

The background features a decorative graphic consisting of three overlapping circles of varying sizes, all in shades of green. These circles are connected by thin, light green lines that extend towards the top-left corner of the page. The overall aesthetic is clean and modern, with a focus on geometric shapes and a consistent color palette.

**DISEÑO DEL PROCESO DE
PLANEACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN
UTILIZANDO LA
HERRAMIENTA DE
TEORÍA DE
RESTRICCIONES PARA
MEJORAR EL DESEMPEÑO
EN LAS ENTREGAS DE LA
EMPRESA SERIDME LTDA**

MINOR DE TEORÍA DE RESTRICCIONES

**SERGIO ANDRÉS PÉREZ MIRANDA
DARÍO ALBERTO RAMÍREZ GARCÉS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
01/03/2010**

**DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE TEORÍA DE
RESTRICCIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN LAS ENTREGAS DE
LA EMPRESA SERIDME LTDA**

SERGIO ANDRÉS PÉREZ MIRANDA
DARÍO ALBERTO RAMÍREZ GARCÉS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MINOR TEORÍA DE RESTRICCIONES
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2010

**DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE TEORÍA DE
RESTRICCIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN LAS ENTREGAS DE
LA EMPRESA SERIDME LTDA**

SERGIO ANDRÉS PÉREZ MIRANDA
DARÍO ALBERTO RAMÍREZ GARCÉS

ASESOR:
RAÚL PADRÓN CARVAJAL
INGENIERO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MINOR TEORÍA DE RESTRICCIONES
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2010

Cartagena de Indias, D. T. y C., Octubre de 2010

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Apreciados Señores:

Por medio de la presente me permito someter a su consideración la monografía titulada "**DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE TEORÍA DE RESTRICCIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN LAS ENTREGAS DE LA EMPRESA SERIDME LTDA**", realizada por los estudiantes **SERGIO ANDRÉS PÉREZ MIRANDA** y **DARÍO ALBERTO RAMÍREZ GARCÉS** para optar al título Ingeniero Industrial, en la que me desempeñé cumpliendo la función de director del proyecto.

Atentamente,

Ing. RAÚL PADRÓN CARVAJAL

Cartagena de Indias, D. T. y C., Octubre de 2010

Señores:

COMITÉ CURRICULAR DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Por medio de la presente, sometemos a su consideración la monografía titulada **“DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE TEORÍA DE RESTRICCIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN LAS ENTREGAS DE LA EMPRESA SERIDME LTDA”**, para optar al título de Ingeniero Industrial.

Agradecemos su atención,

En espera de su pronta y positiva respuesta

Atentamente,

SERGIO PÉREZ MIRANDA

DARÍO RAMÍREZ GARCÉS

Cartagena de Indias, D. T. y C., Octubre de 2010

Señores:

COMITÉ CURRICULAR DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Apreciados señores,

Por medio de la presente les informamos que los estudiantes **SERGIO ANDRÉS PÉREZ MIRANDA** y **DARÍO ALBERTO RAMÍREZ GARCÉS**, desarrollaron en nuestra compañía, su proyecto de grado denominado “**DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE TEORÍA DE RESTRICCIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN LAS ENTREGAS DE LA EMPRESA SERIDME LTDA**”, del cual estamos muy satisfechos y agradecidos por todas aquellas propuestas realizadas.

Cordialmente.

Nota de Aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Mis espontáneos agradecimientos a Dios por hacer de mí, una persona emprendedora, proactiva y muy perseverante. Perseverancia que se logró con el apoyo infinito de mi Madre hermosa, mi mejor amiga quién me motivó a pesar de todas las adversidades, esforzándose cada día más porque yo pudiera concluir este objetivo tan anhelado, gracias Mami por creer en mí, a mi Padre Luis F. Y mis hermanos Luis F. Jr, Mario y Natalia quienes con su voz de aliento y empuje contribuyeron en lograr la culminación de mis estudios de pregrado. A mi hermano y mejor amigo Cesar, por ser un modelo de superación, quien admiro y representa para mí, una persona con verraquera a pesar de todos los inconvenientes que se han presentado en esta corta vida. En especial, mil gracias con mucho amor y cariño a mi Novia Melissa, quien se ha encargado con todo su entrega para esta hermosa relación, nunca permitir que yo cayera en la desesperación, por confiar en mí en la consecución de mi superación profesional y académica. Gracias por ser mi hermana, mi amiga y mi pareja, realmente por apoyarme en estos momentos difíciles. A mis docentes y compañeros, quienes se encargaron de descubrir e ilustrarme el camino del buen aprendizaje.

A mi familia, amigos y a todas las personas que han estado conmigo en este proceso, quienes estuvieron motivándome para el cumplimiento de este logro

SERGIO A. PÉREZ M.

A mi madre Lourdes Garcés Puello, ya que gracias a ella soy quien soy hoy en día,
fue la que me dio ese cariño y calor humano necesario.

A mi Padre y hermanos que siempre han estado presentes apoyándome en los
momentos más difíciles.

En especial a mi hermana Dary Luz quien a pesar de su corta edad siempre me ha
brindado su apoyo y amor incondicional

A mis tíos, abuelos y primos por sus bendiciones y aportes para ser cada vez una
mejor persona.

A todos mis amigos y amigas por estar siempre hay cuando más los he necesitado
y por superar todas las barreras que hemos tenido juntos.

A Gustavo Rodríguez Ensuncho (Q.E.P.D) por enseñarme el verdadero significado
de la palabra amistad y por haber marcado mi vida para siempre.

A mis compañeros de Minor de TOC y pregrado con quienes compartí momentos
especiales.

A todo ese cuerpo de docentes que puso su granito de arena para la formación de
este nuevo profesional.

A todas esas personas que de una u otra forma han aportado para que este sueño
hoy sea una realidad cumplida.

Y en especial a un ser superior, que si él no lo quisiera todo esto no sería posible,
a DIOS.

DARÍO RAMÍREZ GARCÉS

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta monografía manifiestan sus agradecimientos al señor OSCAR TABARES, Gerente General de SERIDME LTDA, por abrirnos las puertas de su empresa y habernos dado la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo de grado.

A todo el personal operativo de SERIDME, que sin su colaboración y paciencia no hubiese sido posible la culminación de este trabajo de grado. Especialmente queremos agradecer a la ingeniera Mónica Causil, Coordinadora HSEQ, quien con su apoyo, confianza y ayuda desinteresada fue de gran importancia en el desarrollo de este trabajo de grado.

A la Universidad Tecnológica de Bolívar y a su cuerpo de docentes por brindarnos los lineamientos para nuestra formación como Ingenieros Industriales. Muy especialmente al cuerpo de docentes que hicieron parte del Minor de TOC, en cabeza de su coordinador Ingeniero Luis Morales Eckardt.

Agradecemos muy especialmente a nuestro Director de Proyecto Ing. Raul Padron Carvajal, por la asesoría brindada durante el proyecto la cual nos llevo a gran parte del éxito del mismo.

CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	3
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS, CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS.....	5
1.1 TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES TOC.....	5
1.1.1 TIPOS DE RESTRICCIONES	5
1.2 TIPOS DE SOLUCIONES	7
1.3 CLASIFICACIÓN DE PLANTAS SEGÚN TOC	8
1.4 ESQUEMA METODOLÓGICO	9
2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	12
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2.2 DESCRIPCIÓN ORGANIZACIONAL.....	19
2.2.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	20
2.2.2 IDENTIFICACIÓN DEL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO	22
2.3 DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS.....	29
2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL SIG	29
2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	30
2.3.3 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS.....	37
2.4 ÁRBOL DE REALIDAD ACTUAL (ARA)	38
3. DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS OPERACIONES	42
3.1 ESTRANGULANDO LA MATERIA PRIMA.....	45
3.1.1 DEFINICIÓN DEL TAMBOR	46
3.1.2 DETERMINACIÓN DEL AMORTIGUADOR.....	48
3.2 GERENCIANDO LAS PRIORIDADES.....	50
3.3 LIDIAR CON LOS RECURSOS DE CAPACIDAD RESTRINGIDA.....	51

4. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	55
4.1 EJEMPLO DEL FUNCIONAMIENTO DE SIM-DBR.....	59
4.2 COMPARACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO CON EL SISTEMA ACTUAL.....	63
CONCLUSIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTADO DE TABLAS

PÁG.

Tabla 1. Horas utilizadas de cada máquina Octubre 2008 a Enero 2009	14
Tabla 2. Porcentaje de utilización de cada máquina Octubre 2008 a Enero 2009	15
Tabla 3. Utilización de cada recurso durante los meses de Mayo y Junio de 2009	46
Tabla 4. Porcentajes de utilización de cada máquina	47
Tabla 5. Frecuencia (de órdenes) de los Lead times de Fabricación	49
Tabla 6. Determinación del significado de penetración de cada orden de producción.....	51
Tabla 7. Perfil de Carga diario Mayo de 2009	52
Tabla 8. Perfil de Carga diario Junio de 2009	53
Tabla 9. Número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009).....	64
Tabla 10. Composición Porcentual de acuerdo al número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009).....	64
Tabla 11. Número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009) de acuerdo a la simulación en el sistema SIM-DBR	66
Tabla 12. Composición Porcentual de acuerdo al número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009) de acuerdo a la simulación en el sistema SIM-DBR	67
Tabla 13. Resumen de Pedidos Atrasados de Mayo de 2009, y comparación con los resultados de la simulación	67
Tabla 14. Resumen de Pedidos Atrasados de Junio de 2009, y comparación con los resultados de la simulación	68
Tabla 15. Comparación porcentual entre los resultados reales y los resultados de la simulación	68

LISTADO DE FIGURAS

PÁG.

Figura 1. Tipos de Restricciones según Goldratt.....	7
Figura 2. Soluciones Genéricas de la Teoría de Restricciones	7
Figura 3. Esquema de los tipos de planta según TOC: AVIT	8
Figura 4. Esquema metodológico de diagnóstico de la situación actual del proceso de planeación y programación de la producción.....	12
Figura 5. Porcentaje de utilización de cada máquina Octubre de 2008 a Enero de 2009.....	15
Figura 6. Comportamiento de los pedidos durante entre Octubre de 2008 a Marzo de 2009.....	16
Figura 7. Número de No Conformidades y Costo de las mismas Octubre, Noviembre y Diciembre de 2008 y Enero de 2009	17
Figura 8. Tiempo promedio (en días) en que los pedidos eran terminados antes del tiempo.....	18
Figura 9. Entrada principal de la empresa Servicios Industriales y metalmecánicos Ltda.: SERIDME	19
Figura 10. Instalaciones antiguas de la empresa SERIDME	20
Figura 11. Montaje de las nuevas instalaciones	21
Figura 12. Objetivos del Sistema de Gestión	23
Figura 13. Certificado de Gestión de la Calidad	24
Figura 14. Certificado PRODECAR.....	25
Figura 15. Certificado miembro del programa de Excelencia Ambiental – PREA para Pymes.....	25
Figura 16. Esquema ilustrativo de los Productos y servicios ofrecidos por la compañía..	27
Figura 17. Principales actividades del servicio de mecanizado.....	27
Figura 18. Esquema de las actividades realizadas en el área de Montajes y Estructuras	27
Figura 19. Distintos tipos de Balanceos realizados en la compañía	28
Figura 20. Otros servicios que presta la compañía	28
Figura 21. Mapa de Procesos de la empresa.....	29

Figura 22. Esquema General de la planta	31
Figura 23. Esquema del proceso de Producción	32
Figura 24. Centros de Mecanizado	33
Figura 25. Centros de Torneado	33
Figura 26. Fresadoras	34
Figura 27. Otras maquinarias.....	34
Figura 28. Otras máquinas de Apoyo y herramientas.....	35
Figura 29. Algunos trabajos representativos realizados por la empresa	36
Figura 30. Listado de efectos indeseables.....	39
Figura 31. Árbol de la Realidad Actual	40
Figura 32. Principal Efecto.....	42
Figura 33. Búsqueda de Causas para el efecto principal.....	43
Figura 34. Determinación de la causa principal.....	44
Figura 35. Esquema de desarrollo de la Solución de Operaciones - DBR	45
Figura 36. Gráfico comparativo de los porcentajes de utilización de cada máquina.	47
Figura 37. Clasificación de los tipos de órdenes	50
Figura 38. Esquema del sistema propuesto de planeación y programación de la producción.....	56
Figura 39. Datos a ingresar de cada orden de producción.....	56
Figura 40. Campo para la fecha y hora actual	58
Figura 41. Datos calculados por el Sistema.....	58
Figura 42. Perfil de carga de las máquinas.....	58
Figura 43. Carga detalla de las órdenes liberadas.	59
Figura 44. Esquema Inicial	60
Figura 45. Botón de priorización	60
Figura 46. Cambios en la priorización de las órdenes	61
Figura 47. Cambio en el estado de las órdenes	61
Figura 48. Evidencia de la asignación a la máquina luego del cambio	61
Figura 49. Cambio en el perfil de carga, luego de la asignación	62
Figura 50. Cambios luego de la asignación completa de las órdenes	62
Figura 51. Gráfica de la comparación porcentual entre los resultados reales y los resultados de la simulación	69

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. Base de datos de Producción

ANEXO B. Formato de Orden Interna de Trabajo.

ANEXO C. Hoja de Ruta del Producto.

INTRODUCCIÓN

La buena administración de las operaciones de una empresa manufacturera es un factor determinante para el éxito de la organización y gerenciar bien para lograr hacer dinero es el mayor desafío existente. Sin embargo, parece que al ser más complejo el sistema, esta labor se hace más difícil porque aparecen los conflictos internos y externos.

A pesar de lo anterior, en la actualidad existen una serie de enfoques y metodologías que pretenden contrarrestar estos inconvenientes; uno de estos enfoques lo constituye la Teoría de Restricciones, que propone que entre más complejo es el sistema, más profunda es su simplicidad inherente, por lo que propone que la clave consiste en identificar los pocos elementos que gobiernan el sistema y las relaciones causa-efecto de dichos elementos de modo que se puedan gerenciar para lograr un nivel mucho mayor de desempeño.

Basados en lo anterior, se realizó un proyecto de investigación cuyo objetivo fue diseñar el proceso de planeación y programación de la producción de SERIDME Ltda., basado en dicha filosofía, debido a que se quería mejorar el desempeño actual, en los que se relaciona con el cumplimiento en las fechas de entrega.

El punto de partida de este proyecto, lo constituyó una breve recopilación de los principales fundamentos teóricos, conceptuales y metodológicos de la Teoría de Restricciones, logrando de esta manera contextualizar al lector; posteriormente se hizo un diagnóstico de la situación actual de la empresa, a través del análisis de los principales procesos existentes, logrando de esta manera identificar las principales causas que no permiten entregar a tiempo los pedidos de acuerdo a las fechas de entrega pactadas con los clientes.

Finamente se realizó el diseño del proceso de Planeación y Programación de la producción tomando como base la Teoría de Restricciones, pues bajo este enfoque de administración no se buscan soluciones sofisticadas y complejas sino simples y lógicas, entendiendo a la empresa como un todo en el que el óptimo de las partes no conduce al óptimo del sistema.

El diseño anterior, permitió definir los lineamientos para la determinación de las prioridades en la planta de producción y los mecanismos de liberación de las ordenes de producción, lo cual se materializó a través de la creación de una herramienta computacional realizada en Microsoft Excel 2007 ®. Con la ayuda de esta herramienta se realizó una simulación del proceso productivo aplicando los principios de TOC, lo cual permitió evaluar los resultados que se obtendrían si se llegase a implementar, a través de la comparación con los resultados reales obtenidos a partir de la aplicación de modelo actual.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar el proceso de planeación y programación de la producción de SERIDME Ltda., basado en la filosofía de la Teoría de las Restricciones, con el fin de mejorar el desempeño en las entregas de la empresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Describir y diagnosticar la situación actual de la compañía a través de la identificación de las principales causas que no permiten entregar a tiempos los pedidos de acuerdo a las fechas de entrega pactadas por los clientes.
- ❖ Analizar los diferentes procesos existentes en la compañía, basados en el enfoque por procesos, para determinar la interrelación existente entre estos y el proceso de planeación y programación de la producción, y así poder identificar todos aquellos elementos restrictivos del sistema y lograr diseñar propuestas de mejora.
- ❖ Definir los lineamientos para la determinación de las prioridades en planta, a través del diseño del sistema de gerenciamiento de amortiguadores y el establecimiento del sistema de comunicación de liberación de las órdenes de producción, y de esta manera determinar el orden en que deben procesarse cada uno de los pedidos.
- ❖ Diseñar una herramienta computacional que permita realizar una correcta planeación y programación de la producción, teniendo en cuenta los principios de la teoría de restricciones.



