados a tiempo en 1999 fue de 58.86%. Se entregó puntualmente un total de 485 pedidos en ese año. En el año 2000 aumentó el nivel de servicio a 70.17%. Se entregaron un total de 1094 pedidos a tiempo, lo que representa un incremento porcentual de 125.57%, con respecto al año 1999.

La tendencia ascendente en el sistema requiere pulirse todavía más para alcanzar puntos más altos aun, aproximándose a la excelencia esperada.

Los resultados esperados a mediano plazo consisten en el aumento del nivel de servicio, la reducción de la variabilidad y el tamaño de los amortiguadores de la restricción y de embarque. En la medida que se implemente el sistema **D.B.R.** en las otras empresas del GRUPO y se logre la sincronía del trabajo entre ellas, superará el servicio a los clientes.

La conclusión

LA CONCLUSIÓN

Ya logrado el desarrollo de esta tesis, podemos pasar a la síntesis que concluya la labor de investigación e implantación de la teoría del Dr. Eliyahu Goldratt, conocida como Teoría de Restricciones **T.O.C.**, como filosofía de dirección y el sistema logístico de Tambor – Cuerda – Amortiguador **D.B.R.**, a una empresa manufacturera de muebles y herrajes metálicos para hacer más efectiva su operación.

El proceso nos llevó a plantear la hipótesis de que los trabajos del Dr. Goldratt podrían solucionar la ineficiencia de una o varias partes de las empresas del GRUPO en cuestión. A esta hipótesis se le fue llevando a la actual tesis a través de la teoría mencionada, que concluye en un éxito muy evidente según se ha demostrado, y que el perfeccionamiento de esta implementación a futuro en un mediano plazo podría evidenciar una mejora total.

La operación de las empresas manufactureras ha sufrido cambios muy importantes en los últimos años, y observamos que los resultados ya no son satisfactorios debido a que los métodos tradicionales empleados, no satisfacen las demandas de los clientes en un mercado globalizado. Es indispensable actualizar los sistemas de administración, logística y operación, que por ineficientes o anticuados, ahora han quedado obsoletos. Los clientes exigen actualmente mucha más calidad en los productos que antiguamente; también un servicio ágil, moderno y respetuoso de los tiempos, siempre más rápidos y más económicos, que los de la muy vasta competencia.

El objetivo de este estudio fue hacer realidad la hipótesis de que la empresa podría ser el ejemplo positivo de la implementación del sistema logístico: Tambor – Cuerda – Amortiguador **D.B.R.**, para optimizar su operación, encaminando todos los esfuerzos de mejora para alcanzar la meta de la organización, que es naturalmente obtener mayores ganancias hoy y en el futuro.

Nuestra empresa ha crecido mucho en los últimos cinco años porque sus clientes se han diversificado y ha podido capitalizar esas oportunidades. Su propósito actual consiste en mejorar su operación para hacerla más competitiva en el mercado nacional e inclusive en el mercado extranjero.

Actualmente se tienen contratados proyectos para algunas de las cadenas de tiendas departamentales más importantes de los Estados Unidos y empresas de gran relevancia y prestigio, en Centro y Sudamérica. Los directores de la empresa ya habían reconocido que todavía existían problemas en la operación, que requerirían soluciones inmediatas para lograr llegar a una mejora; había que pasar por una inspección, así como un profundo análisis de las fallas, que provocaban ineficiencia y descontrol. Cuando dicho análisis sólo se veía desde dentro, se pensó en investigar seriamente la forma científica; cuál debía ser el método que descubriera, organizara y mejorara la producción. Fue entonces cuando surgió la hipótesis de que una teoría moderna como la Teoría de Restricciones T.O.C., podría ser la forma lógica de detectar e implantar y corregir.

El objetivo esencial de este estudio fue demostrar que, con los principios del sistema D.B.R. y el proceso de mejora continua de T.O.C., se crearían una mentalidad de éxito para la empresa reflejada en el aumento de las ganancias y en el reconocimiento de los clientes.

Si el objetivo de este estudio fue el proceso de mejora, la solución esencial fue utilizar la teoría del Dr. Eliyahu Goldratt, y así se redujeran o eliminaran algunos de los efectos indeseables característicos en la operación de empresas manufactureras.

El primer punto a resolver fue la estructura simplista de la empresa, donde recaían todas las funciones operativas en tan sólo tres personas, donde un jefe de producción aparecía como el único responsable del control en la planta. Se solucionó este problema procediendo a reestructurar la empresa, creando nuevos puestos ejecutivos y mandos medios para contar con

los recursos humanos necesarios para implementar el sistema logístico de planeación y control de la producción: Tambor – Cuerda – Amortiguador **D.B.R.**

La programación ineficiente de la producción ponía a la empresa en una posición muy delicada. La impuntualidad en las fechas de entrega de los pedidos amenazaba el **throughput** y el prestigio del propio GRUPO, que se caracteriza por la entrega de proyectos en las fechas prometidas y bajo presupuesto, dado lo cual el costo de oportunidad por incumplimiento resultaba muy alto. La empresa no contaba con un sistema para la planeación de la producción en el que se definieran las prioridades de las órdenes a fabricar y por lo tanto era prácticamente imposible cumplir esas demandas urgentes de los clientes sin cambiar las prioridades y acelerar continuamente la producción.

En el programa del tambor encontramos la definición adecuada para las prioridades de las órdenes de producción al determinar la secuencia en la que se debe realizar el trabajo; las fechas de liberación de las órdenes para su fabricación; los tiempos programados para los trabajos en la restricción y para los amortiguadores y por último las fechas de entrega de los pedidos. El tambor simplificaba el problema de planeación de la producción y mediante el seguimiento del mismo se obtuvo un mayor control en la planta.

El problema causante de las fallas en los tiempos de producción se debían al desconocimiento de la carga de trabajo del recurso restricción y a la variabilidad en los procesos. La empresa no contaba con un mecanismo para determinar la carga de trabajo del “recurso restricción” y no determinaba holgura suficiente en los tiempos para proteger las entregas.

La respuesta al problema consistía en la utilización del reporte del tambor como auxiliar muy gráfico, que permite identificar rápidamente la carga de trabajo del recurso restricción y de esta forma conocer si la empresa está en condiciones para aceptar más pedidos,

garantizando las fechas de entrega. Antes de aceptar algún proyecto se verifica con el departamento de planeación y control de la producción la capacidad disponible de los recursos.

Otro de los problemas más significativos del departamento de producción se presentaba continuamente; era la falta de materiales durante el proceso de fabricación y los paros y retrasos ocasionados en el departamento de ensamble - cuello de botella - de la empresa al no encontrarse listos todos los materiales en el momento requerido para iniciar los trabajos en ese recurso. Los materiales pasaban mucho tiempo en espera y crecían los tiempos de fabricación; tampoco se contaba con inventarios de seguridad adecuados en el lugar y momento requeridos. La expeditación de materiales para entregar los pedidos a tiempo era una rutina de todos los días. Los operadores no se hacían responsables del producto; se perdían las piezas durante el proceso de producción y aparecían faltantes en los pedidos, causando una mala impresión ante el cliente, porque el control de calidad quedaba en manos de los trabajadores, quienes no siempre cuidaban el número de las piezas ni la calidad al ensamblar, ya sea por negligencia o por simples pérdidas. Esta gravísima falla se detectaba muchas etapas después, cuando era demasiado tarde para poder regresar a los tiempos supuestos. Goldratt aconseja para estos casos la revisión meticulosa de las piezas para evitar que la falla se multiplique, ocasionando severos desajustes.

Esa falta de sincronización en la manufactura ocasionaba la falta de continuidad en el flujo de la producción, dando como resultados negativos, exceso en el inventario en proceso, que a veces provocaba en los trabajadores una acumulación de posibilidades para enlistar las órdenes de trabajo, escogiendo al propio albitrio la secuencia, que podía basarse en el menor esfuerzo, el gusto personal o hasta hacer parecer que estaban agobiados por la cantidad de materiales. Si el supervisor detectaba esta falta de control, que perturba el orden deseado, normalmente ya es demasiado tarde. La solución para resolver este deterioro de los tiempos

puede ser detener el trabajo, que se realizaba para implementar lo más urgente, pero una vez más manejando un caos con otro.

Empleando el nuevo sistema se puede controlar el flujo de los materiales durante la fabricación con la ayuda de la cuerda y el monitoreo de amortiguadores. El sistema de los semáforos de colores utilizados para el control de los amortiguadores permite a los responsables tomar acciones para garantizar, que todos los materiales estén listos para ensamblarse en el recurso restricción – soldadura - y de esta manera lograr explotar la restricción y proteger el **throughput** de la empresa.

La subordinación de los demás recursos al tambor ha permitido reducir paulatinamente los ciclos de producción y el inventario en proceso, y la sincronización de la producción.

Como puede apreciarse con la implementación del sistema **D.B.R.**, en la empresa ha sido posible optimizar la planeación y el control de la producción → manufactura sincronizada. El nivel de servicio en las entregas a los clientes ha mejorado, y por lo tanto la imagen ante el cliente también.

Al contar con un sistema para la planeación de la producción y con programadores que estimen los tiempos de fabricación, sí es posible responder con prontitud a las demandas de la clientela.

La planeación de la producción, que hasta hace unos años la realizaba el jefe de producción, además de sus otras actividades de control de piso, ahora se realizan de manera más eficiente con un departamento de planeación y control de la producción, que desarrolla el programa de producción tambor y da seguimiento a cuerdas y controla los amortiguadores.

