

APLICACION DE LA TEORIA DE RESTRICCIONES PARA LOS PROBLEMAS  
DE PRODUCCION EN EL CONSTRUCTOR

JUAN ELIAS CURE CORDERO

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
INGENIERIA INDUSTRIAL  
MINOR DE LOGISTICA EMPRESARIAL  
CARTAGENA DE INDIAS  
2006

APLICACION DE LA TEORIA DE RESTRICCIONES PARA LOS PROBLEMAS  
DE PRODUCCION EN EL CONSTRUCTOR

JUAN ELIAS CURE CORDERO

MONOGRAFIA

INGENIERO JAIME ACEVEDO CHEDID

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
INGENIERIA INDUSTRIAL  
MINOR DE LOGISTICA EMPRESARIAL  
CARTAGENA DE INDIAS  
2006

## RESUMEN

La investigación “Aplicación de Teoría de Restricciones a los Problemas de Producción de El Constructor” tiene como objeto realizar un completo análisis al sistema de producción, con el fin de identificar las causas que están generando problemas en dicha planta. Todo el análisis realizado se fundamenta en las directrices establecidas por la Teoría de Restricciones.

Luego de la aplicación de Teoría de Restricciones se procura mantener la aplicación continua de la misma, así a través de su aplicación se puede identificar en que parte de la planta de producción de El Constructor se encuentra un problema, que lo genera, como eliminarlo y de que manera gerenciar la planta para asegurar que el problema no se presente nuevamente.

Dentro de los resultados relevantes del proyecto se tienen:

- La restricción del sistema de producción en El Constructor, se encuentra en el proceso de producción de varillas o trefilado
- Todos los recursos económicos y físicos que se vayan a invertir en la planta de producción de hierro de El Constructor, deben ser destinados para el proceso del trefilado en las líneas #2 y #3.
- Aunque para la Teoría de Restricciones las eficiencias locales no deben ser lo más importante en la planta de producción de El constructor, dichas eficiencias no se pueden descuidar ya que si se hace se podría crear una restricción en otro punto.
- En la planta de producción el tambor (restricción) es aplicado al proceso del trefilado y los procesos de enderezado y cortado se ven obligados a trabajar a su ritmo.

- La cuerda asegurara que el amortiguador siempre se encuentre en su nivel mas alto y garantizara que el trefilado siempre se encuentre trabajando.
- El amortiguador asegurara que la restricción se encuentre trabajando cuando Murphy ataque.
- Cambiar las políticas actuales de utilización de la línea #1, con el fin de liberar trabajo en las trefiladoras #2 y #3 y así mejorar la productividad global de la planta.
- Capacitar al personal del Constructor desde los altos niveles gerenciales, hasta el nivel de los operarios en la planta, acerca las políticas, parámetros, principios, aplicación y beneficios que trae la aplicación de la Teoría de Restricciones en los problemas de producción de su planta.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	3
TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
INTRODUCCION	10
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	13
1.1 UBICACIÓN	13
1.2 RESEÑA HISTORICA	13
1.3 MISION	14
1.4 VISION	14
1.5 QUIENES SOMOS	14
1.6 CLIENTES	15
1.7 PROVEEDORES	15
1.8 ORGANIZACION ADMINISTRATIVA	16
1.9 PROCESOS PRODUCTIVOS	17
1.10 SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	17
2. ANALISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE VARILLAS DE HIERRO EN EL CONSTRUCTOR	19
2.1 ETAPAS DEL PROCESO	19
2.2 PUESTOS DE TRABAJO	23
2.3 RECURSOS DISPONIBLES	24
2.3.1 Recursos físicos	24
2.3.2 Recursos humanos	25
2.4 COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DE VARILLAS DE	

HIERRO	26
2.5 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	40
2.5.1 Tiempos de producción	40
2.5.2 Cuellos de botella y tiempos de ciclo	40
2.5.3 Capacidad de producción	45
2.6 PLANEACION AGREGADA ACTUAL	53
3. APLICACIÓN DE TEORIA DE RESTRICCIONES	61
3.1 GENERALIDADES DE TEORÍA DE RESTRICCIONES	61
3.2 DIAGRAMA Y ANÁLISIS DE LA NUBE DEL CASO	69
3.3 DIAGRAMA DE LA FILOSOFÍA ADMINISTRATIVA DE TEORÍA DE RESTRICCIONES	71
3.4 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA RAÍZ Y EFECTOS INDESEABLES	71
4 ESCENARIOS	74
4.1 DEFINICION DE ESCENARIOS	74
4.2 NIVEL DE POSIBILIDAD DE CADA ESCENARIO Y SELECCIÓN DEL MISMO	77
4.3 APLICACIÓN DE LOS 5 PASOS DE FOCALIZACION	79
4.3.1 Identificar la restricción	79
4.3.2 Definir como explotar la restricción	83
4.3.3 Subordinar todo a la decisión anterior	86
4.3.4 Elevar la restricción	87
4.3.5 Volver al paso 1 evitando la inercia	87
4.4. TAMBOR, CUERDA Y AMORTIGUADOR	87
4.4.1 Definición y descripción del tambor de la planta	87
4.4.2 Identificación y ubicación de la cuerda	88
4.4.3 Calculo y aplicaciones del amortiguador	89
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92



## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>TABLA 1,</b> Ventas de varillas del primer semestre del año 2004	27
<b>TABLA 2,</b> Ventas de varillas del primer semestre del 2005	28
<b>TABLA 3,</b> Porcentaje de participación de otras especificaciones venta de varillas primer semestre del 2004	28
<b>TABLA 4,</b> Porcentaje de participación de otras especificaciones venta de varillas primer semestre del 2005	29
<b>TABLA 5,</b> Porcentaje promedio de participación de otras especificaciones venta de varillas primer semestre del 2004 – 2005	29
<b>TABLA 6,</b> Tiempos de procesos de producción de varillas	40
<b>TABLA7,</b> Demanda de varillas según pronóstico para el primer periodo del 2006	53
<b>TABLA 8,</b> Nivel de ventas para escenario pesimista	75
<b>TABLA 9,</b> Nivel de ventas para escenario normal	76
<b>TABLA 10,</b> Nivel de ventas para escenario optimista	76
<b>TABLA 11,</b> Puntuación de escenarios para selección	79
<b>TABLA 12,</b> Tiempo requerido por cada etapa del proceso para satisfacer la demanda	82
<b>TABLA 13,</b> Calculo de amortiguador inicial según cada especificación	90

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>FIGURA 1</b> , Estructura organizacional almacén el constructor	16
<b>FIGURA 2</b> , Cursograma sinóptico del proceso de trefilado	21
<b>FIGURA 3</b> , Diagrama de recorrido proceso de trefilado	22
<b>FIGURA 4</b> , Cursograma analítico proceso de trefilado	23
<b>FIGURA 5</b> , Comportamiento de las ventas de varillas otras especificaciones primer semestre 2004	30
<b>FIGURA 6</b> , Comportamiento de las ventas de varillas otras especificaciones primer semestre 2005	30
<b>FIGURA 7</b> , Comportamiento de las ventas de varilla de 5.5m.m primer semestre 2004	31
<b>FIGURA 8</b> , Comportamiento de las ventas de varilla de 5.5m.m primer semestre 2005	32
<b>FIGURA 9</b> , Comportamiento de las ventas varillas otras especificaciones pronóstico primer semestre 2006	39
<b>FIGURA 10</b> , Comportamiento de las ventas varillas de 5.5m.m pronóstico primer semestre 2006	39
<b>FIGURA 11</b> , Diagrama de la nube caso proceso productivo de varillas en El Constructor	70
<b>FIGURA 12</b> , Diagrama de la filosofía administrativa del TOC caso proceso productivo de varillas en El Constructor	73
<b>FIGURA 13</b> , Ubicación de la cuerda en la planta	89

## INTRODUCCIÓN

La teoría de restricciones – TOC (Theory of Constrain) fue creada por el científico israelí Elyahu M. Goldratt, y ha ayudado a las empresas, mediante su aplicación, a resolver problemas tales como: altos niveles de inventarios, altos niveles de expeditación, largos tiempos de entrega, poco flujo de caja y lo mas impórtate a reconocer que los óptimos locales no representan un optimo global, representando en sus plantas de producción pensamientos que restringen la obtención de una de sus principales metas, la de “GANAR DINERO”.

Esto ocurre debido a que TOC se enfoca en atacar el problema directamente en el punto que esta obstaculizando el rendimiento del sistema, denominándolo la restricción. Para el TOC, la restricción se convierte en el foco donde se deben realizar todos los esfuerzos, sin descuidar las demás etapas del proceso, ya que si se realizan mejoras en puntos distintos a la restricción las mejoras no contribuyan al optimo general de la compañía de igual manera, simplemente contribuirán a óptimos locales que aportan poco a nivel general.

Para los procesos metalmecánicos, “Una cadena de metal se romperá por su eslabón mas débil y para fortalecerla hay que fortalecer dicho eslabón”. Como una analogía, la restricción de un sistema es igual al eslabón mas débil de la cadena y por esto no tiene sentido fortalecer un punto distinto a la restricción debido a que igualmente la cadena se romperá por el eslabón mas débil.

El presente documento representa una aplicación del TOC a los problemas de producción de la empresa El Constructor, la cual es una empresa dedicada a la comercialización de productos para la construcción y la fabricación de ciertos productos en la misma línea, fabricación de varillas, área sobre la cual se centro la

aplicación.