**CAPÍTULO 1
FUNDAMENTOS
TEÓRICOS,
CONCEPTUALES Y
METODOLÓGICOS**



1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS, CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS

1.1 TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES TOC

Es una filosofía administrativa para la mejora continua en la cual el sentido común juega un papel muy importante a través del entendimiento de nuevos “procesos de pensamiento”. La Teoría de Restricciones empieza definiendo con claridad la META de la Organización y estableciendo medidas que permitan a la administración, determinar el impacto que tendrá cualquier acción sobre la META.

La Teoría de Restricciones es un conjunto de procesos de pensamiento que utiliza la lógica de la causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar maneras de mejorar. Se apoya en la hipótesis de que mientras más claramente se fije la META, mejores decisiones pueden ser tomadas. Reconoce que todo Sistema contiene elementos que limitan su desempeño, y esos elementos son las llamadas restricciones (cuellos de botella).

1.1.1 Tipos De Restricciones

La TOC enseña a identificarlas y suprimirlas, teniendo presente que existen Restricciones FÍSICAS (capacidad de equipos, disponibilidad de materia prima, pedidos, recursos financieros, mantenimiento, un individuo; en general cualquier aspecto que pueda ser relacionado con un factor tangible del proceso de producción) y NO FÍSICAS (políticas y reglas, mercado – condiciones externas por el lado de la demanda, logística, entretenimiento, administración, índices; en general cuando la compañía ha adoptado prácticas, procedimientos, estímulos o formas de operación que son contrarios a su productividad o conducen a resultados en realidad contrarios a los deseados).

La teoría de restricciones, conocida como T.O.C (Theory Of Constraints), es una teoría administrativa creada por Eli Goldratt en 1979 y desde entonces ha evolucionado hasta convertirse en una de las formas de administrar cualquier tipo de empresa. Por diseño esta teoría está preparada para evolucionar y actualizarse en forma continua de acuerdo con los cambios de realidad, que permite enfocar las soluciones a todos los problemas críticos de las empresas (sin importar al sector al que pertenece y al tamaño) para que éstas se acerquen a su meta mediante un proceso de mejora continua”¹.

Como su nombre lo indica esta filosofía centra su estudio es en la “restricción”, con el fin de explotarla y convertir el punto más débil de todo el sistema en el más fuerte y condicional del mismo. Pero ¿Qué es restricción? En TOC, el concepto ‘restricción’ es entendido como el factor que impide a las empresas alcanzar su meta, entendiendo como meta la razón para que el sistema exista.

Para empresas con ánimo de lucro, la meta será ganar más dinero ahora y en el futuro; para empresas sin ánimo de lucro, la meta será generar más unidades de meta, es decir, generar más salud en el caso de hospitales, más educación en el caso de los centros educativos, o más seguridad en el caso de instituciones militares y de seguridad nacional (Goldratt, 1998b). Para Goldratt, las restricciones de una empresa se clasifican en restricciones físicas, mercado y restricciones de políticas² tal cual como se puede ver en la figura 1.

¹ GARCÍA, Olga. La compensación financiera: una medida del valor del trabajador. Disponible en: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/pensamiento_gestion/21/la_compensacion_financiera.pdf [En línea] (18/08/09)

² LÓPEZ, Iván. URREA, Joaquín. Navarro, Diego. Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a la gestión de la facturación de las Empresas Sociales del Estado, ESE. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-50512006000100006&script=sci_arttext#f5 [En línea] (18/08/09)

Figura 1. Tipos de Restricciones según Goldratt



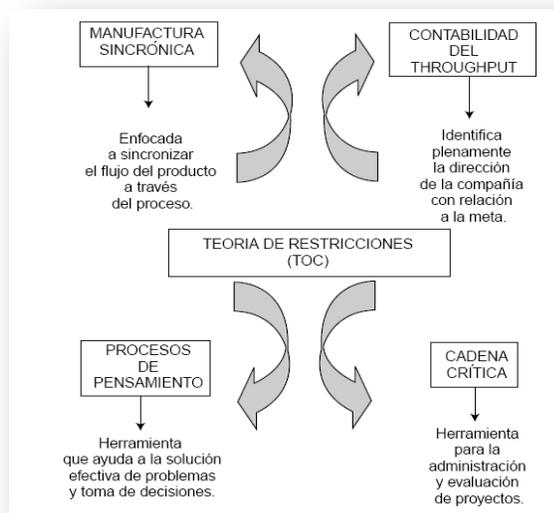
Fuente: Construido a partir de: LÓPEZ, Iván. URREA, Joaquín. Navarro, Diego. Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a la gestión de la facturación de las Empresas Sociales del Estado, ESE. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-50512006000100006&script=sci_arttext#f5

1.2 TIPOS DE SOLUCIONES

La teoría de restricciones ha propuesto hasta ahora “soluciones genéricas” a problemas que suelen presentarse en cualquier tipo de organizaciones. Estas están mencionadas en la figura 2.

Figura 2. Soluciones Genéricas de la Teoría de Restricciones

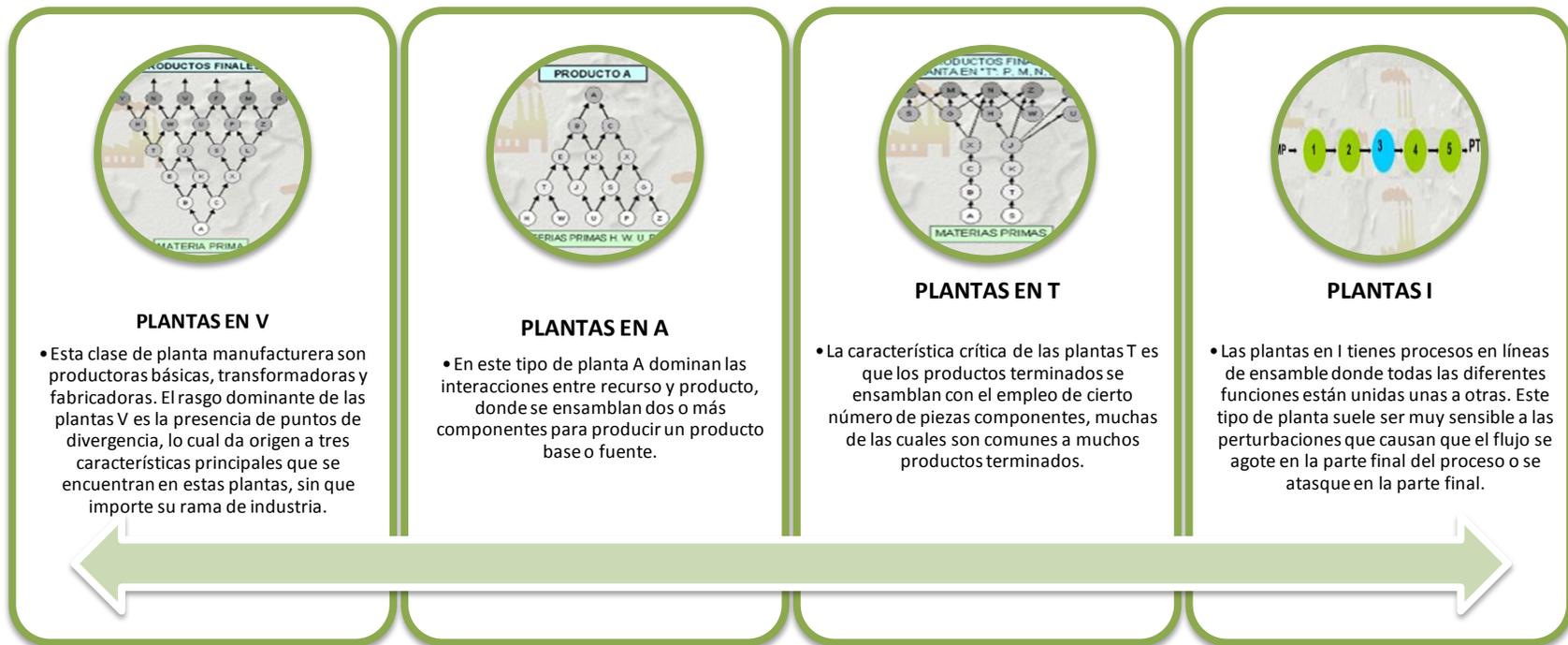


Fuente: GONZALES, J. ORTEGÓN, K., RIVERA, L. “Desarrollo de una metodología de implementación de los conceptos de TOC para empresas colombianas”.

1.3 CLASIFICACIÓN DE PLANTAS SEGÚN TOC

Teoría de restricciones clasifica las planta según el tipo de esquema, básicamente son 4 tipos de esquemas o combinaciones de los mismos. Dichos esquemas, así como la descripción de los mismos, se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3. Esquema de los tipos de planta según TOC: AVIT



Fuente: CASIJ, S., GAVIRIA, D. Diseño de un sistema de planeación y programación de planta basado en TOC para la empresa Internacional de Confecciones

SERIDME Ltda., se encuentra clasificado como una planta en I, porque presenta procesos en líneas de ensamble donde todas las funciones están unidas unas con otras, además no presentan ningún punto de convergencia ni divergencia.³

1.4 ESQUEMA METODOLÓGICO

Teoría de restricciones propone el siguiente proceso de cinco pasos, para enfocar los esfuerzos de mejora continua:

- ✓ **Identificar la restricción del sistema:** Todo sistema tiene una restricción, esta debe ser encontrada para ser atacada.
- ✓ **Explotar la restricción al máximo de su capacidad:** La restricción es el único recurso del sistema que no puede estar ocioso. El tiempo perdido en la restricción es tiempo perdido en todo el sistema.
- ✓ **Subordinar los demás recursos a la capacidad de la restricción:** El flujo del sistema debe ir acorde con la capacidad de la restricción, el tiempo ocioso en un recurso no descriptivo es insignificante para el sistema.
- ✓ **Aumentar la capacidad de la restricción:** Si ya se ha explotado la restricción al máximo de su capacidad esta debe ser elevada, si esto se logra se elevará la capacidad de todo el sistema.
- ✓ **Volver al primer paso:** Cuando se ha explotado la restricción al máximo, esta se traslada a otro punto.

Los procesos de pensamiento de la TOC, son un conjunto de herramientas para la solución de problemas, que permiten resolver de una manera lógica y sistemática las 3 preguntas esenciales para cualquier proceso de mejora continua; ¿Qué cambiar?, ¿Hacia qué cambiar?, ¿Cómo inducir el cambio? Aspectos que son influidos por la teoría de restricciones:

³ Información Suministrada por *Mónica Causil* Coordinador de HSEQ (24/08/09)

- ✓ Mejor servicio al cliente.
- ✓ Mayor participación de mercado.
- ✓ Menor nivel de inventarios.
- ✓ Reducción de costos.
- ✓ Mayor utilidad neta.
- ✓ Mayor retorno sobre la inversión.
- ✓ Mayor flujo de efectivo.
- ✓ Menores gastos de operación.
- ✓ Mayor flexibilidad en la manufactura.

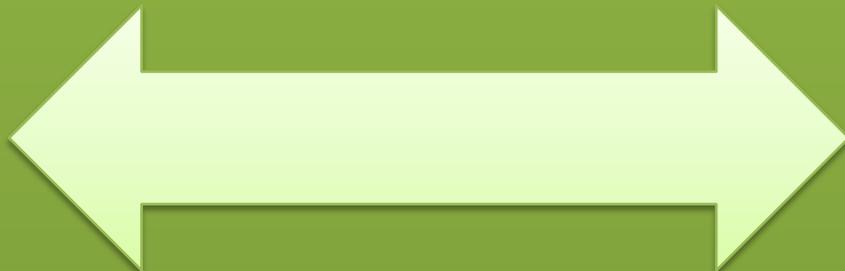
La TOC favorece la aplicación de metodologías que impliquen el desarrollo de “Know How” (saber hacer), en lugar de consultores externos. Pasos necesarios para sacar provecho de las restricciones:

- Identificar Restricciones del Sistema Total: ¿Qué nos limita?, ¿Es un recurso interno?, ¿Dónde hay un cuello de botella?, ¿Es un proveedor?
- Decidir cómo explotar al máximo una restricción (buscar la forma de obtener la mayor producción posible de la restricción).
- Subordinar el resto del Sistema a la decisión anterior.
- Elevar o remover restricciones que son limitación para el funcionamiento del sistema (buscar salidas de ingeniería, mejorar la programación de la producción, usar herramientas de la calidad total para mejorar el proceso, subcontratar, programar tiempos extras, utilizar a las mejores personas en el cuello de botella, adquirir más equipos...etc).

Si en las etapas previas se elimina una restricción, volver al paso 1, para trabajar en forma permanente con las nuevas restricciones que se manifiesten. Para los nuevos problemas o restricciones, no buscar las mismas soluciones ni use los mismos procedimientos, cada restricción es totalmente distinta y exige una solución diferente.



**CAPÍTULO 2.
DIAGNÓSTICO DE
LA SITUACIÓN
ACTUAL**



2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El punto de partida de todo proyecto de investigación debe ser el diagnóstico de la situación actual, debido a que se debe conocer el estado actual del sistema a investigar. En el presente caso, corresponde a diagnosticar la situación actual de la empresa bajo estudio.

Dicho diagnóstico partirá de la formulación del problema inicial, luego se hará una descripción de la empresa bajo estudio para determinar los factores que influyen en el proceso de planeación y programación de la producción. Posteriormente, se hará una identificación de todos los problemas relacionados con este proceso a partir del Árbol de la Realidad Actual.

Finalmente se hará un análisis de los datos recolectados y de la información estadística existente, para de esta manera analizar el proceso, y esto permitirá comprender el sistema y así será más identificar propuestas de mejora conducentes a mejoramiento de la empresa. El diagnóstico de la situación actual se hará con base en el siguiente esquema metodológico, que se encuentra en la figura 4.

Figura 4. Esquema metodológico de diagnóstico de la situación actual del proceso de planeación y programación de la producción



Fuente: Autores del Proyecto

La empresa SERIDME con la aplicación de esta herramienta administrativa podría mejorar potencialmente su quehacer operativo, la cual puede desarrollarse a través de las auditorías a los diferentes procesos y procedimientos con el fin de identificar sus diferentes falencias, que con la implementación de acciones preventivas, correctivas y de mejora se subsanaría algunas actividades críticas de la organización que a diario van surgiendo en el funcionamiento u operación normal de la entidad.

2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

SERIDME Ltda., es una empresa del Sector Metalmeccánico de la Ciudad de Cartagena, que nace gracias a la creciente demanda de la Industria de Mamonal para el Servicio de Mecanizado de Piezas y realización de Servicios de Metalistería. El requerimiento de un Servicio Metalmeccánico requiere un Alto Grado de Calidad y Tiempo de Respuesta, para poder así responder y satisfacer los clientes actuales y poder conseguir nuevos Clientes.

Las empresas que se encuentran en el sector metalmeccánico y que trabajan bajo pedidos, se ven expuestas a no cumplir con los tiempos de entrega pactados con el cliente, siendo este el inconveniente que se presenta con mayor frecuencia en este medio. Sin embargo, de acuerdo a estudios de métodos y tiempos anteriores⁴, la empresa posee la capacidad suficiente para satisfacer su demanda actual. Las condiciones de dicho estudio se han mejorado pues se han hecho inversiones en tecnología de punta, lo que conlleva a afirmar que la capacidad es incluso mayor a la calculada.

⁴ GÓMEZ OSORIO, Rosibel. VILLALBA FELIZ, Marcela. Análisis del proceso productivo de la empresa Servicios Industriales y Metalmeccánicos LTDA con miras de generar propuestas de mejoras. Tesis de Grado de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Bolívar. Octubre, 2006.

Esta afirmación se comprueba si se cuantifica la cantidad de horas trabajadas por cada máquina, lo cual posibilita hallar el porcentaje de utilización de las mismas. Se decidió tomar 4 meses para determinar el comportamiento del sistema.