Hemos logrado incrementar con la implementación del sistema **D.B.R.** el nivel de servicio de la empresa de un 37.87%, para los pedidos del GRUPO a un 60.62%, en un lapso de 12 meses. El nivel de servicio, es decir, el número de pedidos entregados a tiempo para los

demás clientes se ha elevado de un 58.86 % a un 70.17%, en el mismo lapso. Con la herramienta del tambor los directivos de la empresa pueden determinar la carga de trabajo presente y determinar si se dispone de los recursos necesarios para ofrecer sus productos a un número mayor de posibles clientes activos, asignando correctamente los mismos para continuar con entregas puntuales.

Como se puede captar del enfoque sistemático propuesto por el Dr. Goldratt, la mejora continua debe entenderse siempre como la realización de un ciclo de análisis del cuello de botella, su solución y la detección oportuna, gracias a la constante vigilancia del proceso. No se puede caer en el error de descuidar un cuello de botella y pretender que el proceso ya funcionará eternamente. Por el contrario se debe realizar el ciclo constatando la eficiencia del cuello de botella 1: identificar la restricción; explotar la restricción; subordinar a la decisión anterior; elevar la restricción y por último volver a ese paso número 1.

En el corto plazo el sistema D.B.R. debe garantizar en el paso de la subordinación, que todos los recursos no cuellos de botella, no dejen sin material al recurso restricción. La función del departamento de Aseguramiento de la Calidad es precisamente garantizar la calidad de los materiales, sobre todo antes de que se trabajen en la restricción. De igual forma es muy importante cuidar los materiales en los procesos posteriores a la restricción, esto es, no echar a perder los productos, después de que éstos pasaron por ella.

En el largo plazo podemos mencionar la necesidad de mejorar el rendimiento de la organización a niveles superiores a los impuestos por las restricciones actuales.

La estrategia de la empresa es aumentar la capacidad del “recurso restricción soldadura” y al mismo tiempo, aumentar aún más la capacidad de los demás recursos, que no son restricción; esto es: incrementar la capacidad de protección, para fijar la restricción en el departamento de ensamble y no aparezca una nueva restricción en algún otro lugar.

Sin embargo todavía hay un largo camino que recorrer para finalizar con éxito la implementación del sistema **D.B.R.**; todavía quedarían por realizar cambios de mejora en la planeación de la producción y en la ejecución de los proyectos controlados desde la oficina central del GRUPO, para que todas las fases o etapas de los proyectos se logren concretar de manera sincronizada.

La planeación de la producción conducirá todos los proyectos del GRUPO y clientes propios de la empresa; cuidará que se realice por un solo departamento de planeación y control de la producción. Este departamento planea el trabajo para todas las empresas del GRUPO.

La tarea esencial de liberación de las órdenes de fabricación para todas las empresas debe ser oportuna y sincronizada para cumplir con las fechas de entrega de los proyectos del GRUPO.

La liberación del trabajo de los proyectos del GRUPO para la empresa, debe ser con suficiente anticipación – longitud de la cuerda - para garantizar que los herrajes o muebles metálicos se encuentren listos al momento de ser requeridos, ya sea por alguna otra empresa del GRUPO para el ensamble de muebles de madera o para entregarse en los comercios para cumplir con los compromisos de entrega.

El principal problema detectado durante la implementación del sistema logístico de administración de la producción **D.B.R.** es la resistencia al cambio – cambio de paradigma- , que se presenta en los niveles medios de mando y en el nivel operativo: cambio de mentalidad y actitud para no bloquear el desarrollo e implementación de medidas y métodos apropiados para lograr la meta, por ejemplo: la actitud de mantenerse ocupados todo el tiempo.

Nuestras conclusiones deberán llegar a todos, porque una persona no puede hacer todas las acciones; se requiere trabajar en equipo para lograr implementar con éxito la teoría de restricciones en las organizaciones.

Es muy importante involucrar a todas las personas y capacitarlas para que participen en la implementación de la teoría de restricciones **T.O.C.** en sus áreas y no perder de vista los principios fundamentales de **T.O.C.** que son:

Las organizaciones tienen una **meta**.

La organización es más que la suma de sus partes; contiene el enfoque global explicado con la analogía de la cadena.

El desempeño de la organización está restringido – limitado- por **muy pocas** variables.

Buscar la mejora continua es una palabra que debe marcarse en la mente de cada miembro de la organización, pues el éxito es un elemento vivo, que se transforma como los individuos que lo alcanzan.

Bibliografía General

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- BLACK, J.T. The design of the factory with a future. McGraw Hill, New York, 1991.
- CARR, JOHANSSON. Best Practices in Reengineering. McGraw-Hill, New York, 1995.
- CHARNEY, Cyril. Time to market. Reducing Product Lead Time. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, 1991.
- CHASE, AQUILANO. Production and Operations Management: A life cycle approach. Sixth Edition, Irwin, Boston Massachusetts, 1992.
- KALPAKJIAN, Serope. Manufacturing Engineering and Technology. Second Edition, Addison-Wesley Publishing Co., New York, 1992.
- OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO. Introducción al Estudio del Trabajo. 3ª edición, Editorial Limusa, México, 1991.
- SALVENDY. HANDBOOK OF INDUSTRIAL ENGINEERING. WILSON, James R. Computer Simulation. John Wiley and Sons., New York, 1982, p. 13.11.1.
- SEKINE, Kenichi. ONE-PIECE FLOW. Cell Design for Transforming the Production Process. Productivity Press, Cambridge Massachusetts, 1992.
- TOMPKINS, James A. La Producción Exitosa. McGraw-Hill, México, 1992.
- VOLLMANN, BERRY. Manufacturing Planning and Control System. Third Edition, Irwin, Boston Massachusetts, 1991.

Bibliografía Particular

BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR

CORBETT, Thomas. Throughput Accounting. The North River Press, Inc., Great Barrington, MA, 1998.

COX, James F., SPENCER, Michael S. The Constraints Management Handbook. St. Lucie Press, APICS Series on Constraints Management, Florida, 1998.

DETTMER, William. Goldratt's Theory of Constraints a Systems Approach to Continuous Improvement. Quality Press, Milwaukee Wisconsin, 1997.

DETTMER, William. Breaking the Constraints to World-Class Performance. Quality Press, Milwaukee Wisconsin, 1998.

GOLDRATT, Eliyahu M. El Síndrome del Pajar. Cómo extraer información del océano de datos. 2ª edición, Ediciones Castillo, México, 1994.

GOLDRATT, Eliyahu M. No fue la suerte. Ediciones Castillo, México, 1994.

GOLDRATT, Eliyahu M., FOX, Robert. THE GOAL. 2nd revised edition, The North River Press, Inc., Great Barrington, MA, 1992.

GOLDRATT, Eliyahu M. What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented. The North River Press, Inc., New York, 1990.

GOLDRATT, Eliyahu M., FOX, Robert. La Carrera. 4ª edición, Ediciones Castillo, México, 1996.

GOLDRATT, Eliyahu M. Essays on the Theory of Constraints. North River Press, Great Barrington, Ma., 1990.

GOLDRATT, Eliyahu M. Late Night Discussions on the Theory of Constraints. North River Press, Great Barrington, Ma., 1992.

KENDALL, Gerald I. Securing the Future. Strategies for Exponential Growth using the Theory of Constraints. St. Lucie Press, APICS Series on Constraints Management, Florida, 1998.

NOREEN, SMITH, MACKEY. The Theory of Constraints and its implications for Management Accounting. The North River Press Publishing Corporation, Great Barrington, Ma., 1995.

PTAK, Carol A., SCHRAGENHEIM, Eli. ERP Tools, Techniques and Applications for Integrating the Supply Chain. The St. Lucie Press, APICS Series on Constraints Management, Boca Raton, Florida, 2000.

SCHEINKOPF, LISA J. Thinking for a Change. Putting the TOC Thinking Processes to Use. The St. Lucie Press, APICS Series on Constraints Management, Boca Raton, Florida, 1999.

SCHRAGENHEIM, Eli. Management Dilemas. The Theory of Constraints Approach to Problem Identification and Solutions. The St. Lucie Press, APICS Series on Constraints Management, Boca Raton, Florida, 1999.

SMITH, Debra. The Measurement Nightmare. How the Theory of Constraints can resolve conflicting strategies, policies, and measures. The St. Lucie Press, APICS Series on Constraints Management, Boca Raton, Florida, 2000.

SRIKANTH, CAVALLARO. Regaining Competitiveness. Putting The Goal to work. The Spectrum Publishing Company Inc., Guilford, CT , 1993.

SRIKANTH, Mokshagundam L., ROBERTSON, Scott A. Measurements for effective decision making. A guide for manufacturing companies. The Spectrum Publishing Company Inc., Guilford, CT, 1995.

STEIN, Robert E. Re-engineering the Manufacturing System. Applying the Theory of Constraints. Marcel Dekker, Inc., New York, 1996.

UMBLE, SRIKANTH. Synchronous Management. Profit-based manufacturing for the 21st century. The Spectrum Publishing Company Inc., vol I, Guilford, CT, 1997.

UMBLE, SRIKANTH. Synchronous Management. Profit-based manufacturing for the 21st century. The Spectrum Publishing Company Inc., vol II, Guilford, CT, 1997.

UMBLE, SRIKANTH. Synchronous Manufacturing. Principles for World-Class Excellence. The Spectrum Publishing Company Inc., Guilford, CT, 1996.

Hemerografía

HEMEROGRAFÍA

BALDERSTONE, Stephen J., MABIN, Victoria J. The Results of Applying TOC: Lessons from Published Accounts. Constraints Management conference, 2000 APICS Constraints Management Technical Conference and Exhibit Proceedings. USA, 2000, APICS, pág. 1-6.