De acuerdo la Ingeniera Mónica Causil, la demanda es constante durante todo el año, y en vista que los datos que se encontraban a la mano y que estaban sistematizados eran hasta Enero de 2009, se tomaron como base para construir estos datos, las órdenes procesadas y terminadas durante los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre de 2008, y Enero de 2009, y se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Horas utilizadas de cada máquina Octubre 2008 a Enero 2009

#	Máquina	Oct-08	Nov-08	Dic-08	Ene-09
01	Fresadora CNC	144	133,8	134,5	136,1
02	Torno 1 CNC	60,9	66	57,4	66,7
03	Torno 2 CNC	142,7	127,3	136,2	135,7
04	Torno 3 CNC	133,4	126,1	124,1	124,9
05	Centro de Mecanizado	132	122,6	126	126,5
06	Balanceadora	19,8	19,8	18,7	19,8
07	Fresadora Lagun 4	14,4	12,5	13,7	13
08	Cepillo Eléctrico	39,2	35,3	37	36,8
09	Rectificadora Plana	19,2	19,9	18,2	18
14	Fresadora Lagun 5	17,1	15,8	15,5	15,9
16	Torno Imoturn	70,2	66	66,5	66,1

Fuente: Construido a partir de la base de Datos "Control de la Producción" proporcionada por la ingeniera Mónica Causil

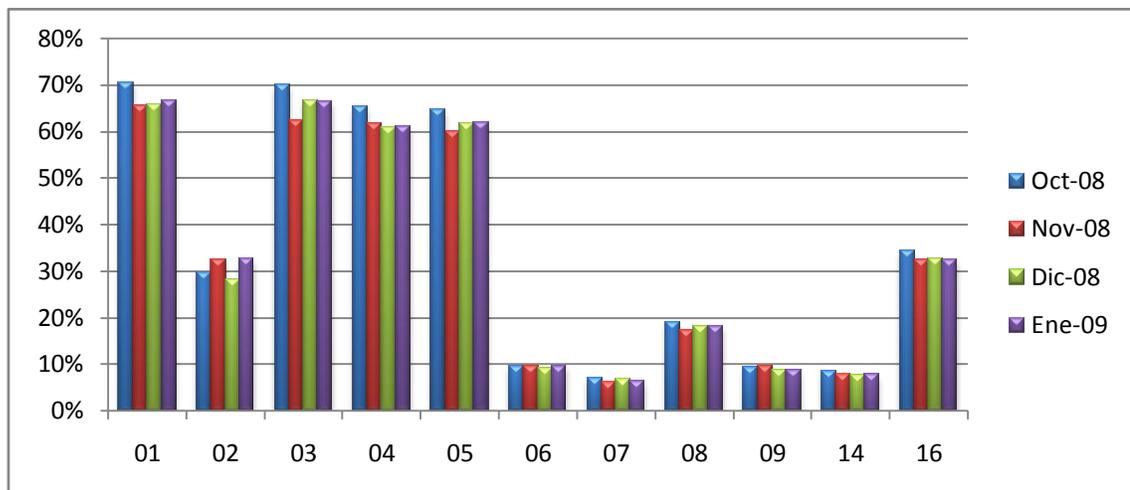
Si se contrastan los datos de la anterior tabla con los datos de disponibilidad (204 horas/mes) se obtiene la tabla 2 y la figura 5:

Tabla 2. Porcentaje de utilización de cada máquina Octubre 2008 a Enero 2009

#	Máquina	Oct-08	Nov-08	Dic-08	Ene-09
01	Fresadora CNC	71%	66%	66%	67%
02	Torno 1 CNC	30%	32%	28%	33%
03	Torno 2 CNC	70%	62%	67%	67%
04	Torno 3 CNC	65%	62%	61%	61%
05	Centro de Mecanizado	65%	60%	62%	62%
06	Balaceadora	10%	10%	9%	10%
07	Fresadora Lagun 4	7%	6%	7%	6%
08	Cepillo Eléctrico	19%	17%	18%	18%
09	Rectificadora Plana	9%	10%	9%	9%
14	Fresadora Lagun 5	8%	8%	8%	8%
16	Torno Imoturn	34%	32%	33%	32%

Fuente: Cálculo por los autores del proyecto

Figura 5. Porcentaje de utilización de cada máquina Octubre de 2008 a Enero de 2009

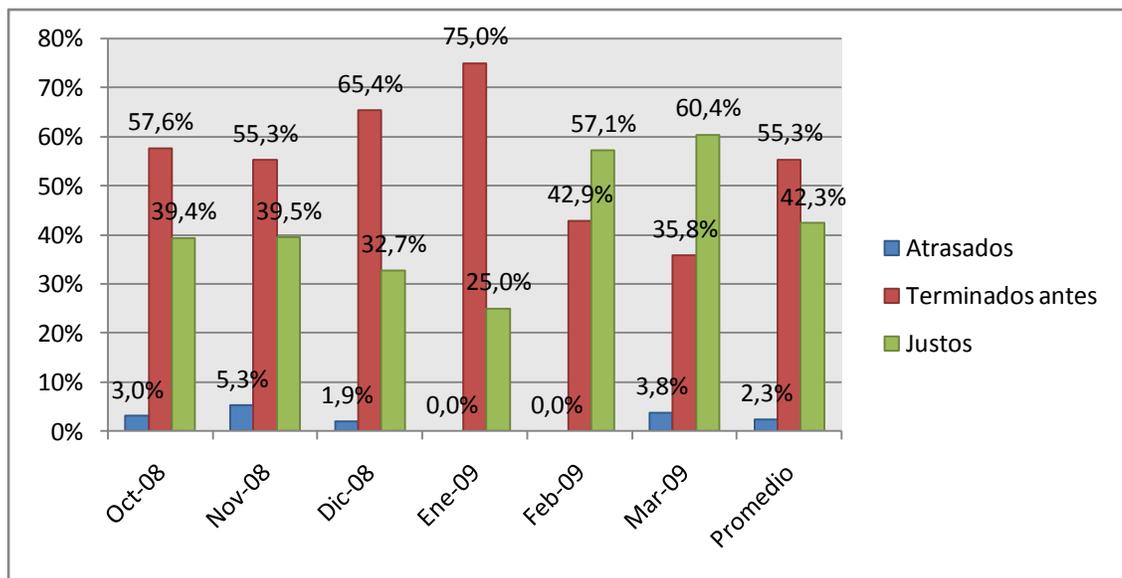


Fuente: Cálculo por los autores del proyecto

En la anterior gráfica se muestra que en ninguno de los casos los porcentajes de utilización llegan a estar por encima del 80%, incluso los valores más altos son para las máquinas 01 y 03 en el mes de octubre con 71% y 70% respectivamente.

No obstante de acuerdo a la información suministrada, y como se mostrará en la figura 6, no siempre se cumplen en su totalidad los pedidos. A continuación, se muestra una gráfica que ilustra como fue el comportamiento de los pedidos durante los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre de 2008, y Enero, Febrero y Marzo de 2009, con respecto si los pedidos fueron entregados atrasados, terminados antes, y entregados el mismo día que se pactó con el cliente. Durante estos meses no se evidencia ningún pico en los valores de la demanda, y los valores se mantienen estables durante el periodo de tiempo considerado.

Figura 6. Comportamiento de los pedidos durante entre Octubre de 2008 a Marzo de 2009



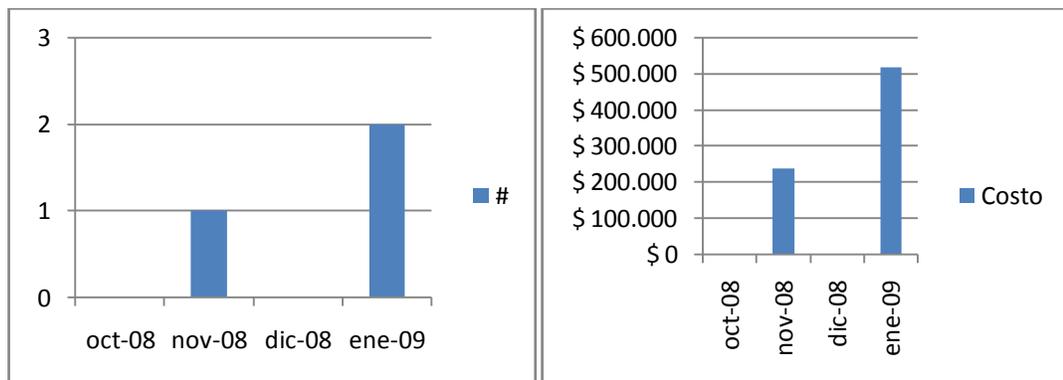
Fuente: Cálculos por los autores del proyecto a partir de información Suministrada por la empresa

Cómo se puede observar en la gráfica, el desempeño en las entregas es muy bueno, en los 6 meses tomados, la eficacia estuvo alrededor del 98%, existiendo meses como Enero y Febrero de 2009, en dónde todos los pedidos se entregaron a tiempo. Sin embargo, se destaca que en promedio el 55% de los pedidos se terminan antes de la fecha pactada con el cliente, y el 42% se terminan según la fecha pactada, y tan sólo un 2% no se entrega a tiempo, lo que tienen un impacto en el nivel de servicio, pues la compañía ofrece una garantía que no ofrecen otras

empresas del sector, y esto puede repercutir en la pérdida de clientes, lo que trae consigo la pérdida de los ingresos; y también resulta importante destacar que al ser los productos fabricados, piezas a la medida, tienen un impacto grandísimo en los clientes, pues es posible que la falta de una pieza pueda atrasar el programa de producción o el avance de un proyecto, dependiendo si la empresa es manufacturera o de proyectos.

Al analizar la conformidad de los pedidos, se trae a colación la figura 7, en donde se muestran el # de no conformidades presentes en cada mes considerado y el respectivo costo, en los casos donde se presentaron inconformidades. Esta figura muestra una vez más que el problema no está relacionado con la calidad, sino con los tiempos de entrega.

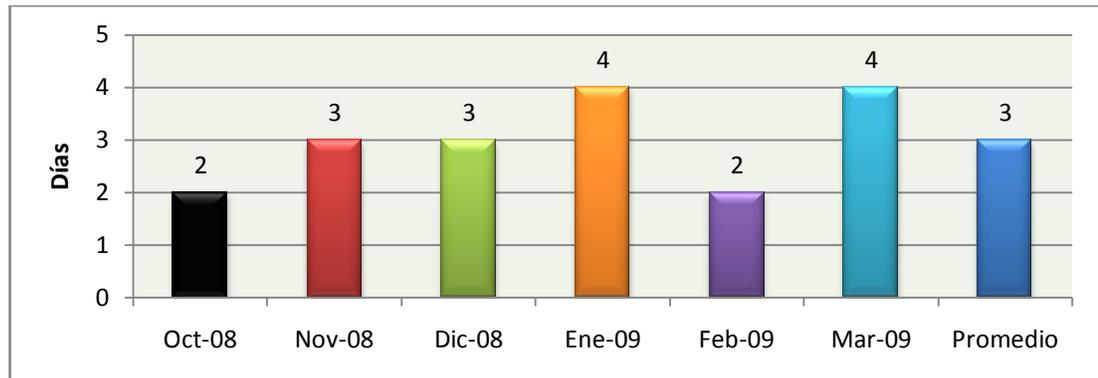
Figura 7. Número de No Conformidades y Costo de las mismas Octubre, Noviembre y Diciembre de 2008 y Enero de 2009



Fuente: Archivo en Excel: Análisis de No Conformidades proporcionado por la empresa

Volviendo al tema del cumplimiento, para cada mes, se calculó el tiempo promedio en que los pedidos eran terminados antes del tiempo pactado, lo cual se puede ver en la siguiente gráfica:

Figura 8. Tiempo promedio (en días) en que los pedidos eran terminados antes del tiempo



Fuente: Cálculos por los autores del proyecto a partir de información Suministrada por la empresa

En todos los meses, los pedidos son terminados antes de tiempo, lo que da indicios que la compañía tiene la capacidad suficiente para cumplir con su demanda actual, y se está en sobrecapacidad, lo cual no es una característica común de las empresas metalmecánicas del sector.

Por tal motivo, la búsqueda de una metodología que permitiera sobrellevar el problema actual de la compañía es una necesidad inherente, pues a pesar de poseer la capacidad de respuesta, algunos inconvenientes en la planeación y programación, y sobre todo en el control de este proceso dificultan el desempeño óptimo en las entregas, y la teoría de restricciones ofrece una solución sólida y coherente con la actualidad de la compañía.

La formulación del problema está dada por el siguiente interrogante:

¿Cuál sería la mejora forma de mejorar el desempeño en las entregas en la empresa SERIDME Ltda.?

2.2 DESCRIPCIÓN ORGANIZACIONAL

En SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME CIA S en C, se prestan básicamente servicios de construcción, reconstrucción, montajes y estructuras y balanceo dinámico computarizado de partes metalmeccánicas de diferentes tipos de materiales y equipos industriales rotativos para el sector industrial, naval, petrolero y de servicios. En la figura 9, se muestra una fotografía de la fachada de la compañía.

**Figura 9. Entrada principal de la empresa Servicios Industriales y metalmeccánicos Ltda.:
SERIDME**



Fuente: Fotografía tomada por los autores del proyecto

La descripción organizacional estará enfocada en tres aspectos principales: primero se hará una reseña histórica de la compañía, en donde se muestran los inicios de la empresa, así como los cambios y logros importantes obtenidos

durante su funcionamiento. Luego se hará una descripción de los productos y servicios ofrecidos y posteriormente se hará una descripción y análisis de su direccionamiento estratégico, para finalmente mostrar la manera cómo dicho direccionamiento, acoplado al sistema de Gestión Integral, funcionan de una manera integral para garantizar la consecución de los resultados de una manera eficiente.

2.2.1 RESEÑA HISTÓRICA⁵

Constituida inicialmente en el año de 1991 con el nombre de TALLER INDUSTEEL como respuesta a la creciente demanda de la industria de Mamonal de servicios calificados de mecanizado de piezas y servicios metalmecánicos.

Figura 10. Instalaciones antiguas de la empresa SERIDME



Fuente: Extraída del CD: Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C
(proporcionado por la empresa)

⁵ Información Suministrada por Oscar Tabares Gerente General

En el año de 1998, como consecuencia de un proceso de reestructuración en sus procesos y en su organización, tomó su actual nombre, Servicios Industriales y Metalmecánicos Ltda.

Figura 11. Montaje de las nuevas instalaciones



Fuente: Extraída del CD: Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C
(proporcionado por la empresa)

Con el transcurrir de los años, se ha ido posicionando en el mercado regional como una empresa seria, responsable y que entrega a sus principales amigos, los clientes, trabajos de óptima calidad a precios razonables, innovando en el mercado con nuevos servicios, comprometida con sus clientes, trabajadores y el medio ambiente, buscando siempre realizar procesos limpios, y libres de contaminación.

Actualmente se encuentra certificada en calidad por la norma ISO 9001:2000, con lo que garantizan la eficacia de sus procesos y el mejoramiento continuo de los mismos. Contando con maquinaria de tecnología de punta, lo que los hace más competentes en el mercado local y regional.

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DEL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO⁶

El direccionamiento estratégico constituye la herramienta principal para definir los porqués de las empresas, es el punto de partida de toda la labor táctica y operativa, y es donde se fijan las directrices a seguir por todos en la compañía.