COX, James F., BLACKSTONE, John H. Jr. A Tutorial on Drum-Buffer-Rope and Buffer Management, part II. Constraints Management conference, 2000 APICS Constraints Management Technical Conference and Exhibit Proceedings. USA, 2000, APICS, pág. 123-126.

FOSTER, Warren R. Why Buffers Are Always So Important. Constraints Management conference, 2000 APICS Constraints Management Technical Conference and Exhibit Proceedings. USA, 2000, APICS, pág. 85-87.

Anexo 1

Archivo de rutas de fabricación.

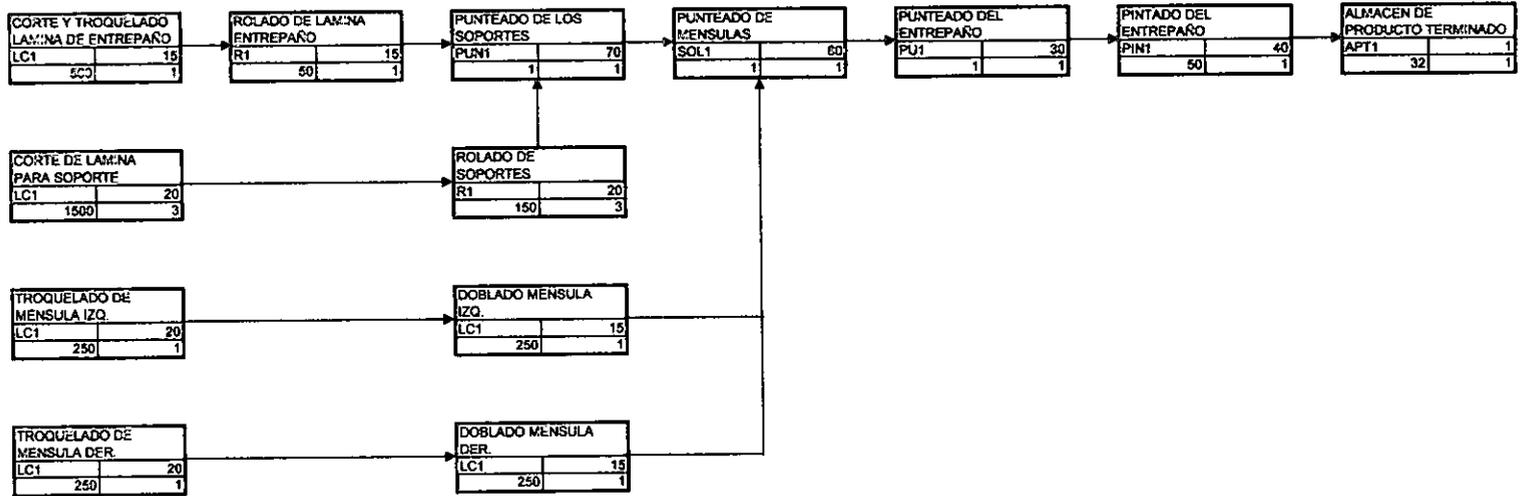
PL024: (APT[1 0 70 1] (PIN[1 40 200 1] (PP[1 40 70 1] (D[1 50 70 1] (LC[1 10 500 1] (ARL[1 2 500 1]))))
(PUN[1 30 70 1] (R[1 15 70 1] (LC[1 15 800 1] (ARL[1 1 800 1]))))
(D[1 30 70 1] (R[1 15 70 1] (T[2 40 70 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))))))))));
Z0100: (APT[1 0 500 1] (PIN[1 25 500 1] (D[1 15 500 1] (D[3 30 500 1] (T[3 10 500 1] (LC[1 10 500 1] (ARL[1 2
500 1]))))))));
UR101: (APT[1 0 20 1] (PIN[1 100 10 1] (PP[2 120 10 1] (D[1 150 100 1] (C[2 25 100 1] (AL[1 0 500 1]))))
(S[1 240 10 1] (T[2 30 100 1] (P[1 30 100 1] (SI[3 10 100 1] (AT[1 0 100 1]))))
(T[2 30 100 1] (P[1 60 100 1] (SI[1 120 100 1] (AT[1 0 100 1]))))
(T[1 60 100 1] (T[2 300 100 1] (P[1 60 100 1] (SI[1 150 100 1] (AT[1 0 100 1]))))))))));
EN022: (APT[1 0 60 1] (PIN[1 40 60 1] (PU[1 40 60 1] (SOL[1 40 250 1] (D[1 15 60 1] (LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3
2000 1]))
(LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3 2000 1]))
(PUN[1 50 60 1] (R[1 15 60 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))
(R[1 20 60 1] (T[1 20 60 1] (LC[1 20 800 1] (ARL[1 1 800 1]))))))))));
EN016: (APT[1 0 60 1] (PIN[1 40 60 1] (PU[1 35 60 1] (SOL[1 35 250 1] (D[1 15 60 1] (LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3
2000 1]))
(LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3 2000 1]))
(PUN[1 35 60 1] (R[1 15 60 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))
(R[1 15 60 1] (T[1 15 60 1] (LC[1 15 800 1] (ARL[1 1 800 1]))))))))));
EN014: (APT[1 0 60 1] (PIN[1 40 60 1] (PU[1 35 60 1] (SOL[1 35 250 1] (D[1 15 60 1] (LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3
2000 1]))
(LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3 2000 1]))
(PUN[1 30 60 1] (R[1 15 60 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))
(R[1 12 60 1] (T[1 10 60 1] (LC[1 10 800 1] (ARL[1 1 800 1]))))))))));
EN012: (APT[1 0 60 1] (PIN[1 40 60 1] (PU[1 35 60 1] (SOL[1 35 250 1] (D[1 15 60 1] (LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3
2000 1]))
(LC[1 20 2000 1] (ARL[1 3 2000 1]))
(PUN[1 30 60 1] (R[1 15 60 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))
(R[1 10 60 1] (T[1 10 60 1] (LC[1 10 800 1] (ARL[1 1 800 1]))))))))));
PL018: (APT[1 0 70 1] (PIN[1 40 200 1] (PP[1 40 70 1] (D[1 50 70 1] (LC[1 10 500 1] (ARL[1 2 500 1]))
(PUN[1 30 70 1] (R[1 10 70 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 1 800 1]))
(D[1 30 70 1] (R[1 15 70 1] (T[2 40 70 1] (LC[1 15 500 1] (ARL[1 2 500 1]))))))))));
TC001: (APT[1 0 200 1] (PIN[1 10 200 1] (PP[2 30 100 1] (D[2 5 500 1] (T[3 5 500 1] (C[1 3 1000 1] (AL[1 0
500 1]))))
(D[1 10 500 1] (C[2 4 500 1] (AL[1 0 500 1]))))));
MC001: (APT[1 0 50 1] (PIN[1 80 200 1] (S[1 180 100 1] (T[1 120 100 1] (P[1 60 100 1] (SI[2 60 100 1] (AT[1 0
100 1]))))
(D[1 10 100 1] (T[3 10 100 1] (C[2 5 100 1] (C[1 25 100 1] (AL[1 0 500 1]))))
(P[1 30 100 1] (SI[3 10 100 1] (AT[1 0 100 1]))))));

ME120:(APT[1 0 100 1] (CR[1 25 50 1] (P[1 90 50 1] (T[4 10 100 1] (T[3 10 100 1] (C[2 10 200 1] (C[1 5 200 1] (AL[1 0 200 1]))))))));
CRE04:(APT[1 0 200 1] (PIN[1 20 200 1] (T[4 30 200 1] (PP[1 60 200 1] (D[2 10 200 1] (C[2 10 200 1] (C[1 5 200 1] (AL[1 0 200 1]))))) (T[4 30 200 1] (C[2 10 200 1] (C[1 5 200 1] (AL[1 0 200 1]))))))));
GA308:(APT[1 0 200 1] (CR[1 25 200 1] (P[1 90 200 1] (D[1 10 200 1] (S[1 40 200 1] (D[1 5 200 1] (T[3 5 200 1] (AT[1 0 200 1])))) (D[1 10 200 1] (T[3 5 200 1] (C[2 5 200 1] (C[1 5 200 1] (AL[1 0 200 1]))))))));

Anexo 2

Ruta de fabricación de entrepaños.

RUTA DE FABRICACIÓN DE ENTREPAÑOS



LEYENDA:

OPERACIÓN	
EST. TRAB.	Tip. ctd.
LOTE	BOH

Anexo 3
Reportes de control.

CONTROL DEL AMORTIGUADOR DE LA RESTRICCIÓN

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIALES	FRANQUICIA	CONTROL DE EJECUCIÓN RESTRICCIÓN			OBSERVACIONES
				ZONA A	ZONA B	ZONA C	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							

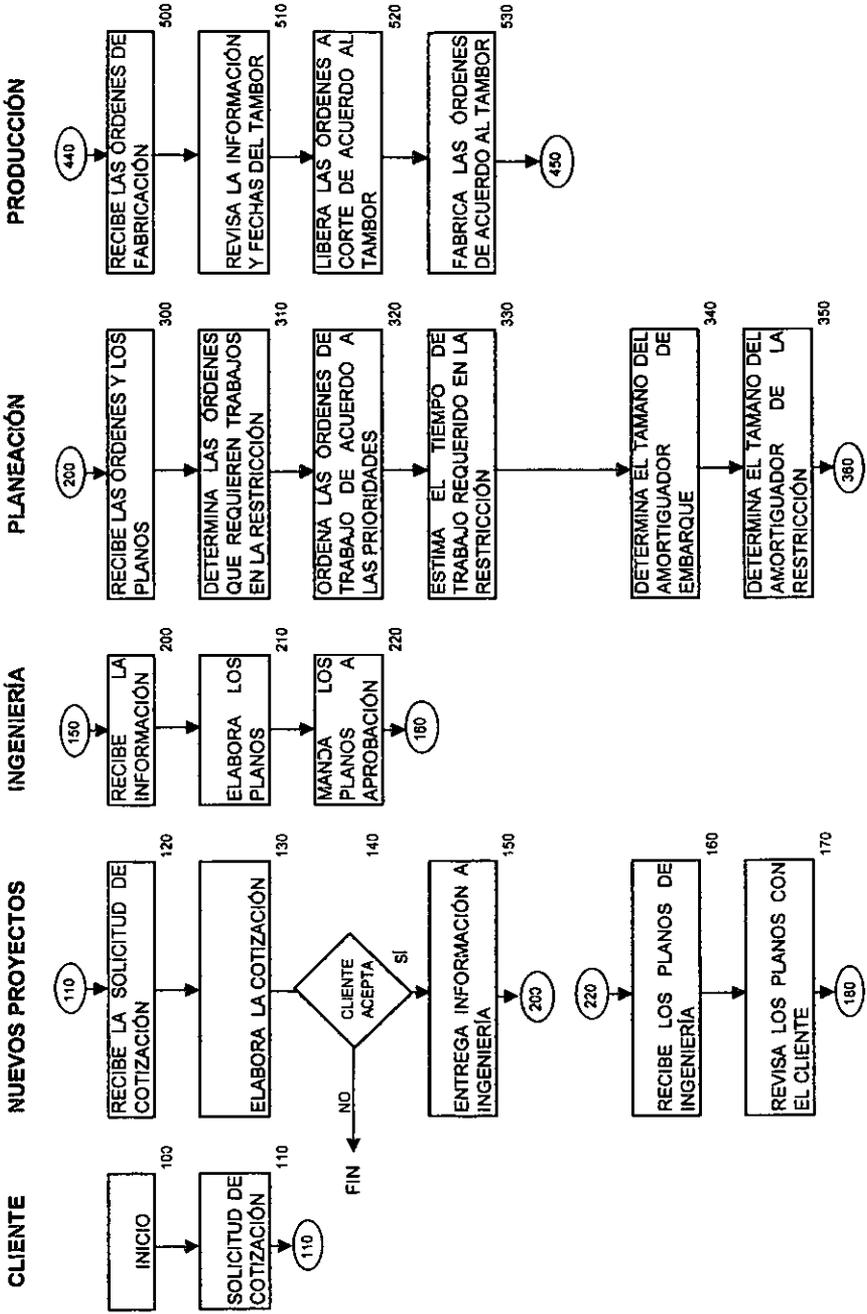
CONTROL DEL AMORTIGUADOR DE EMBARQUE

CONTROL AMORTIGUADOR EMBARQUE						
Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ZONA A	ZONA B	ZONA C	OBSERVACIONES
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

Anexo 4

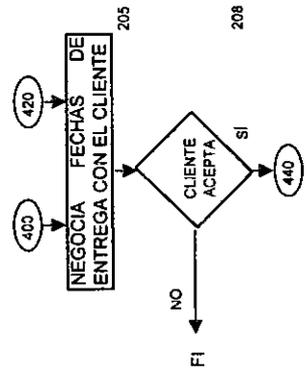
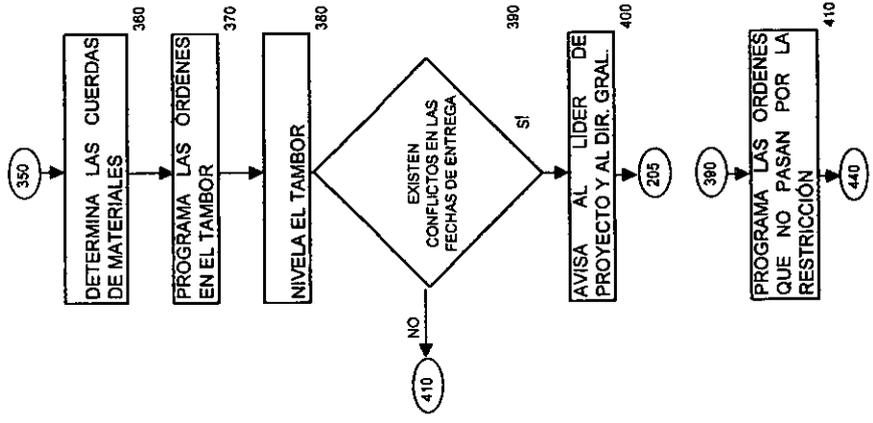
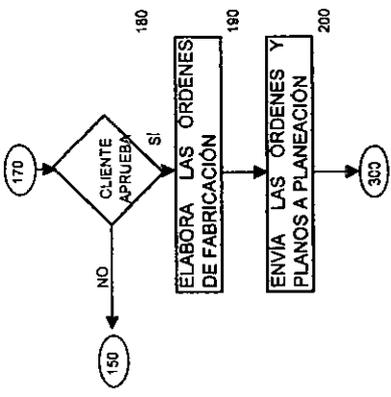
Flujograma general de la operación de la empresa.

FLUJOGRAMA GENERAL DE LA OPERACIÓN DE LA EMPRESA



FLUJOGRAMA GENERAL DE LA OPERACIÓN DE LA EMPRESA

CLIENTE
NUEVOS PROYECTOS
INGENIERÍA
PLANEACIÓN
PRODUCCIÓN



FLUJOGRAMA GENERAL DE LA OPERACIÓN DE LA EMPRESA

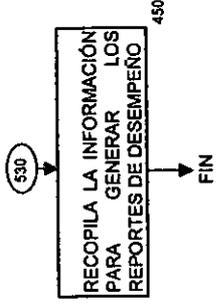
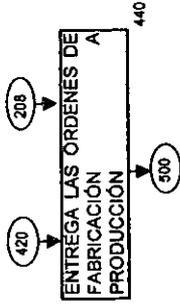
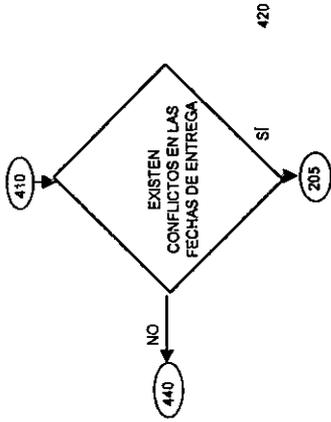
CLIENTE

NUEVOS PROYECTOS

INGENIERÍA

PLANEACIÓN

PRODUCCIÓN



Anexo 5

Código del programa en lenguaje C ++.

Archivos:

1. MAIN.CPP
2. MAQUINA.CPP
3. PEDIDOS.CPP
4. TIME.CPP
5. TRABAJO.CPP
6. GLOBALS.H
7. MAQUINA.H
8. PEDIDOS.H
9. STACK.H
10. STR.H
11. TIME.H
12. TRABAJO.H

MAIN.CPP

```
#include <fstream.h>
#include <string.h>
#include "str.h"
#include "time.h"
#include "pedidos.h"
#include "stack.h"
#include "maquina.h"
#include "trabajo.h"

extern Rutas GlobRutas;
long GlobalTime;
ofstream ArchResumido;

int Simula(void)
{
    // estas rutina se encarga de la simulación a nivel general
    Maquinas maquinas;

    STRING ultima="NADA", nombre="";
    char tmp[40];
    int cantidad;
    static long ev_num=0;

    cout << "Dame el archivo de información: ";
    cin >> tmp; cout << endl;
    ifstream config(tmp);
    // ifstream config("dat.1"); // aquí se da el nombre del archivo principal

    // obtener los nombres y cantidad de las máquinas así como
    // el archivo de Rutas, Pedidos y salida detallada, salida resumida.
    GlobalTime = 0;
    while (ultima != nombre) {
        config >> cantidad >> tmp;
        nombre = tmp;
        if (nombre != ultima) {
            for (int i=1; i<=cantidad; i++) {
                maquinas.AgregaMaquina(nombre,i);
            }
        }
    }
    maquinas.ReorganizaMaquinas(); // transformar para poder usar matriz
    config >> tmp;
    if ( ! strcmp(tmp, "lotes") ) { // operar por lotes
        Rutas::UseLotes = 1;
    } else {
        Rutas::UseLotes = 0; // no lotes
    }
    config >> tmp; STRING ArchRut = tmp;
    config >> tmp; ifstream ArchPed(tmp);
    config >> tmp; ofstream ArchSal(tmp);
    config >> tmp; ArchResumido.open(tmp);
    config.close();
    ArchResumido << ( (Rutas::UseLotes)?"Usando lotes\n":"No usando lotes\n") <<
endl;

    if (ArchPed) {
```

MAIN.CPP

```
EventQueue evQueue(ArchPed); // constructor de eventos en la pila carga
todos los pedidos
// cout << evQueue ;
// sacar un evento de la pila
// checar su tipo y realizar la acción adecuada.
while ( ! evQueue.Empty() ) {
    Event * event = evQueue.PopEvent(); // sacar el evento de la cola de la
pila.
    cerr << "\b\b\b\b\b" ;
    cerr.width(5);
    cerr << ev_num++;

    // proceso del evento.
    ArchSal << (*event) << endl; // evento procesado
    GlobalTime = event->tiempo;
    switch (event->tipo) {
        case 1: { // nuevo pedido, cargar la ruta de fabricacion, etc.
            event->DoNewPedido(evQueue, maquinas, ArchRut); // dar el nombre
del archivo
                }
                break;
        case 2: { // máquina parada, realizar acción correspondiente.
            event->DoMachineStopped(evQueue, maquinas);
                }
                break;
    }
    delete event;
}
ArchSal << GlobRutas;
//GlobRutas.PrintNested(cout);
// imprimir sumario de la corrida.
maquinas.PrintMoveMatrix(ArchSal);
Maquina::TotalSimulacion = GlobalTime;
ArchResumido << endl << "Tiempo total requerido para la simulacion: "
<< GlobalTime << endl
<< "Nivel de servicio: " << (Pedido::ATiempo/Pedido::NumPedidos)
<< endl
<< endl << "Reporte de maquinas: " << endl
<< maquinas << endl;

cout << "\nNivel de servicio: " << (Pedido::ATiempo/Pedido::NumPedidos) << endl;
return 0;
}

void main()
{
    // Llama a la rutina de simulación
    Simula();
}
```