La planeación estratégica de la empresa SERIDME, está encaminada a prestar un servicio de alta calidad, por lo que en su misión promulgan que:

“En SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS – SERIDME S en C, prestamos servicios de construcción, reconstrucción, montajes y estructuras y balanceo dinámico computarizado de partes metalmecánicas de diferente tipos de materiales y equipos industriales rotativos para el sector industrial, naval, petrolero y de servicios”⁷

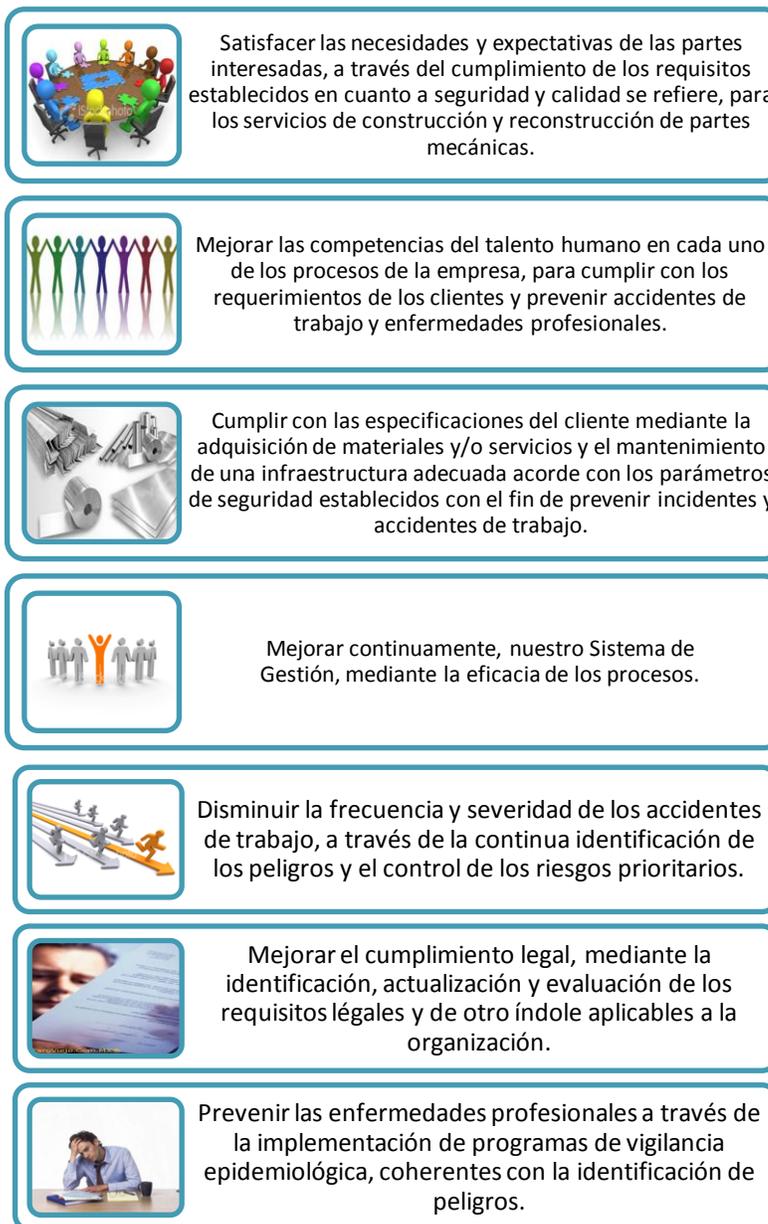
Por otra parte, manifiestan que lo que les ha permitido seguir adelante y sobrevolar todos los obstáculos, es la confianza que tienen los clientes en el trabajo que ellos realizan, pues saben que tiene el personal adecuado en cantidad y calidad, y que son personas con capacidades profesionales, técnicas y cualidades humanas, competentes e idóneas comprometidos con el mejoramiento continuo y crecimiento potencial industrial.

Un aspecto importante en la planeación estratégica, lo constituye el Sistema Integrado de Gestión de la Calidad, y todo se materializa en su política de calidad, en donde se comprometen a orientar sus esfuerzos hacia la satisfacción de los requerimientos de los clientes y basados en los valores de profesionalismo, cooperación, ética y espíritu de equipo. El SIG tiene 7 objetivos de gestión, los cuales se muestran en la figura 12.

⁶ Información suministrada por SERIDME Ltda.

⁷ SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Quienes Somos [En línea]. Disponible en: <http://www.seridme.com/quienes.asp>

Figura 12. Objetivos del Sistema de Gestión



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Sistema de Gestión Integral [En línea]. Disponible en: <http://www.seridme.com/calidad.asp>

En la actualidad, la compañía se encuentra certificada por la norma ISO 9001:2000, lo cual garantiza la calidad del proceso de fabricación y reparación de componentes mecanizados. En la figura 13, se muestra la imagen del certificado de gestión de la Calidad, dado por ICONTEC.

Figura 13. Certificado de Gestión de la Calidad



Fuente: Extraída del CD: Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C
(proporcionado por la empresa)

Adicionalmente, la compañía ha obtenido dos importantes certificados, el primero que se puede ver en la figura 14, y corresponde al certificado otorgado por el convenio de Cooperación Técnica No. ATN/ME 9222-CO, a través del programa de desarrollo de proveedores pymes de grandes empresas del sector petroquímico en Cartagena y Mamonal (PRODECAR), al enaltecer la labor de la compañía por su meritoria participación para el logro del propósito del convenio, avalado por el banco interamericano de Desarrollo, el MIF, ICONTEC, Polyban y ECOPETROL.

Figura 14. Certificado PRODECAR



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Sistema de Gestión Integral [En línea]. Disponible en: <http://www.seridme.com/images/prodecar.jpg>

Adicionalmente, la compañía recibió a través de CARDIQUE y ACOPI, el certificado que avala que gracias al manejo ambiental, ha sido reconocida como parte del programa de Excelencia Ambiental – PREA para Pymes.

Figura 15. Certificado miembro del programa de Excelencia Ambiental – PREA para Pymes



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Sistema de Gestión Integral [En línea]. Disponible en: <http://www.seridme.com/images/cardique.jpg>

En resumen, en su direccionamiento estratégico manifiestan que uno de sus factores claves de éxito está constituido *por la tecnología de punta que poseen muy superior a lo existente en el mercado actual en la ciudad de Cartagena*, y adicionalmente cuentan con procesos adecuados y efectivos que les permiten ofrecer un servicio de calidad que cumpla a cabalidad los requisitos pactados con los que ellos denominan sus principales *amigos*: los clientes.

La empresa en su visión al 2011, pretende convertirse en una compañía líder en la Costa Atlántica, y tiene como objetivo principal de gestión *conquistar nuevos mercados en las diferentes regiones del país*, a través de la forma más simple y es brindando un servicio y fabricando un producto de excelente calidad enfocándose en los sectores industriales, navales, petroleros y de servicios, brindándoles cada día a sus nuestros clientes un excelente y efectivo servicio cumpliendo a cabalidad los requisitos pactados, y siempre con la intención de agregar valor a los productos que fabrican; y saben que lo pueden lograr porque como se mencionó anteriormente poseen un personal competente, equipos y procesos eficientes y adecuados, con lo cual se garantizará un posicionamiento competente en el mercado.

Adicionalmente, una de sus metas es convertirse en fabricantes en serie de piezas y partes mecánicas, y sustituir las importaciones de las mismas para contribuir al engrandecimiento de Colombia.

2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS

La compañía maneja básicamente tres líneas de productos y servicios y subcontrata otros como se puede observar en la figura 16.

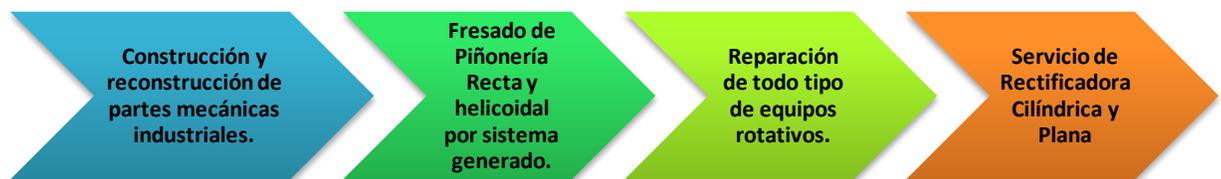
Figura 16. Esquema ilustrativo de los Productos y servicios ofrecidos por la compañía



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Servicios [En línea]. Disponible en <http://www.seridme.com/servicios.asp>

En la parte de mecanizado realiza básicamente las actividades que se muestran en la figura 17.

Figura 17. Principales actividades del servicio de mecanizado



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Servicios [En línea]. Disponible en <http://www.seridme.com/servicios.asp>

La compañía realiza diversos montajes y estructuras, entre las que se destacan las que se muestran en la figura 18.

Figura 18. Esquema de las actividades realizadas en el área de Montajes y Estructuras



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Servicios [En línea]. Disponible en <http://www.seridme.com/servicios.asp>

La compañía también posee un departamento de balanceo, el cual cuenta con una capacidad de balancear hasta un diámetro menor o igual de 2 mt y pesos menores o iguales a 2 toneladas. Los productos y servicios que presta esta área se muestran en la figura 19:

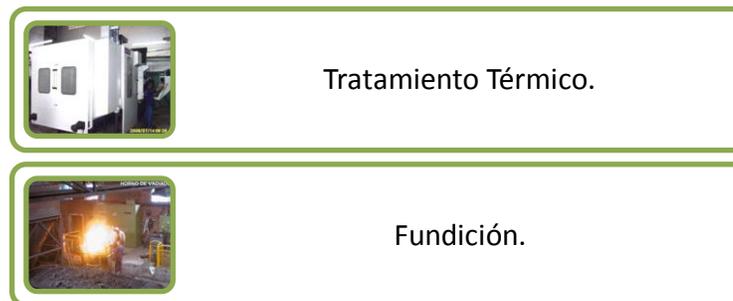
Figura 19. Distintos tipos de Balanceos realizados en la compañía



Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Servicios [En línea]. Disponible en <http://www.seridme.com/servicios.asp>

Adicionalmente cuentan con proveedores calificados y certificados para prestar los siguientes servicios, ilustrados en la figura 20.

Figura 20. Otros servicios que presta la compañía



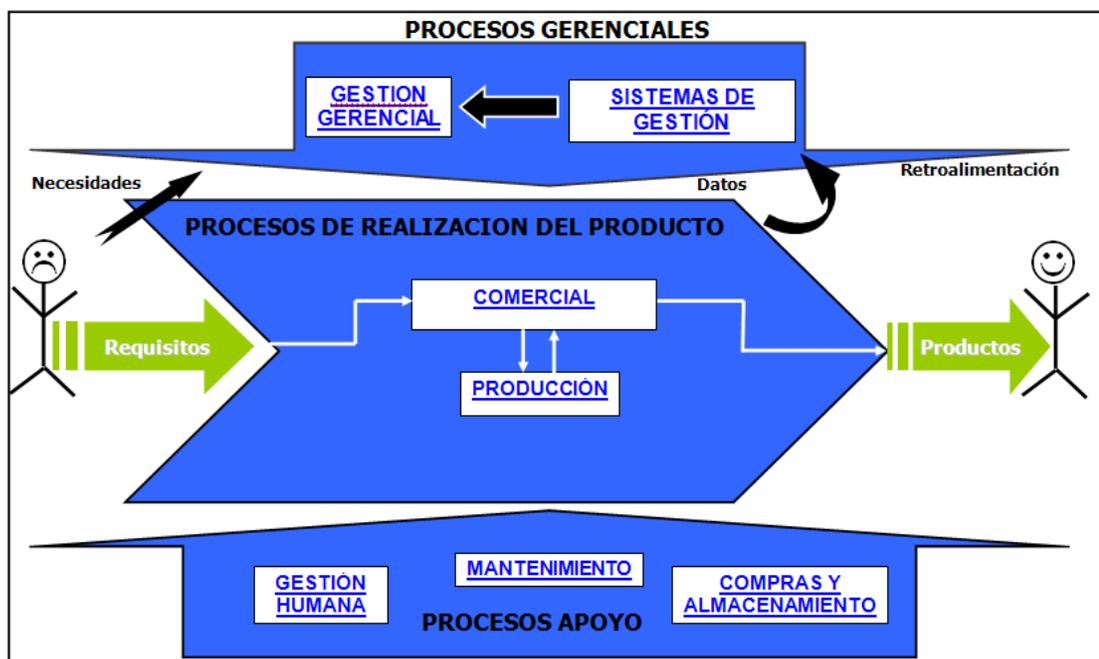
Fuente: SERVICIOS INDUSTRIALES Y METALMECÁNICOS TABARES COMPAÑÍA S en C SERIDME. Servicios [En línea]. Disponible en <http://www.seridme.com/servicios.asp>

2.3 DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS

2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL SIG

La compañía como se mostró anteriormente, posee un sistema de gestión de la calidad, en dónde ha definido sus procesos. Estos procesos, son conjuntos de actividades realizadas de manera secuencial para producir un resultado. Ellos han definido sus procesos y los han condensado en lo que se denomina mapa de proceso. El mapa de procesos para la compañía se muestra en la figura 20.

Figura 21. Mapa de Procesos de la empresa



Fuente: Manual de Calidad, Mapa de Procesos (Identificación)

Dentro de los procesos Gerenciales, se encuentra dos: Gestión Gerencial y Sistemas de Gestión. El objetivo del proceso de Gestión Gerencial es básicamente “*direccionar la organización hacia la calidad, seguridad y salud ocupacional mediante la planificación, asignación de recursos y revisión del Sistema de*

Gestión Integral para asegurar la implementación, mantenimiento, adecuación y mejora continua del mismo de acuerdo con los requisitos de las normas ISO 9001:2008 y OHSAS 18001:2007”.

Lo anterior, tomando como base: la Información estratégica, las Estadísticas de Ausentismo, los Requisitos legales, las Necesidades y expectativas de las partes interesadas, la Identificación de Peligros y valoración del riesgo y el Informe para la Revisión por la Dirección; lo que permite la determinación de: las Especificaciones del SGC (Política, objetivos, productos y servicios, procesos, asignación de recursos, indicadores) y finalmente la asignación de recursos.

Por otra parte, también a nivel estratégico, el proceso de Sistemas de Gestión tiene como objetivo *“Evaluar el desempeño de los procesos y servicios para establecer oportunidades para la mejora continua y mantener el sistema de gestión de la empresa”* y esto lo hace tomando como base la Información sobre:

- ✓ Las condiciones, los métodos de trabajo y la exposición a riesgos,
- ✓ Las Estadísticas de ausentismo,
- ✓ Los Resultados de auditoría, resultados del seguimiento y la medición, las no conformidades
- ✓ La retroalimentación de las partes interesadas, la valoración de riesgo,
- ✓ La evaluación legal,
- ✓ Los resultados de la revisión gerencial,
- ✓ Las encuestas de Satisfacción, sugerencias y felicitaciones,
- ✓ La Política y los objetivos de Calidad y los resultados de la revisión del SGC, y obviamente las oportunidades de mejora.

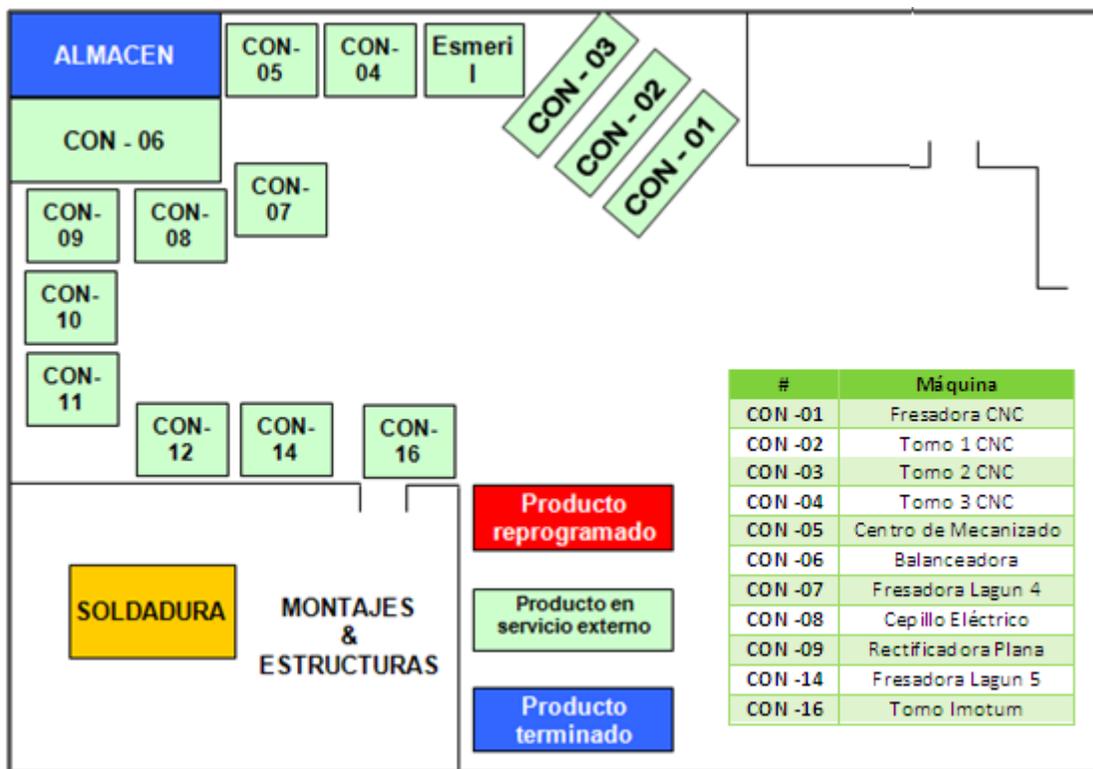
2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

En el presente caso, se hará un enfoque en el proceso productivo, por lo que en la figura 22 se muestra un esquema general de la planta, en dónde al pie de la figura

se muestra la nomenclatura y el significado de cada máquina; y en la figura 23, se ha construido un flujograma en dónde se muestran los pasos y las actividades que se realizan en la empresa para llevar a cabo el proceso de Producción.