MAQUINA.CPP

```
#include "maquina.h"
#include <assert.h>

long Maquina::TotalSimulacion = 1; // dice el tiempo total de la simulación
// de esta forma se puede calcular el porcentaje de utilización de la máquina.
// se inicializa a 1 ya que es un valor práctico y evita la
// división por cero.
Maquinas * Maquina::maquinas = NULL; // apuntador de máquinas

Maquina::Maquina (void)
{
    next          = NULL;
    nombre        = "";
    numero        = Tocupado = 0;
    estado        = ELIBRE;
    job           = NULL;
    index         = 0;
    movimientos   = NULL;
}

Maquina::Maquina(Maquina &maq) // copiar
{
    next          = maq.next;
    nombre        = maq.nombre;
    numero        = maq.numero;
    Tocupado      = maq.Tocupado;
    estado        = maq.estado;
    job           = maq.job;
    index         = maq.index;
    movimientos   = maq.movimientos;
}

void Maquina::StartJob(Trabajo *j)
{ // registrar que la máquina inició sus trabajos.
    estado        = EOCUPADO;
    Tocupado      = Tocupado - GlobalTime;
    job           = j;
    job->Started(this, GlobalTime);
}

void Maquina::StopJob(void)
{ // registrar que la máquina terminó de trabajar
    estado        = ELIBRE;
    Tocupado      = Tocupado + GlobalTime;
    job->Stopped(this, GlobalTime);
}

ostream & operator<<(ostream &os, Maquina & maq)
{
    os.width(4);
    os << maq.nombre << " ";
    os.width(2);
    os << maq.numero << " ocupado: ";
    os.width(4); os.precision(2);
    os << maq.Tocupado << " = "
}
```

MAQUINA.CPP

```
<< float(maq.Tocupado)/float(maq.TotalSimulacion)*100.0
<< " % ";
return os;
}

//-----

void Maquinas::AgregaMaquina(String nom, int num)
{ // Aquí se mantiene la lista de todas las máquinas
  // disponibles en el sistema
  numMaquinas++;
  Maquina *m = new Maquina;
  assert(m != NULL);
  m->nombre = nom;
  m->numero = num;
  if (first == NULL) {
    first = m;
  } else { // pegar al final;
    Maquina *last = NULL;
    last = first;
    while (last && last->next)
      last = last->next;
    if (last) {
      last->next = m;
    }
  }
}

void Maquinas::ReorganizaMaquinas(void)
{
  // cambiar la lista ligada en un arreglo
  int i=0, j=0;
  Maquina * temp1 = NULL, * temp2 = NULL;
  Maquina * MaqArray = new Maquina[numMaquinas];

  assert (MaqArray != NULL);
  temp1 = first;
  while (temp1) {
    temp2 = temp1;
    temp1 = temp1->next;
    temp2->next = NULL;
    MaqArray[i] = *temp2;
    MaqArray[i].index = i;
    MaqArray[i].movimientos = new int[numMaquinas];
    assert(MaqArray[i].movimientos != NULL);
    for (j=0; j<numMaquinas; j++) {
      MaqArray[i].movimientos[j] = 0;
    }
    i++;
    delete temp2;
  }
  // sólo para asegurar que cada máquina sepa como localizar
  // al conjunto de máquinas
  MaqArray[0].maquinas = this;
  first = MaqArray; // reset el estado del objeto
}
```

MAQUINA.CPP

```
void Maquinas::PrintMoveMatrix(ostream &os)
{
    for (int i=0; i<numMaquinas; i++) {
        os.width(3);
        os << first[i].nombre;
        os.width(2);
        os << first[i].numero << " ";
        for (int j=0; j<numMaquinas; j++) {
            os.width(2);
            os << first[i].movimientos[j] << " ";
        }
        os << endl;
    }
}

void Maquinas::Transfer(long cantidad, Lotes &lots, int index)
{
    // se me olvidaba que la cantidad no importa, pero lo
    // recibo de todos modos, quizá después sirva de algo.
    // de hecho, necesito la cantidad para ver cuántos lotes
    // necesito mover.
    int DeMaquina = 0, cuantos = 0;

    do {
        DeMaquina = lots.Menos(cantidad, cuantos);
        // reduce cantidad en lo más posible
        // de una máquina DeMaquina y regresa cuántos lotes son.
        first[DeMaquina].movimientos[index] += cuantos;
    } while (cantidad > 0);
}

ostream & operator<<(ostream &os, Maquinas & maqs)
{
    for (int i=0; i<maqs.numMaquinas; i++) {
        os << maqs.first[i] << endl;
    }
    /* Maquina *m = maqs.first;
    while (m) {
        os << (*m) << endl;
        m = m->next;
    }*/
    return os;
}
```

PEDIDOS.CPP

```
#include "pedidos.h"

float Pedido::NumPedidos = -1.0; //
float Pedido::ATiempo    = 0.0;

extern ofstream ArchResumido;

istream & operator>>(istream &is, Pedido & ped)
{
    char tmp[40];
    is >> ped.Tllegada;
    is >> tmp;
    is >> ped.Cant >> ped.Tentrega;
    ped.Tentrega += ped.Tllegada; // tiempo de entrega es relativo al inicio.
    ped.Artic = tmp;
    return is;
}

ostream & operator<<(ostream &os, Pedido & ped)
{
    os << "Articulo: " << ped.Articulo() << " cant: " << ped.Cantidad()
        << " Llego: " << ped.TLlegada() << " Entrega: " << ped.TEntrega();
    return os;
}

void Pedido::Finished(long time)
{ // Aquí se registra el final de un pedido.
    if (time <= Tentrega) { // se entregó a tiempo.
        ATiempo = ATiempo + 1;
    }
    ArchResumido << "***Pedido: " << Artic
        << " llegó: " << TLlegada() << " terminó: " << time
        << " y " << ((time<=Tentrega)? "" : "no ")
        << "estuvo a tiempo" << endl
        << "Las unidades equivalentes movidas fueron: " << CostoLote << endl
        << "para " << NumLotes << " lotes en que se dividió el pedido" << endl;
}
```

TIME.CPP

```
#include <assert.h>
#include "stack.h"
#include "time.h"
#include "pedidos.h"
#include "trabajo.h"
#include "str.h"

Rutas GlobRutas;
extern long GlobalTime;

EventQueue::EventQueue(istream & is)
{ // Aquí se inicializa la cola de prioridad de eventos
  first = NULL;

  Pedido * ped = NULL; // leer todos los pedidos del archivo y adicionar
  Event * ev = NULL; // eventos para su iniciación.
  while (! is.eof()) {
    ped = new Pedido;
    assert(ped != NULL);
    is >> (*ped);
    if (!is.eof()) {
      // cout << (*ped) << endl;
      ev = new Event;
      assert(ev != NULL);
      ev->tipo = 1; // nuevo pedido
      ev->tiempo = ped->TLlegada();
      ev->AuxPedido = ped; // para conocer de qué pedido proviene
      AddEvent(ev);
    } else
      delete ped;
  }
}

void EventQueue::AddEvent(Event * e)
{ // Agregar un evento a la cola de eventos.
  e->Tinsertado = GlobalTime; // poner el tiempo en el que empezó.

  if (first == NULL) { // first event
    first = e;
    e->next = NULL;
    return;
  }
  Event * p = first, *pl = first;
  while (p) {
    if (p->tiempo > e->tiempo) { // hay que insertar.
      if (p == pl) { // insertar antes del primero
        e->next = first;
        first = e;
        return;
      } else { // insertar después de pl
        e->next = p;
        pl->next = e;
        return;
      }
    }
  }
  pl = p;
  p = p->next;
}
```

TIME.CPP

```

    }
    if (!p) { // llegó aquí sin ser añadido.
        if (pl) {
            pl->next = e;
            e->next = NULL;
        }
    }
}

Event * EventQueue::PopEvent(void)
{ // retirar un evento de la cola de eventos.
    Event * p;
    p = first;
    if (first)
        first = first->next;
    return p;
}

ostream & operator<<(ostream &os, EventQueue & evQueue)
{
    Event * p = evQueue.first;
    while (p) {
        os << (*p) << endl;
        p = p->next;
    }
    return os;
}

// -----
ostream & operator<<(ostream &os, Event & ev)
{
    if (ev.tipo==1) { // nuevo pedido, imprimir los datos del pedido
        os << "Nuevo Pedido( " << ev.tiempo << " )*";
        os << endl << (*ev.AuxPedido);
    } else if (ev.tipo ==2) {
        os << "Fin( " << ev.Tinsertado << "--"
            << ev.tiempo << "*" "
            << ev.AuxMaquina->job->pedido->Articulo() << "*"
            << ev.AuxMaquina->nombre << ev.AuxMaquina->numero;
    }
    return os;
}

void Event::LoadPedido(istream & rutas, Pedido * ped)
{ // Esta rutina carga una ruta para un pedido (parser, lexer)
    Stack<Trabajo *> WorkStack, AuxWorkStack;
    Stack<int> LevelStack, AuxLevelStack;
    Trabajo * curr_job = NULL;
    const int SIZE = 1000;
    char buffer[SIZE], tempch = ' ';
    int nestlevel = 0;
    int lastseen = 0; // state machine, 0 if (, 1 if )
    Rutas TempGlobRutas;

do {

```

TIME.CPP

```

rutas >> tempch;
//cout << tempch; // qué caracter es
switch (tempch) {
  case '(': {
    nestlevel ++;
    WorkStack.Push(curr_job = new Trabajo);
    assert(curr_job != NULL);
    LevelStack.Push(nestlevel);
    TempGlobRutas.AddTrabajo(curr_job);
    curr_job->pedido = ped;
    curr_job->PorHacer = ped->Cantidad(); // inicializar todos.
    lastseen = 0;
  } break;
  case ')': {
    Trabajo * aux_job = NULL;
    if (lastseen) {
      while (LevelStack.Top() > nestlevel) {
        AuxWorkStack .Push(WorkStack .Pop());
        AuxLevelStack.Push(LevelStack.Pop());
      }
      if ( ! WorkStack.Empty() ) {
        aux_job = WorkStack.Pop();
        while ( ! AuxWorkStack.Empty() ) {
          curr_job = AuxWorkStack.Pop();
          AuxLevelStack.Pop();
          curr_job->siguiente = aux_job; //
          aux_job->SetAdjacent(curr_job);
        }
        WorkStack.Push(aux_job);
      }
    }
    nestlevel--;
    lastseen = 1;
  } break;
  case ';': {
  } break;
  case '[': {
    rutas >> curr_job->MaqNum;
    rutas >> curr_job->TimePerUnit;
    rutas >> curr_job->LotSize;
    rutas >> curr_job->LotMoveCost;
  } break;
  case ']': {
    //cout << (*curr_job) << endl;
    curr_job = NULL; // reset a nil para que no se altere el nombre de Maq
  } break;
  default: { // caracteres especiales
    if (curr_job != NULL) { //
      char temp[50]; int len;
      strcpy(temp, STR_ACCESS(curr_job->Maq) );
      len = strlen(temp);
      temp[len ] = tempch;
      temp[len+1] = 0;
      curr_job->Maq = temp;
    }
  } break;
}
}

```

TIME.CPP

```
} while (tempch != ';');
assert (!WorkStack.Empty() && !LevelStack.Empty());
curr_job = WorkStack.Pop();
LevelStack.Pop();
assert (WorkStack.Empty() && LevelStack.Empty());
// cout << (*curr_job) << endl;
// transferir la ruta crítica de TempGlobRutas a GlobRutas
TempGlobRutas.DoCriticalRoute();
GlobRutas.AddRuta(TempGlobRutas);
}

#pragma argsused
void Event::DoNewPedido(EventQueue & evQueue, Maquinas & maquinas, STRING
ArchRutas)
{ // Esta rutina arranca un nuevo pedido una vez que
  // se llegó al evento de llegada de un pedido.
  const int SIZE = 100;
  STRING Articulo;
  ifstream rutas(STR_ACCESS(ArchRutas));

  char    buffer[SIZE], tempch;
  int     flag=1, i=0;

  if (rutas) { // checar que se abrió el archivo.
    for (i=0; i<SIZE; i++) // limpiar el amortiguador
      buffer[i] = 0;
    Articulo = AuxPedido->Articulo();
    i = 0;
    while (flag && ! rutas.eof()) {
      rutas >> tempch;
      if (tempch==':') { // encontró un nombre;
        STRING FoundArt = buffer;
        if (Articulo == FoundArt) { // lo encontró, leer su ruta
          LoadPedido(rutas, AuxPedido);
          break; // encontró la ruta, sale del ciclo.
        } else { // no es ese artículo
          while (tempch != ';' && !rutas.eof()) // leer hasta la siguiente ruta
            rutas >> tempch;
          for (i=0; i<SIZE; i++) // limpiar el amortiguador
            buffer[i] = 0;
          i=0;
        }
      } else
        buffer[i++] = tempch;
    }
    rutas.close();
  }
  GlobRutas.Schedule(evQueue, maquinas, NULL);
}

#pragma argsused
void Event::DoMachineStopped(EventQueue &evQueue, Maquinas & maquinas)
{ // se llama cuando termina una máquina.
  GlobRutas.Schedule(evQueue, maquinas, AuxMaquina);
  // AuxMaquina identifica que paró una máquina.
}
```

TRABAJO.CPP

```
#include <assert.h>
#include <values.h>
#include "trabajo.h"
#include "maquina.h"
#include "time.h"

extern long GlobalTime;

int Rutas::UseLotes = 0; // indica si se están usando o no lotes

// -----

void Lotes::MasLote(long cantidad, Maquina * maq)
{
    Lote * lot = base;
    while (lot) {
        if (lot->maquina == maq) {
            lot->cantidad += cantidad;
            lot->refcount ++;
            return;
        }
        lot = lot->next;
    }
    lot = new Lote;
    assert(lot != NULL);
    lot->maquina = maq;
    lot->refcount = 1;
    lot->cantidad = cantidad;
    lot->next = base;
    base = lot;
}

int Lotes::Menos(long &cantidad, int &cuantos)
{
    Lote * lot = base;
    int DeMaquina = 0;

    assert (lot != NULL);
    cuantos = 0;
    DeMaquina = lot->maquina->index;
    if (cantidad >= lot->cantidad) {
        cantidad -= lot->cantidad;
        cuantos = lot->refcount;
        base = base->next;
        delete lot;
    } else {
        int elems_per_lot = lot->cantidad / lot->refcount;
        lot->cantidad -= cantidad;
        lot->refcount -= cantidad / elems_per_lot;
        cuantos = cantidad / elems_per_lot;
        cantidad = 0;
    }
    return DeMaquina;
}

// -----
```

TRABAJO.CPP

```
Trabajo::Trabajo()
{ // inicializa una estación de trabajo
  int i;
  siguiente = NULL;
  for (i=0; i<MAX_ADJ; i++) {
    adjacent[i] = NULL;
  }
  num_adjacent = 0;
  Maq = "";
  MaqNum = TimePerUnit = LotSize = LotMoveCost = 0;
  pedido = NULL;
  state = SNOTSTARTED;
  PorHacer = Hecho = Disponible = Haciendo = PorTransferir = 0;
  critical = 0;
  start_wanted = wait_time = 0;
}

void Trabajo::CouldNotStart(long time)
{
  if (!start_wanted) {
    start_wanted = time;
  }
}

void Trabajo::CanStart(long time)
{
  if (start_wanted) {
    wait_time += time - start_wanted;
    start_wanted = 0;
  }
}

void Trabajo::SetAdjacent(Trabajo *trab)
{
  // establece una lista de antecesores a la estación de trabajo
  assert (num_adjacent < MAX_ADJ); //
  adjacent[num_adjacent++] = trab;
  PorHacer = 0;
}

#pragma argsused
void Trabajo::Started(Maquina *maq, long time)
{ // establecer el inicio de ejecución de una estación de trabajo
  state = SSTARTED;
  // ok, aquí va la parte de transferirme lotes de predecesores por hasta
  // PorTransferir
  if (PorTransferir > 0) {
    // transfiere PorTransferir a maq desde cada una de
    // los lotes de las máquinas predecesoras.
    assert (maq->maquinas != NULL);
    for (int i = 0; i<num_adjacent; i++) { // checar cada predecesor
      maq->maquinas->Transfer(PorTransferir, adjacent[i]->OutLotes, maq->index);
    }
    PorTransferir = 0;
  }
}
```

TRABAJO.CPP

```
void Trabajo::Stopped(Maquina *maq, long time)
{ // contabilizar el final (total o de un lote) de una estación
  // de trabajo
  // contar el costo de mover un lote.
  pedido->CostoLote += LotMoveCost;
  pedido->NumLotes += 1;

  PorHacer -= Haciendo;
  Disponible += Haciendo;
  Hecho += Haciendo;
  if (Hecho >= pedido->Cantidad() ) {
    state = SFINISHED;
  } else {
    state = SSUSPENDED;
  }
  if (!siguiente && state == SFINISHED) { // éste es el último.
    pedido->Finished(time);
  }
  OutLotes.MasLote(Haciendo, maq); // registrar que el lote se produjo en esta
  máquina
}

ostream & operator<< (ostream & os, Trabajo & trab)
{
  os << "Maquina: " << trab.Maq << " " << trab.MaqNum
    << " (" << trab.TimePerUnit << ", " << trab.LotSize
    << ", " << trab.LotMoveCost << ") articulo: "
    << (trab.pedido)->Articulo()
    << " wait time: " << trab.wait_time
    << ((trab.IsCritical())?" (crit)":"");
  return os;
}

// -----
void Rutas::AddTrabajo(Trabajo * trab)
{ // agregar una estación de trabajo a la lista
  node * n = NULL;
  n = new node;
  assert(n != NULL);
  n->data = trab;
  n->next = base;
  base = n;
}

void Rutas::PrintNested(ostream &os)
{ // Auxiliar, para imprimir la estructura interna de las
  // rutas, usado para verificación.
  node * n = base;
  while (n) {
    if (n->data->siguiente == NULL)
      HelpPrintNested(os, n->data, 0);
    n = n->next;
  }
}

void Rutas::HelpPrintNested(ostream &os, Trabajo * trab, int level)
```