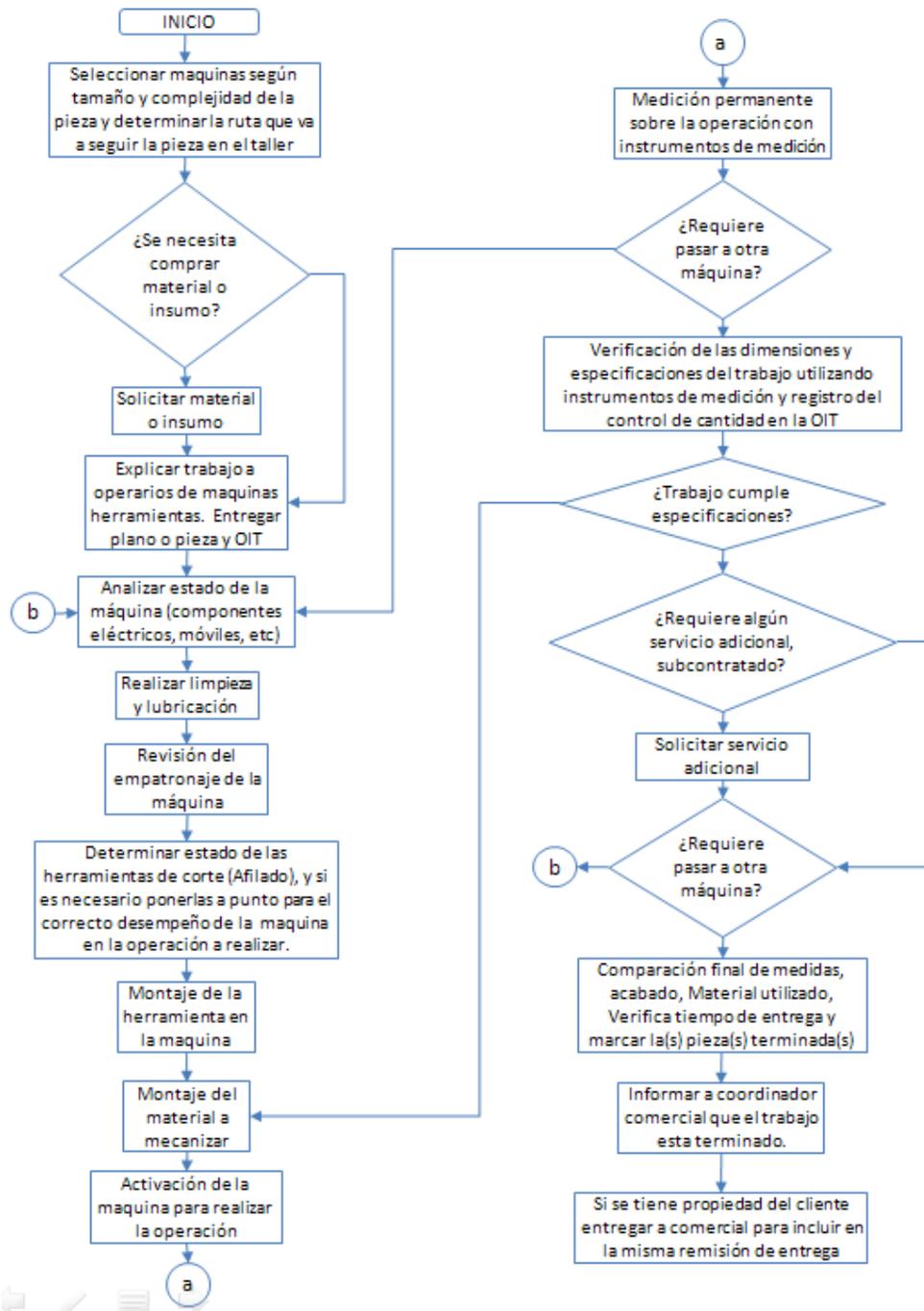
Dicho proceso toma como entradas las *OIT* (Ordenes Internas de Trabajo), los planos de las piezas, los materiales e insumos requeridos, provenientes básicamente de las áreas comerciales, de compras y almacén principalmente. Las salidas de este proceso son para la primera parte las órdenes de requisición de materiales, el producto terminado, y con esto, la información sobre productos no conformes, y las estadísticas sobre el producto terminado.

Figura 22. Esquema General de la planta



Fuente: Documento Tablero de producción, proporcionado por la Ingeniera Mónica Causil

Figura 23. Esquema del proceso de Producción



Fuente: Construido por los autores a partir de información en el Manual de Calidad de la empresa

Cómo se mencionó anteriormente, se hacen dos actividades principales: el mecanizado de piezas y la creación de estructuras. Para hacer el mecanizado la empresa cuenta con los siguientes centros de Mecanizado, que se muestran en la figura 24; centros de torneados que se muestran en la figura 25; fresadoras que se muestran en la figura 26.

Figura 24. Centros de Mecanizado



Fuente: [Extraída del CD](#): Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C
(proporcionado por la empresa)

Figura 25. Centros de Torneado





Fuente: [Extraída del CD](#): Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C (proporcionado por la empresa)

Figura 26. Fresadoras



Fuente: [Extraída del CD](#): Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C (proporcionado por la empresa)

Figura 27. Otras maquinarias



Fuente: [Extraída del CD](#): Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C (proporcionado por la empresa)

Figura 28. Otras máquinas de Apoyo y herramientas

TALADRO	CEPILLO	SIERRA
		
PRENSA HIDRÁULICA	ESMERIL ELÉCTRICO	MÁQUINA DE SOLDAR
		
MÁQUINA DE SOLDAR M	COMPRESOR	AFILADORA
		

Fuente: Extraída del CD: Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C
(proporcionado por la empresa)

A continuación, se muestran en la figura 29, algunos trabajos representativos realizados por la empresa, los cuales le han permitido darse a conocer en el mercado, y sobre todo la calidad de sus productos.

Figura 29. Algunos trabajos representativos realizados por la empresa

	
<p>Rodillo formador de paso 1 en Acero D2 con TTO Térmico – TENARIS TUBOCARIBE</p>	<p>Rotor para motor eléctrico de bomba – balanceo dinámico</p>
	
<p>Porta Punch en Acero SAE 4340 con TTO Térmico – TENARIS TUBOCARIBE</p>	<p>Camisa para eje de bomba de agua salada en Monell K500 – ECOPETROL S.A.</p>
	
<p>Difusor para quemador de Gas en Acero Inoxidable – ECOPETROL S.A.</p>	<p>Impulsor cerrado de 5 alabes en Bronce – ECOPETROL S.A.</p>
	
<p>Porta Spray en Acero Inox. SAE 4340 para Reactores – CABOT COLOMBIANA</p>	<p>Ejes para bomba de agua salada en Monell K500 – ECOPETROL S.A.</p>
	
<p>Haz de tubos placa U</p>	

Fuente: [Extraída del CD: Servicios Industriales y Metalmecánicos Tabares & Cía. S en C](#)
(proporcionado por la empresa)

2.3.3 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS

Bajo la óptica de Goldratt y su Teoría de Restricciones, en todas las empresas sin importar el tipo de producto que fabriquen, ni el tamaño, ni ninguna característica en particular, existen una serie de problemas que impiden que esta logre la meta de *producir más dinero ahora y en el futuro*, y son los denominados efectos indeseables, los cuales tienden a ser comunes en todas las empresas.

Con el objetivo de identificar los efectos indeseables que se presentaban en la empresa, se realizó una lluvia de ideas, en donde se contó con la presencia de las personas que ocupan los siguientes cargos de la parte Administrativa: Coordinador de Producción, Coordinador de Ingeniería, Coordinador Comercial, Coordinador de Estructuras, Coordinadora de HSEQ, Gerente, Coordinadora de Compras y Almacén y Ing. Auxiliar de Estructuras; y del área de Producción se contó con: un (1) Operador CNC, dos (2) Tornero, un (1) Tornero CNC, un (1) Fresador, un (1) Soldador y un (1) Fresador CNC.

La lluvia de ideas se inició realizando la siguiente pregunta: ¿Cuál cree usted que son los factores que están incidiendo en que la empresa no pueda cumplir en su totalidad con la entrega a tiempo de los pedidos y en la calidad acordada?, y en forma general los resultados obtenidos se sintetizan a continuación:

- En algunas ocasiones, no se cuenta con el total de materias primas para realizar los pedidos.
- No se cuenta con el capital disponible para realizar una inversión significativa en inventarios de materias primas para garantizar tener todo a la mano.
- Los planes de producción cambian frecuentemente y esto hace que se tengan que hacer muchos cambios en las máquinas.

- Se pactan tiempos de entrega muy cortos en algunas ocasiones con clientes especiales.
- Los precios de las materias primas se han incrementado sustancialmente debido a alzas sin precedentes en el petróleo.
- No se tiene en cuenta la capacidad actual de la planta para hacer la programación.
- Se aceptan todos los pedidos que lleguen, sin tener en cuenta si se tiene el material disponible.
- Existen muchas asignaciones de trabajos urgentes.
- Algunos clientes luego de pactar las fechas piden que se les adelanten las fechas de entrega de los pedidos, lo que ocasiona caos en la planta.
- No existe un sistema de priorización que permita con claridad distinguir el orden y la secuenciación de las actividades.

Los efectos indeseables anteriormente descritos, constituyen el punto de partido del siguiente paso en la metodología, en cual consiste en la determinación del árbol de la realidad actual, el cual permitirá identificar el problema que más impacta.

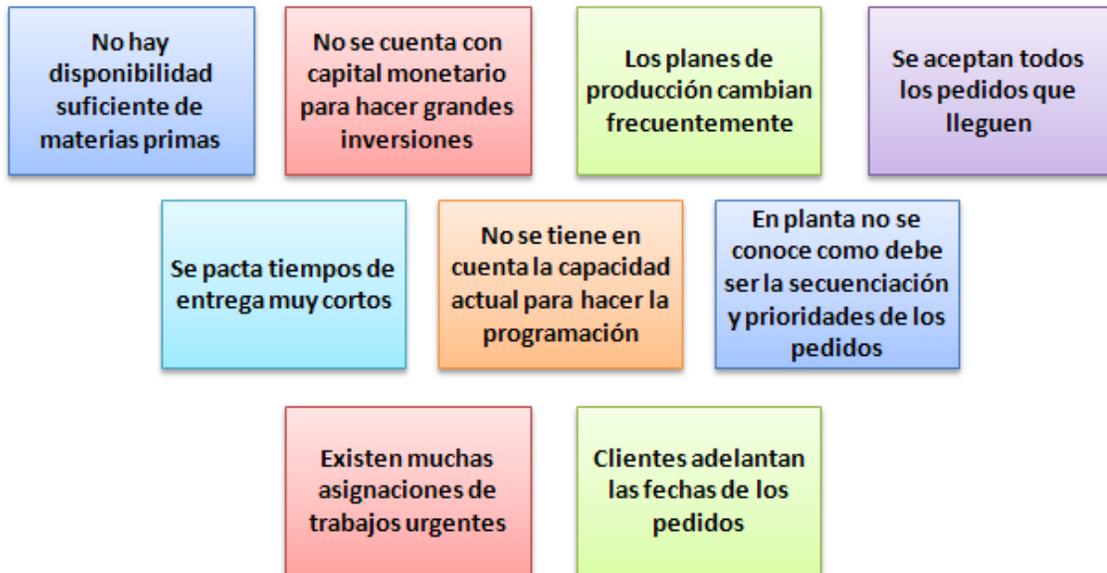
2.4 ÁRBOL DE REALIDAD ACTUAL (ARA)

El propósito del ARA es describir por medio de una estructura lógica las relaciones de Efectos-Causas-Efectos de la situación prevaleciente. Con el ARA, se logra describir esas relaciones Efectos-Causas-Efectos entre los síntomas indeseables que se desea eliminar y el conflicto o problema raíz que perpetúa dichos efectos indeseables.

Para la construcción de esta herramienta, luego de tener una lista de 5 a 10 efectos indeseables se hace la diagramación de las relaciones causa efecto, se revisan las relaciones para obtener mayor claridad, se aplica el examen

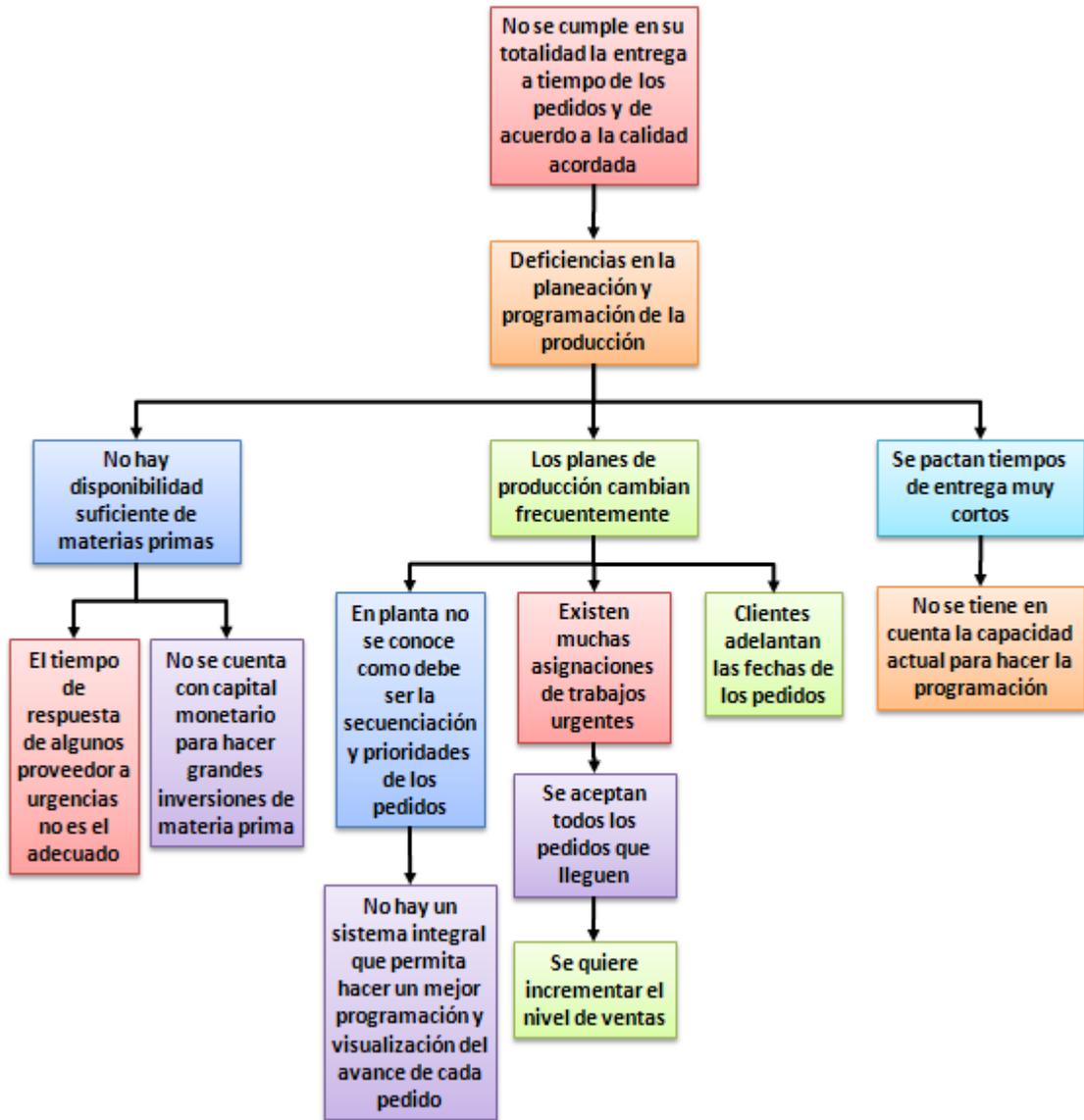
“Porqué/porqué”, y finalmente se construye el esquema final dónde se identifica la causa raíz. En la figura 29, se puede ver el listado de los efectos indeseables y en la figura 30 se muestra el esquema del árbol de la realidad actual.

Figura 30. Listado de efectos indeseables



Fuente: Autores del Proyecto

Figura 31. Árbol de la Realidad Actual



Fuente: Autores del Proyecto



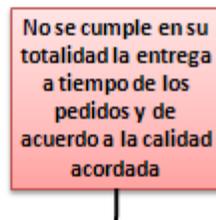
CAPÍTULO 3.
**DISEÑO DEL PROCESO
DE PLANEACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DE
LAS OPERACIONES**



3. DISEÑO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS OPERACIONES

Luego de determinar a partir del árbol de la realidad actual, que el principal efecto que se produce en la empresa bajo estudio, es que *No se cumple en su totalidad la entrega a tiempo de los pedidos y de acuerdo a la calidad acordada*, a partir de mismo se identifican las principales causas por las que están ocurriendo estos inconvenientes.

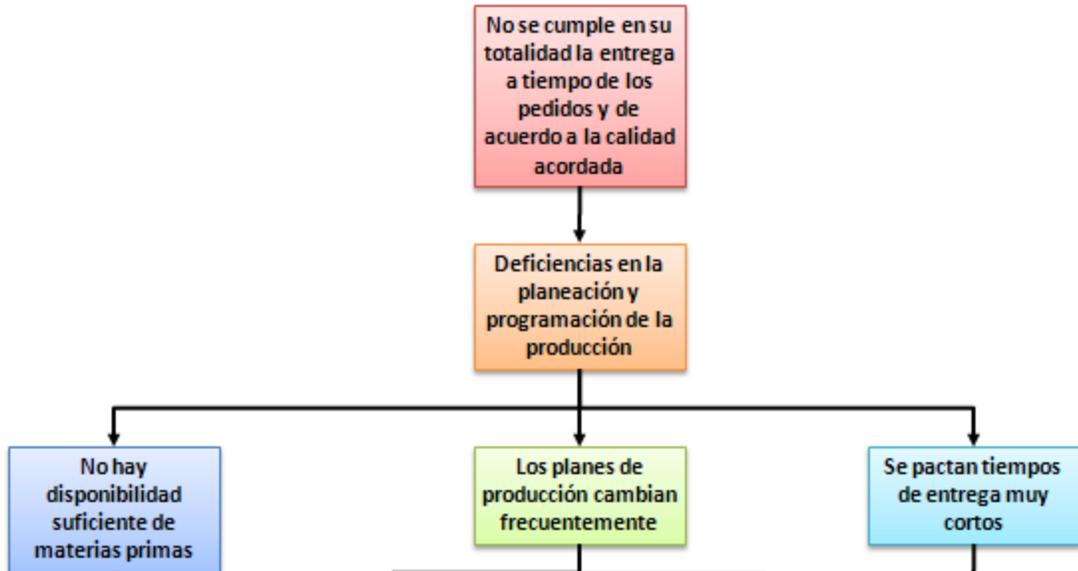
Figura 32. Principal Efecto



Fuente: Autores del Proyecto

Básicamente se determina, que este efecto final se produce por una razón principal, y es debido a que *existen Deficiencias en la planeación y programación de la producción*, y que esto se debe principalmente a tres factores: *No hay disponibilidad suficiente de materias primas, los planes de producción cambian frecuentemente y se pactan tiempos de entrega muy cortos.*

Figura 33. Búsqueda de Causas para el efecto principal



Fuente: Autores del Proyecto

Desde el punto de vista del alcance de esta monografía, la cual pretende lograr un impacto en la planeación y programación de la producción, se hará énfasis en desarrollar propuestas de mejora encaminadas a mejorar la causa que se considera principal, la cual es que: *No hay un sistema integral que permita hacer una mejor programación y visualización del avance de cada pedido*, lo cual permitirá que en la planta de producción se conozca cómo debería ser la correcta y más adecuada secuenciación y prioridades de los pedidos.

Figura 34. Determinación de la causa principal



Fuente: Autores del Proyecto

La metodología que se utilizará para el diseño del proceso de planeación y programación de la producción, será la visión viable de Goldratt, a través del diseño del sistema DBR.

Para la consecución de la Visión Viable, es necesario desplegar en la organización una serie de elementos que permitan el logro de este ideal. Uno de ellos es lograr un desempeño alto (del 99%) en el cumplimiento de los tiempos de entrega como ventaja competitiva. Para ello, es necesario trabajar en tres elementos básicos: La Estrangulación de la Materia Prima, El Manejo de las Prioridades y Lidar con los Recursos Críticos como se puede observar en la figura 35.

Los datos utilizados para realizar los diferentes análisis, corresponden a la base de datos proporcionada por la empresa de los meses de Mayo y Junio del 2009, la cual se encuentra en el Anexo A, construida a partir de los datos registrados diariamente en las *órdenes internas de trabajo* y en las *hojas de rutas del producto*, cuyos formatos se encuentran en los Anexos B y C.

Se escogieron estos dos porque eran los que estaban completas las órdenes de producción físicas y las hojas de rutas, y el número de pedidos fue igual para ambos meses. La demanda al ser constante, garantiza la representatividad de los mismos datos. No fueron evaluados más periodos por razones de tiempo pues cada mes implicaba digitar los datos físicos y construir la historia de los recorridos. Sin embargo se recomienda que esta labor para futuros proyectos deba ser ampliada.

Figura 35. Esquema de desarrollo de la Solución de Operaciones - DBR



Fuente: Autores del Proyecto

3.1 ESTRANGULANDO LA MATERIA PRIMA

La liberación de Materia Prima es el primer paso del proceso productivo de las empresas y uno de los puntos más importantes dentro de la producción, ya que determina la salida de los insumos al sistema. La metodología de Teoría de Restricciones demuestra que el alto porcentaje de inventarios de productos en

procesos genera aumento en gastos y desperdicios y altos tiempo de entregas (Lead Time), es por ello que el paso de materia prima debe ser lo más efectivo posible de modo que no haya mucho inventario en proceso ni lo opuesto, que el sistema quede vacío.

3.1.1 Definición del tambor

Al estrangular la Materia Prima, lo que se busca es restringir la dosificación de la materia prima al sistema teniendo en cuenta que esta debe ser liberada en función del tambor; el tambor es el recurso de capacidad crítica del proceso productivo (Cuello de Botella).

Para la determinación del tambor, se parte de los datos de la utilización de cada una de las máquinas involucradas en el proceso productivo. Esta información se encuentra sintetizada en la tabla 3.

Tabla 3. Utilización de cada recurso durante los meses de Mayo y Junio de 2009

Máquina	Mayo	Junio
CON 01	135:50	143:30
CON 02	70:50	68:15
CON 03	144:20	129:30
CON 04	116:30	122:30
CON 05	131:05	129:45
CON 06	16:10	20:45
CON 07	24:00	29:45
CON 08	23:05	38:30
CON 09	14:00	12:15
CON 14	12:00	9:00
CON 16	87:50	51:00
Total general	775:40	754:45

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

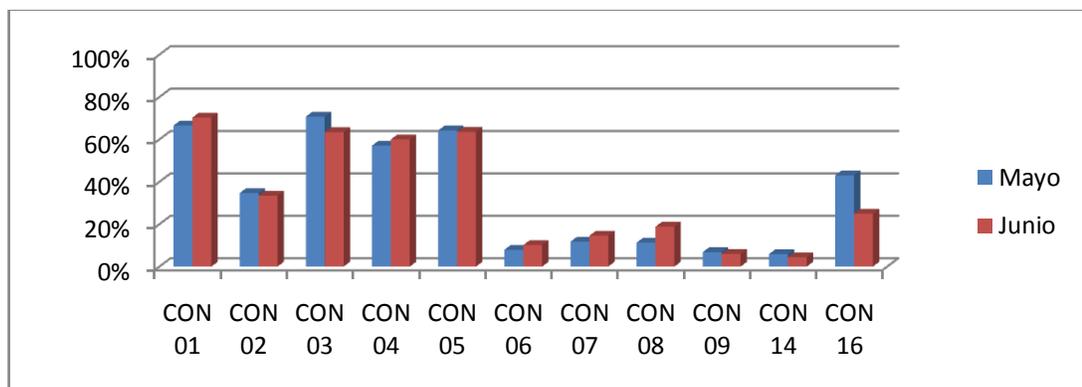
Al contrastar estos datos, con la disponibilidad de máquinas se determinan los porcentajes de utilización de cada una de las máquinas para los meses bajo estudio, los cuales se muestran en la tabla 4, y se ilustra en la figura 36.

Tabla 4. Porcentajes de utilización de cada máquina

Máquina	Mayo	Junio	Promedio
CON 01	67%	70%	68%
CON 02	35%	33%	34%
CON 03	71%	63%	67%
CON 04	57%	60%	59%
CON 05	64%	64%	64%
CON 06	8%	10%	9%
CON 07	12%	15%	13%
CON 08	11%	19%	15%
CON 09	7%	6%	6%
CON 14	6%	4%	5%
CON 16	43%	25%	34%

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

Figura 36. Gráfico comparativo de los porcentajes de utilización de cada máquina.



Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

De la anterior tabla y figura, se destaca que para los meses de estudio, en ninguna ocasión los porcentajes de utilización de las máquinas llegan al 100%, inclusive en ningún caso llegan a ser mayor del 80%. Se destacan las máquinas CON 01 y CON 03, cuyos valores están en promedio cercanos al 70%, la máquina CON 05,

cuyo valor es en promedio un 65%, y la máquina CON 04, cuyo valor está en un 60% aproximadamente.

Lo anterior, está indicando que probablemente la restricción no es del tipo física, es decir, que no se debe a restricciones relacionadas con la capacidad de las máquinas, lo que implica que la restricción está en el mercado, por lo que se realizarán, en la etapa de lidiando con los recursos de capacidad restrictiva (Sección 3.3) los perfiles de carga de estos meses para cada máquina, para evaluar otra perspectiva.

A pesar de existir restricciones de mercado, el cumplimiento en la entrega de los pedidos no es el adecuado, y esto es debido a que no existe una efectiva planeación y programación de la producción, y esto se evidencia en los perfiles de carga, por lo que se propone realizar el diseño de un sistema que permita realizar esta planeación y programación. Para estos casos, Goldratt propone que el tambor lo constituyen todos los pedidos existentes en la actualidad teniendo en cuenta las fechas de entrega que se pactaron previamente.

3.1.2 Determinación del amortiguador

Para que exista una efectiva liberación de material es preciso determinar el colchón de inventario en el sistema de modo que una acción no altere los niveles normales de stock en proceso ni que el recurso crítico quede inactivo. Este colchón en TOC es medido en tiempo y se denomina como Amortiguador, el cual está dado por el 50% del Lead Time actual.

Sin embargo, en las empresas metalmecánicas, los tiempos de fabricación de cada orden de producción son prácticamente únicos, pues la piezas fabricadas casi nunca se repiten, por lo que no es recomendable para estos casos determinar un amortiguador promedio, sino establecer rango de amortiguadores, de acuerdo

a los tiempos de fabricación estimados al aceptar la orden. A continuación, en la tabla 5 se muestra un resumen de los tiempos de fabricación para las órdenes de los meses bajo estudio

Tabla 5. Frecuencia (de órdenes) de los Lead times de Fabricación

# Días	Mayo	Junio	Total general
0	14	4	18
1	14	11	25
2	7	7	14
3	4	6	10
4	3	6	9
5	2	7	9
6	2	2	4
7		4	4
8		1	1
9		4	4
10	1	2	3
11	1		1
14	2		2
15	1		1
18	1		1
22	1		1
26	1		1
Total	54	54	108

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

En la anterior tabla, se evidencian órdenes que se entregan el mismo día, lo cual representa un 17%, también se muestra que aproximadamente el 23% de las ordenes se entregan al día siguiente.

Debido a lo anterior, se establecen tres rangos de órdenes, de acuerdo a la duración del Lead Time. Primero se encuentran las ordenes tipo 1, que son aquellas cuyo lead time se estima entre 0 y 1 día, las ordenes tipos 2, que son aquella que tienen un lead time entre 2 a 7 días, es decir menor a una semana, y las ordenes tipo 3, que son ordenes cuyo lead time supera una semana. Lo anterior se puede ver en el siguiente esquema:

Figura 37. Clasificación de los tipos de órdenes



Fuente: Autores del Proyecto

La anterior clasificación permite que cuando existan órdenes con igual o similar porcentaje de penetración, se prioricen aquellas cuyo lead time es menor, lo cual implica que existe un criterio adicional para decidir el orden de fabricación.

3.2 GERENCIANDO LAS PRIORIDADES

Dentro de toda organización, la secuencia de producción es un proceso crítico, ya que todos los departamentos actúan concerniente a su conveniencia y a la mejora de los resultados locales. En este modelo, el orden o secuenciación de las actividades está determinado por el porcentaje de consumo del amortiguador, el cual se establece a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Estado del Amortiguador}_i = \left[\frac{A_i - (FEP_i - FA)}{A_i} \right] \times 100\%$$

Donde,

A_i = Amortiguador de la orden i

FEP_i = Fecha de Entrega de Producción de la orden i

FA = Fecha Actual

El resultado de la aplicación de esta fórmula para cada uno de los pedidos, genera un valor que debe oscilar entre 0% a 100%, pero en algunos casos puede ser menor de 0%, o mayor de 100%, por lo que a continuación en la tabla se muestran los posibles rangos que puede tomar la variable y su respectiva explicación:

Tabla 6. Determinación del significado de penetración de cada orden de producción

COLOR	RANGO	SIGNIFICADO
	<0%	Esta es una orden que todavía debe esperar, pues no ha empezado a consumir absolutamente ningún valor de su amortiguador
	Entre 0% y 33%	Ordenes que si existe capacidad pueden ser liberadas, y se recomienda su observación
	Entre 33% y 67%	Ordenes que deben ya debieron ser liberadas, y que requieren de un monitoreo constante
	Entre 67% y 100%	Ordenes que deben ser agilizadas para que sean terminadas lo más pronto posible
	Mayor a 100%	Ordenes que no podrán ser entregadas a tiempo, pues ya se consumió su amortiguador en su totalidad, por lo que hay que renegociar con los clientes

Fuente: Marun, Jaime. MINOR EN TEORÍA DE RESTRICCIONES (1P:2008: Cartagena).
Memorias del Módulo TOC en operaciones. Universidad Tecnológica de Bolívar,
Cartagena, 2008

3.3 LIDIAR CON LOS RECURSOS DE CAPACIDAD RESTRICTIVA

Los recursos de capacidad crítica se han denominado en el ámbito de TOC como los cuellos de botella. Como ya se ha dicho antes, todo sistema complejo está basado en una simplicidad inherente; la complejidad de un sistema está dada por la cantidad de grados de libertad que tenga el sistema, en otras palabras depende del número de puntos en que se deba impactar para impactar el sistema, por lo que se determinarán los perfiles de carga.

Los perfiles de carga, se construyeron tomando como punto de partida la base de datos los meses de Mayo y Junio, en dónde cada día se determinó el porcentaje de utilización, a partir de la división entre la cantidad de horas trabajadas en esa máquina y la disponibilidad. Los perfiles de carga diario se pueden observar en las tablas 7 y 8.

Los perfiles de carga, muestran que las máquinas no son utilizadas en su totalidad todos los días, pero si se alcanza a evidenciar que existen máquinas cuyo carga de trabajo demuestra que son recursos restrictivos debido a que duran varios días consecutivamente siendo utilizadas al 100% de su capacidad.

Tabla 7. Perfil de Carga diario Mayo de 2009

Día	CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
02	100%	25%		44%	25%					94%	
04	100%		19%	100%		19%	19%				13%
05	100%	100%		100%	100%						
06	100%			100%	100%						
07	100%				47%						
08	100%	100%	25%		100%		81%	100%			72%
09		100%	100%		100%			32%			
11	100%	75%	100%		100%						100%
12	100%	50%	100%		100%						70%
13	100%		100%		100%						
14	100%	54%	100%								
15	100%		100%			33%					
16	10%		100%	100%	100%			50%	100%		100%
18			100%	100%	100%				13%		100%
19	50%	100%	100%	100%	64%						100%
20		25%	100%	100%	81%					19%	100%
21	100%	100%	100%	100%	100%			75%			100%
22	38%	19%	100%	100%	88%	31%		31%			100%
25			100%	100%	100%						100%
26	38%		100%	100%		100%	100%				75%
27	100%		100%	100%	73%	19%					
28	100%		100%	100%	84%		100%		63%		
29	100%	100%	100%	100%	58%					38%	69%
30	63%	38%	60%	13%	19%						

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

En el mes de Mayo, se destacan: la máquina CON 03, la cual dura 17 días consecutivamente trabajando al 100%; también la máquina CON 01, que dura 6 y 5 días trabajando consecutivamente durante las semanas 1 y 2 respectivamente; y la máquina CON 04, que trabaja durante 11 días al máximo de su capacidad.