TRABAJO.CPP

```
{ // auxiliar de la rutina anterior
for (int i=0; i<level; i++)
    os << " ";
os << (*trab) << endl;
for (i=0; i<trab->num_adjacent; i++)
    HelpPrintNested(os, trab->adjacent[i], level+2);
}

void Rutas::DoCriticalRoute(void)
{
    // determinar la ruta crítica
    // resultado: maximo apunta al nodo del que inicia la ruta crítica
    // with cost maxcost
    node * p = base, *maximo = NULL, *q = NULL;
    Trabajo * job = NULL;
    long cost, maxcost = -1; // al inicio, max cost es -1

    while (p) {
        if (p->data->num_adjacent == 0) { // inicio de la ruta
            cost = 0;
            job = p->data;
            while (job) {
                cost += job->TimePerUnit; // acumular
                job = job->siguiente;
            }
            if (cost > maxcost) { // encontró un nuevo máximo
                maxcost = cost; // guardar el nuevo costo y máximo
                maximo = p;
            }
        }
        p = p->next;
    } // maximo apunta al nodo de inicio de la ruta crítica
    // marcar los nodos de la ruta crítica
    assert(maximo != NULL);
    job = maximo->data;
    while (job) {
        job->SetCritical();
        job = job->siguiente;
    }
    // reasignar para que se dé preferencia a la ruta crítica
    p = base; // buscar por crit/non.crit y clasificarlos
    node * crit = NULL, * noncrit = NULL, ** whichcrit = NULL; // separarlos
    node * lcrit = NULL, * lnoncrit = NULL, ** lwhichcrit = NULL; // apuntar a fin
    while (p) {
        q = p;
        p = p->next; // mover el apuntador p a su sucesor.
        if (q->data->IsCritical()) { // have to move it
            whichcrit = &crit; lwhichcrit = &lcrit;
        } else {
            whichcrit = &noncrit; lwhichcrit = &lnoncrit;
        }
        q->next = NULL;
        if (*whichcrit) {
            (*lwhichcrit)->next = q;
        } else { // primera inserción
```

TRABAJO.CPP

```
        *whichcrit = q;
    }
    *lwhichcrit = q;
}
// ok, rejoin.
lcrit->next = noncrit;
base = crit;
}

void Rutas::AddRuta(Rutas & ruta)
{
    // Copia de un objeto ruta las estaciones que tiene y las inserta aquí
    // en orden de tiempo de entrega
    // tomar el primer elemento de la ruta
    node * primero = ruta.base; //
    long tentrega = primero->data->pedido->TEntrega();
    node * p = base, * q = NULL, *r = NULL;

    while (p) { // determina la posición
        if (p->data->pedido->TEntrega() > tentrega) {
            // insertar la ruta antes de p ("after" q)
            break; // salir del ciclo
        }
        q = p;
        p = p->next;
    }
    if (q) { // insertar primero después de q o como la base
        q->next = primero;
    } else { // fue el primero
        base = primero;
    }
    if (p) { // hay sucesores
        q = primero;
        while (q) { // ir al final de la lista
            r = q;
            q = q->next;
        }
        r->next = p; //
    }
}

ostream & operator<< (ostream & os, Rutas & rut)
{
    Rutas::node * n = rut.base;
    while (n) {
        os << *(n->data) << endl;
        n = n->next;
    }
    return os;
}

void Rutas::HelpEvent(EventQueue &evQueue, Trabajo *job,
                     Maquina *wanted_maq, Maquina *available_maq)
{
    // inicia el trabajo en la máquina asignada o en otra similar
    // si es la máquina asignada, entonces genera un evento de paro.
}
```

TRABAJO.CPP

```
if (wanted_maq) { // la máquina asignada está disponible
    wanted_maq->StartJob(job);
} else if (available_maq) { // se encuentra disponible una máquina alterna
    available_maq->StartJob(job);
} else { // no hay máquinas disponibles
    // cout << "nada " ;
}
if (wanted_maq || available_maq) { // debió de haber iniciado
    Event * ev = new Event;
    assert(ev != NULL);
    ev->tipo = 2;
    if (UseLotes) {
        job->Haciendo = minim(job->PorHacer, job->LotSize); // hacer el mínimo de
los dos.
    } else {
        job->Haciendo = job->PorHacer; // hacer todos
    }
    assert (job->Haciendo > 0);
    ev->tiempo = GlobalTime + job->TimePerUnit * job->Haciendo; //job->pedido-
>Cantidad();
    ev->AuxMaquina = available_maq;
    if (wanted_maq)
        ev->AuxMaquina = wanted_maq;
    evQueue.AddEvent(ev);
}
}
```

```
#pragma argsused
void Maquinas::LookUp(Trabajo * job, Maquina * & wanted, Maquina * & available)
{ // busca una máquina que pueda ser usada por job.
    wanted = available = (Maquina *)NULL;
    for (int i=0; i<numMaquinas; i++) {
        if (job->Maq == first[i].nombre) { // encontré una máquina deseable
            if (first[i].estado == Maquina::ELIBRE) {
                available = & first[i];
            }
            if (first[i].numero == job->MaqNum &&
                first[i].estado == Maquina::ELIBRE) {
                wanted = & first[i];
                return;
            }
        }
    }
}
/* Maquina * pmaq = first;
while (pmaq) {
    if (job->Maq == pmaq->nombre) { // encontré una máquina deseable
        if (pmaq->estado == Maquina::ELIBRE) {
            available = pmaq;
        }
        if (pmaq->numero == job->MaqNum && pmaq->estado==Maquina::ELIBRE) {
            wanted = pmaq;
            return;
        }
    }
}
pmaq = pmaq->next;
```

TRABAJO.CPP

```
    }*/
}

void Rutas::HelpTransferLot(Trabajo * job)
{ // Aquí se mueven los lotes (o total de piezas) a
  // estaciones de trabajo subsiguientes
  // actualiza PorHacer.
  int i;
  long MinNumUnits = MAXLONG;

  for (i=0; i<job->num_adjacent; i++) {
    MinNumUnits = minim(MinNumUnits, job->adjacent[i]->Disponible);
  }
  if (job->num_adjacent > 0 && MinNumUnits > 0) { //
    job->PorHacer += MinNumUnits; //
    job->PorTransferir += MinNumUnits;
    for (i=0; i<job->num_adjacent; i++) {
      job->adjacent[i]->Disponible -= MinNumUnits; //
    }
  } //
}

#pragma argsused
void Rutas::Schedule(EventQueue &evQueue, Maquinas & maquinas, Maquina * Maq)
{
  // Aquí se examinan las estaciones de trabajo que terminaron
  // (si Maq no es nulo) y se arrancan estaciones de trabajo
  // que puedan empezar.
  node * data_node = base;
  Trabajo * job = NULL;
  Maquina * wanted_maq = NULL, *available_maq = NULL;
  int flag = 0;

  if (Maq) { //
    Maq->StopJob(); //
    job = Maq->job;
    assert (job != NULL);
    if (job->state != Trabajo::SFINISHED && job->PorHacer > 0) {
      HelpEvent(evQueue, job, Maq, available_maq); // generar evento apropiado
      e iniciar trabajo
    }
  } // else
  { // checar trabajos ;
    while (data_node) {
      flag = 0;
      job = data_node->data;
      // checar si se puede iniciar este trabajo
      if (job->state == Trabajo::SFINISHED || //
          job->state == Trabajo::SSTARTED)
        flag = 1;
      for (int j=0; j<job->num_adjacent; j++) {
        if (job->adjacent[j]->state == Trabajo::SNOTSTARTED)
          flag = 1;
      }
      HelpTransferLot(job); //
      if (job->PorHacer <= 0)
        flag = 1; //
    }
  }
}
```

TRABAJO.CPP

```
if (flag) {
    data_node = data_node->next;
    continue; // go to next loop iteration
}
maquinas.LookUp(job, wanted_maq, available_maq); //
if (!wanted_maq && !available_maq) { // no hay recursos disponibles
    job->CouldNotStart(GlobalTime);
} else {
    job->CanStart(GlobalTime);
}
HelpEvent(evQueue, job, wanted_maq, available_maq); // generar evento
apropiado
data_node = data_node->next; // pcesar los trabajos restantes
}
}
}
```

GLOBALS.H

```
#ifndef GLOBALS_H
#define GLOBALS_H

class Event;
class EventQueue;
class Lot;
class Lotes;
class Trabajo;
class Rutas;
class Maquina;
class Maquinas;
extern long GlobalTime;
#define minim(a, b) ((a) < (b)) ? (a) : (b)

#endif
```

MAQUINA.H

```
#ifndef MAQUINA_H
#define MAQUINA_H
#include "globals.h"
#include <stdio.h>
#include "str.h"
#include "trabajo.h"

class Maquina {
public:
    static long TotalSimulacion; // tiempo total de la simulación
    static Maquinas * maquinas; // apuntador a colección de máquinas
    enum { EOCUPADO, ELIBRE };
    Maquina * next;
    STRING nombre;
    int numero;
    long Tocupado; // tiempo que la máquina esta ocupada

    int estado; // from enum
    Trabajo * job;

    int index; // para la matriz de intensidad de movimiento
    int * movimientos;

    Maquina(void);
    Maquina(Maquina &maq); // copiar constructor
    void StartJob(Trabajo *job);
    void StopJob(void);
    long Tocio(void) { return GlobalTime - Tocupado; }
    friend ostream & operator<<(ostream &os, Maquina & maq);
};

class Maquinas { // a colección de máquina
    Maquina *first;
    int numMaquinas; // dice cuántas máquinas hay
    Maquinas(void) { first = NULL; numMaquinas = 0; }
    void LookUp(Trabajo *job, Maquina * & wanted, Maquina * & available);
    void AgregaMaquina(STRING nom, int num);
    void ReorganizaMaquinas(void);
    friend ostream & operator<<(ostream &os, Maquinas & maqs);
    void PrintMoveMatrix(ostream & os);
    void Transfer(long cantidad, Lotes & lots, int index);
};

#endif
```