Tabla 8. Perfil de Carga diario Junio de 2009

Día	CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
02			13%		34%						
03	44%	31%	100%								63%
04		25%	25%		100%						
06	25%		100%		100%		13%				50%
08	100%		100%	100%	47%			44%	16%		63%
09	63%	25%	100%	75%							
10	100%	94%	100%	100%	75%	50%	31%		31%		19%
11	100%	31%	100%	100%	100%						
12	100%		100%	75%	72%		100%				
13	100%	34%	75%		75%			88%	31%		
15	100%			100%	100%				38%		
16	100%	94%	100%	100%	100%	50%		44%			
17	100%		100%	19%	100%		81%	44%	38%	50%	100%
19	100%	88%	100%		25%						100%
21	100%	38%	56%			75%	38%				50%
22	100%		94%	100%	63%						
23	100%		84%	81%	31%			100%			
24	100%	100%	75%	100%	100%	53%		31%			
25	100%	100%	38%	100%							
26	100%	22%		81%	100%		44%	94%		63%	
27	100%	84%		100%	100%	31%		38%			100%
28	63%	38%		100%	100%						94%
29		50%	100%	100%	100%		66%				
30			59%	100%	100%						

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

Durante el mes de Junio, el único comportamiento a destacar realmente, lo muestra la máquina CON 01, la cual a partir de la segunda hasta la tercera semana, trabaja durante 15 días al máximo de su capacidad. Lo anterior, permite concluir que hay que prestarle mucha atención cuando se esté realizando la programación de la producción a los recursos CON 01, CON 03, y CON 04, logrando que la programación no exceda su capacidad en grandes proporciones.



**CAPÍTULO 4.
DISEÑO DE LA
HERRAMIENTA
COMPUTACIONAL DE
PLANEACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN**

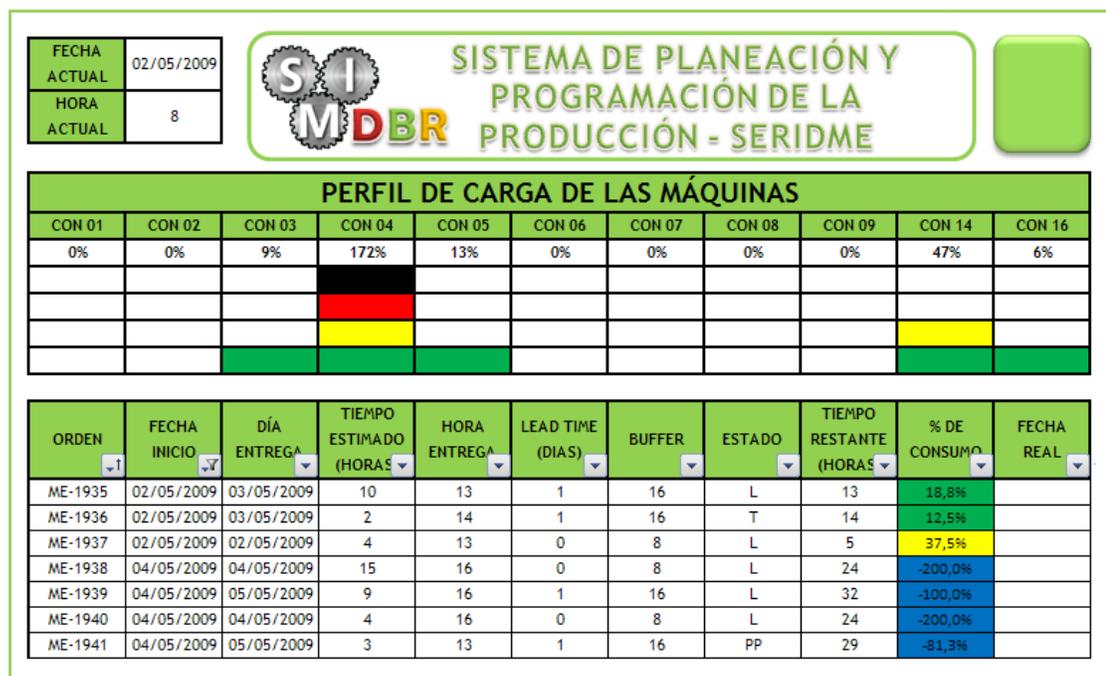


4. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Luego de haber analizado los diferentes procesos existentes en la compañía e identificado aquellos elementos restrictivos que están limitando el logro del objetivo primordial de la empresa bajo estudio, el siguiente paso lo constituye como se plantea en el árbol de la realidad actual atacar la siguiente causa principal *“No hay un sistema integral que permita hacer una mejor programación y visualización del avance de cada pedido”*, por lo que se propone el diseño de una herramienta computacional que permita realizar una planeación y programación más acertada, y esto se hará tomando como base los principios de la Teoría de Restricciones, a través de su solución de Operaciones y su Sistema DBR.

La herramienta computacional que se propone se denomina SIM-DBR, en cual es un programa interactivo construido en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2007 ®, la cual contiene la información necesaria para realizar un correcta planeación y programación de la producción. El esquema se puede ver en la figura 38.

Figura 38. Esquema del sistema propuesto de planeación y programación de la producción



Fuente: Autores del Proyecto

El sistema propuesto consta básicamente de dos partes, la primera, corresponde a la información que relaciona cada una de las diferentes órdenes de producción, y la segunda lo constituye el perfil de carga de cada una de las máquinas.

Para cada una de las órdenes se tiene la información que se muestra en la figura 39. La descripción de cada ítem, se muestra posteriormente a la figura.

Figura 39. Datos a ingresar de cada orden de producción

ORDEN	FECHA INICIO	DÍA ENTREGA	TIEMPO ESTIMADO (HORAS)	HORA ENTREGA
ME-1935	02/05/2009	03/05/2009	10	13
ME-1936	02/05/2009	03/05/2009	2	14
ME-1937	02/05/2009	02/05/2009	4	13
ME-1938	04/05/2009	04/05/2009	15	16
ME-1939	04/05/2009	05/05/2009	9	16
ME-1940	04/05/2009	04/05/2009	4	16
ME-1941	04/05/2009	05/05/2009	3	13

Fuente: Autores del Proyecto

- ✓ **ORDEN:** Corresponde al consecutivo asignado por producción a medida que van llegando las ordenes.
- ✓ **FECHA DE INICIO:** Corresponde la fecha en que llegó la orden a la empresa.
- ✓ **DÍA ENTREGA:** Corresponde a la fecha en que se pactó con el cliente la entrega de su pedido.
- ✓ **TIEMPO ESTIMADO (HORAS):** Corresponde al tiempo estimado de duración de la orden, el cual es la sumatoria de los tiempos de duración en cada una de las máquinas que requiere.
- ✓ **HORA ENTREGA:** Corresponde a la hora exacta pactada con el cliente en la cual se debe entregar el producto final.

Automáticamente, el sistema calcula los ítems que se muestran en la figura 39, los cuales corresponden a los siguientes criterios:

- TIEMPO PROMETIDO:** Diferencia entre la fecha de entrega pactada y la fecha de ingreso de la orden.
- BUFFER:** Corresponde al tamaño del amortiguador, el cual está dado en horas.
- ESTADO:** Corresponde al estado actual de la orden, el cual puede ser PP: Por programar, L: Liberado, es decir que la orden ya está siendo procesada, y T: Terminado, que implica que la orden ya fue completamente terminada.
- TIEMPO RESTANTE:** Es un valor que calcula el tiempo (en horas) que faltan para que se cumpla con la fecha pactada, y corresponde a la diferencia entre la fecha (incluida la hora exacta) y la fecha actual. En la figura 40, se muestra el campo dónde se tiene la fecha y hora actual.

Figura 40. Campo para la fecha y hora actual

FECHA ACTUAL	02/05/2009
HORA ACTUAL	8

Fuente: Autores del Proyecto

- % de CONSUMO:** Corresponde al porcentaje de consumo del amortiguador designado para cada orden de producción, el cual puede tomar alguno de los valores que se muestran en la tabla 6.
- FECHA REAL:** Constituye la fecha real de entrega al cliente, la cual sirve para realizar los cálculos de la existencia o no de atrasos en los pedidos.

Figura 41. Datos calculados por el Sistema

LEAD TIME (DIAS)	BUFFER	ESTADO	TIEMPO RESTANTE (HORAS)	% DE CONSUMO	FECHA REAL
1	16	L	13	18,8%	
1	16	T	14	12,5%	
0	8	L	5	37,5%	
0	8	L	24	-200,0%	
1	16	L	32	-100,0%	
0	8	L	24	-200,0%	
1	16	PP	29	-81,3%	

Fuente: Autores del Proyecto

Adicionalmente, el sistema cuenta con una segunda parte que permite visualizar la carga de trabajo planeada de cada una de las máquinas, lo que permite establecer un sistema de comunicación con la liberación de las ordenes, y esto es lo que se denomina en el Sistema DBR: la cuerda. Lo anterior, puede verse en la figura 42.

Figura 42. Perfil de carga de las máquinas

PERFIL DE CARGA DE LAS MÁQUINAS										
CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
0%	0%	9%	172%	13%	0%	0%	0%	0%	47%	6%

Fuente: Autores del Proyecto

Para cada una de las máquinas se ha determinado un horizonte de planeación de 3 días, lo que implica que sólo es posible asignar órdenes y calcular la carga de trabajo en un horizonte no mayor a 24 horas.

Si se desea ver en detalle cómo es la programación, en la misma hoja de Excel se ve la carga detallada para cada máquina, en la cual se calcula el número de horas planeadas, tomando como base la duración estimada.

Figura 43. Carga detalla de las órdenes liberadas.

	CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
					2					8	
			4								
		2	12								1
			9								
			4								

Fuente: Autores del Proyecto

4.1 EJEMPLO DEL FUNCIONAMIENTO DE SIM-DBR

Se simulará el funcionamiento del sistema, empezando el día 02/05/2009, en dónde se tienen tres órdenes de producción: ME-1935, ME-1936, ME-1937. Para cada orden se ha pactado una fecha y hora específica de entrega, y el pantallazo inicial se muestra en la figura 44.

Figura 44. Esquema Inicial

FECHA ACTUAL	02/05/2009	 SISTEMA DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN - SERIDME 								
HORA ACTUAL	8									
PERFIL DE CARGA DE LAS MÁQUINAS										
CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ORDEN	FECHA INICIO	DÍA ENTREGA	TIEMPO ESTIMADO (HORAS)	HORA ENTREGA	LEAD TIME (DIAS)	BUFFER	ESTADO	TIEMPO RESTANTE (HORAS)	% DE CONSUMO	FECHA REAL
ME-1935	02/05/2009	03/05/2009	10	13	1	16	PP	13	18,8%	
ME-1936	02/05/2009	03/05/2009	2	14	1	16	PP	14	12,5%	
ME-1937	02/05/2009	02/05/2009	4	13	0	8	PP	5	37,5%	

Fuente: Autores del Proyecto

Lo primero que se hace es realizar la priorización de las órdenes de acuerdo al porcentaje de penetración, lo cual se hace con el botón verde que se encuentra en la parte superior del sistema. Al presionarlo, automáticamente se ejecuta una macro previamente programada que realiza la organización de las órdenes.

Figura 45. Botón de priorización



Fuente: Autores del Proyecto

Lo anterior, produce el siguiente cambio en la asignación de las órdenes:

Figura 46. Cambios en la priorización de las órdenes

ME-1935	18,8%
ME-1936	12,5%
ME-1937	37,5%

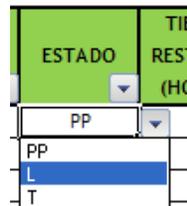


ME-1937	37,5%
ME-1935	18,8%
ME-1936	12,5%

Fuente: Autores del Proyecto

Debido a que la orden ME-1937 tiene un porcentaje de consumo del amortiguador del 37.5%, esta orden es la que debe realizarse de primera, por lo tanto se debe hacer la asignación, y cambiar en el sistema de PP (Por Programar) a L (Liberada).

Figura 47. Cambio en el estado de las órdenes



Fuente: Autores del Proyecto

Al liberar esta orden, el sistema automáticamente calcula la carga de trabajo de esa orden, y asigna las horas a la máquina correspondiente. En el presente caso, se evidencia que se asignan 4 horas a la máquina CON-04.

Figura 48. Evidencia de la asignación a la máquina luego del cambio

CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
			4							

Fuente: Autores del Proyecto

Automáticamente en el pantallazo principal, el perfil de carga planeada, aumenta, en este caso un 15% para la CON 04.

Figura 49. Cambio en el perfil de carga, luego de la asignación

PERFIL DE CARGA DE LAS MÁQUINAS										
CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
0%	0%	0%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fuente: Autores del Proyecto

Luego como la carga planeada de las máquinas no está excedida, se pueden seguir programando las siguientes ordenes, de acuerdo al porcentaje de penetración. En el siguiente pantallazo se puede observar que todas las ordenes han sido cambiadas al estado "L" (Liberadas), y los perfiles de carga de las máquinas CON 02, CON 04, CON 05 y CON 14, se han modificado, y se han asignado los valores respectivos en el detalle de cada máquina como se muestra en la figura 50.

Figura 50. Cambios luego de la asignación completa de las órdenes

FECHA ACTUAL	02/05/2009
HORA ACTUAL	8

SISTEMA DE PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN - SERIDME

PERFIL DE CARGA DE LAS MÁQUINAS										
CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
0%	8%	0%	15%	8%	0%	0%	0%	0%	31%	0%

ORDEN	FECHA INICIO	DÍA ENTREGA	TIEMPO ESTIMADO (HORAS)	HORA ENTREGA	LEAD TIME (DIAS)	BUFFER	ESTADO	TIEMPO RESTANTE (HORAS)	% DE CONSUMO	FECHA REAL
ME-1937	02/05/2009	02/05/2009	4	13	0	8	L	5	37,5%	
ME-1935	02/05/2009	03/05/2009	10	13	1	16	L	13	18,8%	
ME-1936	02/05/2009	03/05/2009	2	14	1	16	L	14	12,5%	

CON 01	CON 02	CON 03	CON 04	CON 05	CON 06	CON 07	CON 08	CON 09	CON 14	CON 16
			4						8	
	2			2						

Fuente: Autores del Proyecto

4.2 COMPARACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO CON EL SISTEMA ACTUAL

Para poder comparar los resultados que se obtendrían con la implementación del sistema propuesto, se tomaran como base los pedidos realizados durante los meses de Mayo y Junio. Lo que se hará será realizar la simulación de la planeación y programación de la producción, teniendo en cuenta que se conocen todos los valores necesarios, y el dato principal que se tomará será la fecha de terminación que se hubiese obtenido si se hubiese realizado esta labor a través de este software.

Para poder realizar la comparación, en la tabla 9, se muestra el resumen de la cantidad de pedidos ubicados en las tres posibles clasificaciones (TA, J, A) y en la tabla 10 se muestra la composición porcentual, ambas tablas muestran los datos reales, los cual resultan del modelos actual de planeación y programación de la producción sin tener en cuenta la Teoría de Restricciones.

Cada pedido se clasificó en alguna de las siguientes clasificaciones:

- TA (Terminados antes de tiempo):** Corresponden a pedidos que fueron terminados antes de la fecha pactada, por lo que en la columna días de atraso, los valores negativos indican el número de días que se terminaron antes.

- ☑ **J (Justos)**: Indican los pedidos que se entregaron exactamente el mismo día en el que se pactó su fecha de entrega con el cliente, y el número de días de atraso se representa por el valor de 0.
- ☑ **A (Atrasados)**: Corresponden a los pedidos que no fueron entregados en la fecha que se pactó con el cliente, el valor numérico indica el número de días de atraso.

Tabla 9. Número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009)

CLASIFICACIÓN	Días de atraso	Mayo	Junio	Total general
TA	-10	1		1
	-7	2		2
	-6		2	2
	-5		2	2
	-4		1	1
	-3	4	6	10
	-2	4	5	9
	-1	9	15	24
J	0	29	20	49
A	1	2	2	4
	2	1	1	2
	12	2		2
Total general		54	54	108

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

Tabla 10. Composición Porcentual de acuerdo al número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009)

CLASIFICACIÓN	Días de atraso	Mayo	Junio	Total general
TA	-10	1,85%	0,00%	0,93%
	-7	3,70%	0,00%	1,85%
	-6	0,00%	3,70%	1,85%
	-5	0,00%	3,70%	1,85%
	-4	0,00%	1,85%	0,93%
	-3	7,41%	11,11%	9,26%
	-2	7,41%	9,26%	8,33%
	-1	16,67%	27,78%	22,22%
Total TA		37,04%	57,41%	47,22%
J	0	53,70%	37,04%	45,37%
Total J		53,70%	37,04%	45,37%
A	1	3,70%	3,70%	3,70%
	2	1,85%	1,85%	1,85%
	12	3,70%	0,00%	1,85%
Total A		9,26%	5,56%	7,41%

Fuente: Construido por los autores a partir de la base de datos

De acuerdo a las tablas 9 y 10, se observa principalmente que para los meses tenidos en cuenta, se destacan en el mes de Mayo 3 pedidos que se terminaron antes de la fecha pactada, de los cuales, un (1) pedido fue terminado 1 días antes, y dos (2) pedidos fueron terminados 7 días antes de la fecha planeada.

Adicionalmente, se destacan 5 pedidos en el mes de Mayo, de los cuales 2 fueron terminados un (1) día después, lo que representa un 3.7% del total de pedidos; un pedido fue terminado y entregado 2 días después, lo que represente un 1.85%, y algo bastante grave resultan los dos (2) pedidos que se entregaron 12 días después de la fecha pactada, que representan un 3.7% del total, lo que significa que el 9.26% de los pedidos fueron entregados atrasados.

Para el mes de Junio, el comportamiento de los pedidos atrasados mejoró con respecto al mes anterior, debido a que un 5.56% de los pedidos fueron entregados atrasados, en donde dos pedidos se entregaron un día después, y un pedido dos días después.

Cómo se manifestó inicialmente, se hizo uso del software propuesto, y se realizó la simulación de los pedidos para los meses de Mayo y Junio, y se obtuvieron los resultados que se muestran en las tablas 11, y 12.

Tabla 11. Número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009) de acuerdo a la simulación en el sistema SIM-DBR

CLASIFICACIÓN	Días de atraso	Mayo	Junio	Total general
TA	-13	1		1
	-12	1		1
	-11	2		2
	-10	2		2
	-7	2	2	4
	-6		2	2
	-5		3	3
	-4	1	4	5
	-3	1	5	6
	-2	4	7	11
-1	11	13	24	
J	0	28	18	46
A	1	1		1
Total general		54	54	108

Fuente: Autores del Proyecto, de acuerdo a la simulación en el Sistema SIM-DBR

De acuerdo a la simulación realizada, de los 54 pedidos que se realizaron en Mayo, se hubiesen entregado un 46.3% de los pedidos antes de la fecha pactada inicialmente, en dónde 4 pedidos se hubiesen terminado dos días antes y 11 pedidos un día antes; el 51.85% de los pedidos, que corresponden a 28 pedidos, se hubiesen entregado el día de la fecha acordada, y tan sólo un pedido no hubiese podido entregarse a tiempo y se hubiese entregado el día siguiente.

Tabla 12. Composición Porcentual de acuerdo al número de pedidos de acuerdo al número de días de retraso (Mayo – Junio de 2009) de acuerdo a la simulación en el sistema SIM-DBR

CLASIFICACIÓN	Días de atraso	Mayo	Junio	Total general
TA	-13	1,85%	0,00%	0,93%
	-12	1,85%	0,00%	0,93%
	-11	3,70%	0,00%	1,85%
	-10	3,70%	0,00%	1,85%
	-7	3,70%	3,70%	3,70%
	-6	0,00%	3,70%	1,85%
	-5	0,00%	5,56%	2,78%
	-4	1,85%	7,41%	4,63%
	-3	1,85%	9,26%	5,56%
	-2	7,41%	12,96%	10,19%
-1	20,37%	24,07%	22,22%	
Total TA		46,30%	66,67%	56,48%
J	0	51,85%	33,33%	42,59%
Total J		51,85%	33,33%	42,59%
A	1	1,85%	0,00%	0,93%
Total A		1,85%	0,00%	0,93%

Fuente: Autores del Proyecto, de acuerdo a la simulación en el Sistema SIM-DBR

Los pedidos que se terminaron atrasados el mes de Mayo se muestran a continuación, en la tabla 13. En dicha tabla, se muestra para cada pedido, la fecha pactada, la fecha real de terminación y la fecha de terminación luego de la simulación.

Tabla 13. Resumen de Pedidos Atrasados de Mayo de 2009, y comparación con los resultados de la simulación

Orden	F. Pactada	F. Real	F. Simulada
ME-1953	12/05/2009	13/05/2009	12/05/2009
ME-1947	07/05/2009	08/05/2009	07/05/2009
ME-1954	01/06/2009	03/06/2009	21/05/2009
ME-1968	20/05/2009	01/06/2009	20/05/2009
ME-1955	14/05/2009	26/05/2009	15/05/2009

Fuente: Autores del Proyecto, de acuerdo a la simulación en el Sistema SIM-DBR

Esta tabla nos demuestra, que los primeros 4 pedidos, se hubiesen terminado dentro de las fechas pactadas, y aunque el pedido ME-1955, no se hubiese entrega dentro del plazo, con el sistema DBR, sólo se hubiese atrasado un día, puesto que se hubiese entregado el 15 de Mayo, y no el 26 de Mayo como ocurrió en realidad.

Adicionalmente, en la tabla 14, se muestra el resumen de los pedidos atrasados el mes de Junio, y se puede mostrar que los tres pedidos que se entregaron atrasados, se hubiesen entregados en las fechas pactadas.

Tabla 14. Resumen de Pedidos Atrasados de Junio de 2009, y comparación con los resultados de la simulación

Orden	F. Pactada	F. Real	F. Simulada
ME-2042	02/07/2009	03/07/2009	02/07/2009
ME-2010	12/06/2009	13/06/2009	11/06/2009
ME-2022	24/06/2009	26/06/2009	23/06/2009

Fuente: Autores del Proyecto, de acuerdo a la simulación en el Sistema SIM-DBR

En la tabla 15, se muestra un resumen comparativo de la composición porcentual de cada tipo de pedido y en la figura 51, una representación gráfica de lo mismo.

Tabla 15. Comparación porcentual entre los resultados reales y los resultados de la simulación

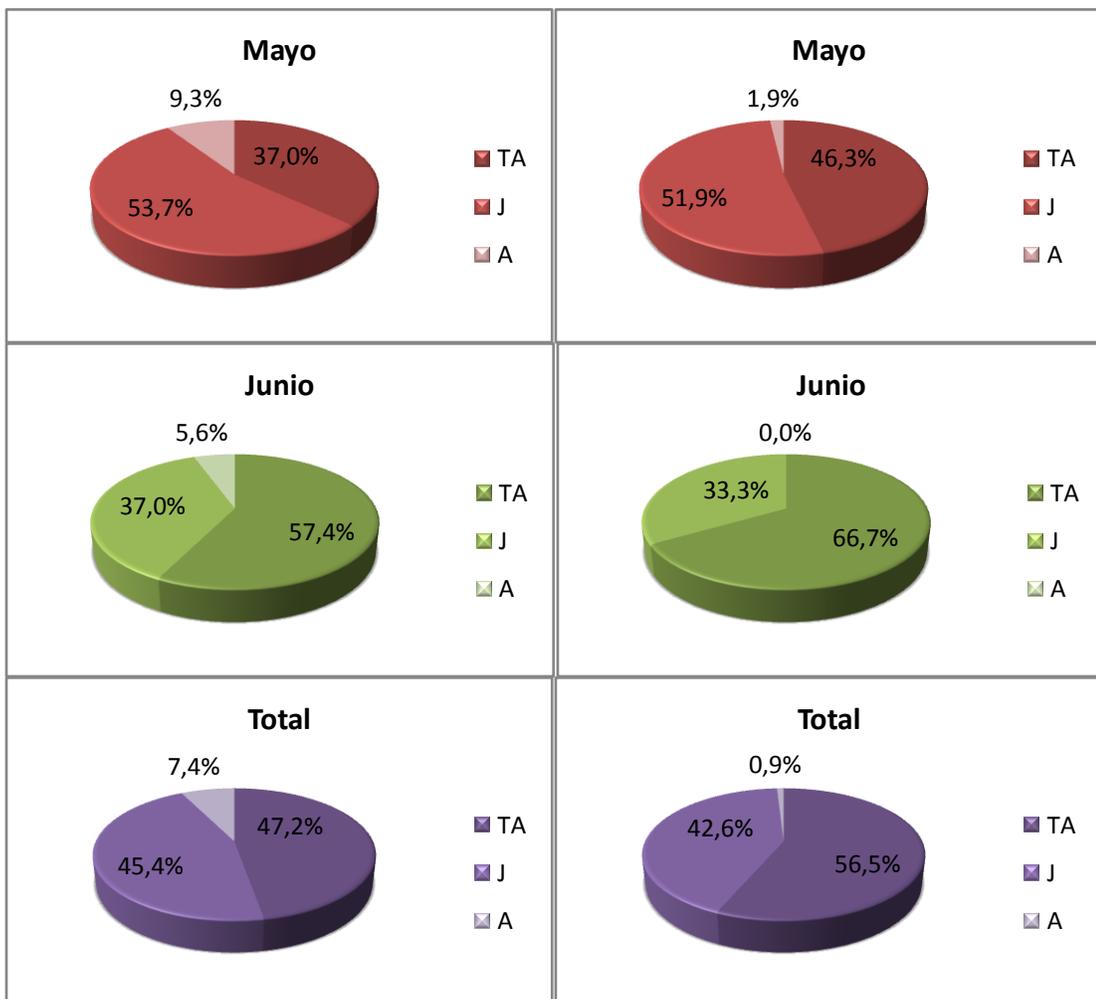
Clasificación	Resultados Reales			Resultados de la Simulación		
	Mayo	Junio	Total	Mayo	Junio	Total
TA	37,04%	57,41%	47,22%	46,30%	66,67%	56,48%
J	53,70%	37,04%	45,37%	51,85%	33,33%	42,59%
A	9,26%	5,56%	7,41%	1,85%	0,00%	0,93%

Fuente: Autores del Proyecto, de acuerdo a la simulación en el Sistema SIM-DBR

En ella se muestra que para el mes de Mayo el cumplimiento de la entregas fue del 90.74% (37.04 +53.70) y si se hubiese aplicado el sistema DBR, este malo hubiese sido de 98.15% (46.30+51.85), lo que indica una mejoría de 7.41 puntos

porcentuales. Para el mes de Junio, en el cual el cumplimiento fue del 94.44% (57.41+37.04), este hubiese sido del 100%

Figura 51. Gráfica de la comparación porcentual entre los resultados reales y los resultados de la simulación



Fuente: Autores del Proyecto, de acuerdo a la simulación en el Sistema SIM-DBR

CONCLUSIONES

El cumplimiento en las fechas de entrega pactadas con los clientes, es uno de los aspectos claves en la sobrevivencia y en el crecimiento de una empresa sin importar el producto que fabrican o el servicio que ofrecen. Para la empresa objeto de esta investigación, esto no es la excepción, debido a que en su planeación estratégica pretenden convertirse en la empresa líder en el sector metalmeccánico en la Costa Atlántica, y así poder a partir del 2011 comenzar a conquistar otros mercados en las diferentes regiones del país.

Para poder lograr este mejoramiento en el desempeño en las entregas, se decidió diseñar el proceso de planeación y programación de la producción, a través de una metodología basada en la aplicación de la lógica común, que permite obtener resultados en el corto plazo y perdurables en el tiempo, pues se preocupa por atacar las restricciones del sistema que están impidiendo en cumplimiento de la meta principal de toda empresa: *producir dinero ahora y en el futuro*.

Inicialmente se describió y diagnosticó la situación actual de la compañía, a través de la identificación de las principales causas que no permiten entregar los pedidos a tiempo. Esto se hizo a través de la realización de una lluvia de ideas, en donde se determinaron las ideas principales, con las que se construyó el árbol de la realidad actual, el cual permitió concluir que el factor que mayor impacto produce en el incumplimiento de los pedidos lo constituye la inexistencia de un sistema integrar que permitiera hacer una mejor programación y visualización del avance de cada pedido.

Debido a lo anterior, se propuso un nuevo esquema de planeación y programación de la producción, tomando como base los lineamientos de la Teoría de Restricciones a través de la solución de Operaciones, y el sistema DBR, cuyos

pasos fueron estrangular la materia prima, gerenciar las prioridades y finalmente lidiar con los recursos de capacidad restrictiva.

Al estrangular la materia prima, se buscó determinar quién sería en tambor del sistema DBR, el cual es la restricción del sistema, y a través de un análisis de las capacidades y la utilización de cada recurso, se llegó a la conclusión que ninguno de los recursos (máquinas) constituyen una restricción física, lo que implica que la restricción del sistema se encuentra en el mercado. Sin embargo se identificaron algunos recursos de capacidad restrictiva con los cuales hay que tener mucho cuidado, y estos son las máquinas CON 01 y CON 03, cuyos valores están en promedio cercanos al 70%, la máquina CON 05, cuyo valor es en promedio un 65%, y la máquina CON 04, cuyo valor está en un 60% aproximadamente.

Al definir el amortiguador del sistema, fue necesario la clasificación de los tipos de órdenes, pues no era consecuente comparar una orden que tenía un tiempo de fabricación que permitía ser entrega el mismo día con órdenes que duraban hasta dos o tres semanas. Lo anterior permitió definir diferentes amortiguadores dependiendo del tipo de orden, y a priorizar las órdenes con tiempos de fabricación menor, cuando los porcentajes de penetración de los amortiguadores fueran similares, lo que hizo posible la definición de los lineamientos para la determinación de las prioridades en planta, y de esta manera determinar el orden en que deben procesarse cada uno de los pedidos en cada una de las máquinas.

Finalmente, los resultados de la investigación se materializaron en la construcción de una herramienta computacional, que permite realizar una planeación y programación de la producción más acertada que el modelo actual. Dicha herramienta sirvió para simular el proceso, y se llegó a la conclusión que el sistema propuesto SIM-DBR, mejora notablemente el desempeño en las entregas, el cual es el objetivo principal de esta investigación, con lo cual se demostró la viabilidad de la aplicación de este sistema.

Dicho sistema, si se hubiese implementado antes de los meses de comparación, hubiese permitido para el mes de Mayo la entrega del 98,1% de los pedidos a tiempos, y el único pedido atrasado, se hubiese entregado tan sólo un día después de la fecha pactada, y no 12 días como sucedió en la realidad. Y para el mes de Junio, hubiese permitido la entrega en un 100% de todos los pedidos, sin incurrir en horas extras.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ ACEVEDO CHEDID, Jaime. En MINOR EN TEORÍA DE RESTRICCIONES (1°:2008: Cartagena). Memorias del módulo Seminario de Investigación. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, 2008.
- ✓ GOLDRATT, Eliyahu M. El síndrome del pajar: cómo extraer información del océano de datos. Castillo, México D.F. 2002.
- ✓ GOLDRATT, Eliyahu M. La carrera. Castillo, México D.F. 1998. Segunda edición.
- ✓ GOLDRATT, Eliyahu M. La meta: Un proceso de mejora continua. Castillo, Bogotá D.C.1993.
- ✓ MARÚN CHAJÍN, Jaime Enrique. Módulo de operaciones. En MINOR DE TEORÍA DE RESTRICCIONES (1°:2008: Cartagena). Memorias del módulo de Operaciones del Minor de Teoría de Restricciones. Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena, 2008.
- ✓ GONZÁLEZ, José Arturo. ORTEGÓN, Katherine. RIVERA, Leonardo. Desarrollo de una metodología de implementación de los conceptos de TOC (Teoría de restricciones), para empresas colombianas (2003). [En línea]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/eg/v19n87/v19n87a02.pdf>
- ✓ MORALES, Julián Augusto. Propuesta para implementar un sistema de programación de la producción, bajo teoría de restricciones, en una empresa de artes gráficas. Universidad de Antioquia, Medellín 2006. [En línea]. Disponible en http://cybertesis.udea.edu.co/udea/2006/julian_m/html/index-frames.html