PEDIDOS.H

```
#ifndef PEDIDOS_H
#define PEDIDOS_H
#include "globals.h"
#include "str.h"
#include <fstream.h>

class Pedido {
    long    Tllegada;    // tiempo de llegada del pedido.
    long    Tentrega;   // tiempo de entrega del pedido.
    long    Cant;       // cantidad de piezas
    STRING  Artic;

public:
    static float  NumPedidos;
    static float  ATiempo;
    long    CostoLote;
    int     NumLotes; // en cuántos lotes se dividió este pedido

    long    Tllegada(void) { return Tllegada; }
    long    Tentrega(void) { return Tentrega; }
    long    Cantidad(void) { return Cant;     }
    STRING  Articulo(void) { return Artic;    }

    void    Finished(long time);
    Pedido(void) { Tllegada = Tentrega = Cant = 0; Artic = "";
                 NumPedidos = NumPedidos + 1;
                 CostoLote = 0; NumLotes = 0;}

    friend istream & operator>>(istream &is, Pedido & ped);
    friend ostream & operator<<(ostream &os, Pedido & ped);
};

#endif
```

STACK.H

```
#include <stdio.h>

template<class T> class Stack {
    class node {
    public:
        node *next;
        T    data;
        node() { next = NULL; }
    } *top;
public:
    Stack(void) { top = NULL; }
    ~Stack();
    void Push(T dat);
    T    Pop (void);
    T    Top (void);
    int  Empty(void) { return top == NULL; }
};

template<class T> void Stack<T>::Push(T dat)
{
    node * n = new node;
    n->data = dat;
    n->next = top;
    top = n;
}

template<class T> T Stack<T>::Pop(void)
{
    node * n = NULL;
    T dat;
    if (top) {
        dat = top->data;
        n = top;
        top = top->next;
        delete n;
    }
    return dat;
}

template<class T> T Stack<T>::Top(void)
{
    T dat;
    if (top) {
        dat = top->data;
    }
    return dat;
}

template<class T> Stack<T>::~~Stack()
{
    node * n = top;
    while (n) {
        top = n;
        n = n->next;
        delete top;
    }
}
```

STR.H

```
#define BC45

#ifdef UNIX
#include <String.h>
#define STRING String
#define STR_ACCESS(s) s
#endif

#ifdef BC45
#include <cstring.h>
#define STRING string
#define STR_ACCESS(st) st .c_str()
#endif

#ifdef BC31
#include <string.h>
#define STRING String
#define STR_ACCESS(s) s
#endif
```

TIME.H

```

#ifndef TIME_H
#define TIME_H
#include "globals.h"
#include <stdlib.h>
#include <fstream.h>
#include "str.h"
#include "pedidos.h"
#include "maquina.h"

class EventQueue;

class Event {
public:
    Event * next;
    long tiempo, Tinsertado;
    int tipo; // 1=nuevo pedido, 2=acabo una máquina
    Pedido *AuxPedido;
    Maquina*AuxMaquina;

    Event() { next = NULL; Tinsertado = tiempo = 0; tipo = 0; AuxPedido = NULL;
    AuxMaquina = NULL;}
    Event(long t, int typ) { next = NULL; tiempo = t; tipo=typ; }
    friend ostream & operator<<(ostream &os, Event & evQueue);

    void DoNewPedido(EventQueue & evQueue, Maquinas & , STRING ArchRutas);
    void LoadPedido(istream &, Pedido * ped);
    void DoMachineStopped(EventQueue &evQueue, Maquinas &);
};

class EventQueue {
    Event *first;

public:
    EventQueue(istream &is);
    void AddEvent(Event * e);
    Event * PopEvent(void);
    int Empty(void) { return first == NULL; }

    friend ostream & operator<<(ostream &os, EventQueue & evQueue);
};

#endif

```

TRABAJO.H

```
#ifndef TRABAJO_H
#define TRABAJO_H
#include "globals.h"
#include <stdio.h>
#include "str.h"
#include <fstream.h>
#include "pedidos.h"
#include "time.h"

const int MAX_ADJ = 8; // max número de nodos adyacentes sin siguiente

class Lote {
public:
    Lote * next;
    Maquina * maquina;
    long cantidad;
    int refcount;

    Lote(void) { maquina = NULL; next = NULL; cantidad = 0; refcount = 0; }
};

class Lotes {
    Lote * base;
public:
    Lotes(void) { base = NULL; }
    void MasLote(long cantidad, Maquina * maq);
    int Menos(long &cantidad, int &cuantos);
};

class Trabajo {
    char critical ; // ==1 if yes, 0 otherwise
    long start_wanted, wait_time;
public:
    enum { SNOTSTARTED, SSTARTED, SFINISHED, SSUSPENDED };
    Trabajo * siguiente;
    Trabajo * adjacent[MAX_ADJ];
    int num_adjacent;

    STRING Maq; // máquina asignada originalmente.
    int MaqNum; // número de máquina preferida
    int TimePerUnit; // tiempo requerido por una unidad.
    int LotSize; // tamaño de lote
    int LotMoveCost; // costo de mover un lote
    Pedido * pedido; // pedido a que corresponde el trabajo
    int state; // from enum
    long PorHacer, Hecho, Disponible, Haciendo, PorTransferir;

    Lotes OutLotes; // para recordar de dónde salieron los pedidos

    Trabajo();
    void SetAdjacent(Trabajo *trab);
    void Started(Maquina *, long time);
    void Stopped(Maquina *, long time);

    void SetCritical(void) { critical = 1; }
    int IsCritical(void) { return critical; }
};
```

TRABAJO.H

```
void CouldNotStart(long time);
void CanStart(long time)    ;
friend ostream & operator<< (ostream & os, Trabajo & trab);
};

class Rutas {
    struct node {
        node * next;
        Trabajo * data;
    } * base;
    void HelpEvent(EventQueue &evQueue, Trabajo *, Maquina *, Maquina *);
    void HelpTransferLot(Trabajo *job);
    // void MoveUp(node * predecessor, node *tomove);
public:
    static int UseLotes;
    Rutas() { base = NULL; }
    void AddTrabajo(Trabajo * trab);
    void PrintNested(ostream &os);
    void HelpPrintNested(ostream &os, Trabajo *trab, int levelno);
    void Schedule(EventQueue &evQueue, Maquinas &maquinas, Maquina * Maq); //
inserta nuevo evento en la cola de eventos
    // en caso de que máquina no sea nil, que es la última máquina.
    // ayuda para determinar la ruta crítica
    void DoCriticalRoute(void);
    void AddRuta(Rutas & ruta);
    //Trabajo * GetFirstJob();

    friend ostream & operator<< (ostream & os, Rutas & rut);
};

#endif
```

Vocabulario de términos

Vocabulario de términos

Activación: empleo de un recurso para procesar materiales o productos.

Amortiguador: el amortiguador de tiempo en el sistema **D.B.R.** se define en términos de tiempos extras para proteger el flujo de producción.

Capacidad de throughput: se refiere a la capacidad del recurso necesaria para soportar directamente el **throughput** de la empresa.

Capacidad en exceso: se refiere a la capacidad sobrante al contar la necesaria para **throughput** y de protección. Esta capacidad puede ser eliminada sin el riesgo de afectar la integridad en el programa de producción.

Capacidad de protección: se refiere a la capacidad necesaria para mantener la integridad del programa al proveer capacidad suficiente para recuperación.

Capacidad total = capacidad **throughput** + capacidad protectiva + capacidad en exceso.

La capacidad total de un recurso se puede expresar de la siguiente forma:

$$C_t = C_{th} + C_p + C_e.$$

Cuello de botella: cualquier recurso, cuya capacidad es menor o igual a la demanda requerida del mismo.

Cuerda: es el mecanismo necesario para asegurar que se logre la sincronización entre los recursos, sin necesidad de controlar activamente cada recurso de manera individual. La función

de la cuerda es generar la liberación de los materiales adecuados en las cantidades correctas y en el tiempo justo.

D.B.R.: sistema de logística para la planeación y control del flujo de producción de manera sincronizada.

Dependencia: cuando ciertas operaciones o actividades no pueden realizarse hasta que otras operaciones o actividades se hayan terminado.

Eficiencia: las horas de trabajo estándar divididas entre las horas reales trabajadas. La eficiencia es una medida de cuán cercanamente se cumplieron los estándares predeterminados. (APICS).

Fluctuación estadística: variabilidad inherente en cualquier proceso.

Gasto de Operación: se refiere a todo el dinero que gaste la empresa al transformar el inventario en **throughput**.

Inversión: todo el dinero que el sistema invierta en cosas que pretenda vender, incluyendo las instalaciones, maquinaria y equipo así como el costo variable del inventario. El costo de la mano de obra directa para la producción del inventario no forma parte del inventario según la filosofía de **T.O.C**.

Lote de proceso: se refiere a la cantidad de producto procesado.

Lote de transferencia: la cantidad de unidades que son movidas al mismo tiempo de un recurso al siguiente.

Recurso con restricción de capacidad CCR: recurso, cuya capacidad disponible, limita la habilidad de la organización de cumplir con el volumen, mezcla de producción o fluctuaciones en la demanda requeridas por el mercado.

Recurso no cuello de botella: es aquel cuya capacidad es mayor a la demanda requerida del mismo.

Restricción: cualquier elemento que limite a la organización para mejorar su desempeño en términos de alcanzar niveles más altos con respecto a la meta de la organización.

Tambor: es el programa detallado de producción para la restricción, que define el ritmo de todo el sistema. El tambor debe conciliar los requerimientos del cliente con las restricciones del sistema.

Throughput: Es la velocidad con la cual un sistema genera ganancias por medio de sus ventas.

Tiempo ocioso: tiempo no ocupado para preparar o procesar materiales

Utilización: la medida de la intensidad con la cual se utiliza un recurso.