La planta de producción de varillas fue seleccionada como objeto de estudio, basado en los resultados de entrevistas preliminares al personal de la empresa, en donde se encontraron indicios de gestión de esfuerzos inadecuados, problemas con los tiempos de entrega e insatisfacción de la demanda.

En el desarrollo de la monografía se hizo la aplicación del TOC al sistemas de producción de varillas de hierro de El Constructor y con esto los 5 pasos de focalización propuestos por la teoría: Identificar la restricción del sistema, explotar la restricción, subordinar todo a la decisión anterior, elevar la restricción del sistema y volver al paso 1 evitando la inercia, esto con el fin de eliminar la restricción del sistema.

Para optimizar el funcionamiento de la planta después de haber identificado la restricción, se utilizó la herramienta tambor, cuerda, amortiguador – DBR, con la cual se logró identificar el tambor del sistema, la cuerda y el amortiguador.

Para efectos de organizar las ideas y aplicaciones desarrolladas en el transcurso de esta monografía, se consolidaron cuatro capítulos en los cuales se presentan los resultados obtenidos. El primer capítulo presenta las Generalidades de la Empresa El Constructor, para dar una ambientación al lector de lo que hace el negocio objeto de estudio. El segundo capítulo presenta el análisis hecho al proceso productivo de varillas de hierro en El Constructor, el cual representa para la monografía el proceso objeto de investigación. El tercer capítulo presenta la aplicación de la Teoría de Restricciones sobre el proceso productivo de varillas de hierro en la empresa, en el cual se identificó con claridad el problema raíz y todos aquellos elementos que posteriormente sirvieron para construir los escenarios de evaluación en el capítulo cuatro. En el cuarto capítulo se presentan los escenarios y su respectiva evaluación económica. Una vez construidos y evaluados los

escenarios, se presenta al final de la monografía las conclusiones y recomendaciones generadas, como resultado del minucioso análisis y evaluación de la información procesada.

## **1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **1.1 UBICACIÓN**

Las instalaciones de El Constructor se encuentran ubicados en la Avenida Pedro de Heredia, sector el Ruby, calle 31 con carrera 67<sup>a</sup>, colindando con el “Centro Comercial Paseo de la Castellana”, ocupando un área total de más de 4.000 M<sup>2</sup>., con espaciosas instalaciones administrativas, salas de venta y atención al público, así como también amplias bodegas para el almacenamiento de los diferentes materiales y productos comercializados. Esta magnífica y estratégica ubicación, permite atender un importante segmento del mercado de materiales para la construcción de la ciudad de Cartagena y municipios cercanos, debido a su fácil acceso y a su cercanía con la zona industrial de Mamonal y una importante periferia de estratos 3, 4, 5 en permanente desarrollo urbanístico.

### **1.2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA**

El almacén El Constructor inició sus operaciones de compra y venta de materiales para la construcción a finales del año 1976. La iniciación en ésta actividad fue idea de su fundador y propietario, señor Ricardo Roman Porras, quien junto a su esposa abrieron el almacén como un punto de ventas de contado, en el local donde hoy funciona la bodega de cementos.

Con base a la demanda de los materiales para la construcción, que empezaba a experimentar un amplio sector de la zona oriental de la ciudad, a la excelente calidad de los materiales suministrados, los precios razonables y la atención personalizada de sus propietarios, el negocio fue creciendo de acuerdo a la capacidad económica que iba generando su buen manejo. Esto permitió que

durante la década de los años ochenta, se adquirieron los terrenos en donde hoy funcionan las salas de ventas de contado, las oficinas administrativas y las demás bodegas con que se cuenta en la actualidad.

### **1.3 MISIÓN**

Como empresa especializada en la comercialización al por mayor y al detal de productos de ferretería y materiales para la construcción y mejora de vivienda de los diversos estratos, así como para la infraestructura industrial, nuestra misión es: *“Satisfacer las necesidades de nuestros clientes a través de una excelente calidad, tanto del servicio como de los materiales para la construcción que distribuimos y marcar así la diferencia dentro del mercado, manteniendo el liderazgo e imagen que nos ha caracterizado, así como unos precios competitivos y al alcance de toda nuestra clientela”.*

### **1.4 VISIÓN**

A través del desarrollo y aplicación de principios fundamentales de empresa privada, nuestra visión estará siempre enfocada en mantener una activa y sincronizada gestión de todo el equipo de trabajo, teniendo como objetivo permanente el de ampliar la cobertura del mercado y llegar cada día a nuestros consumidores con mejores propuestas de servicio y productos, sin desmejorar la calidad de los mismos, manteniendo siempre abiertos unos canales permanentes de comunicación con todos nuestros clientes y poder de esta forma garantizar la permanencia cada día mas activa dentro del mercado local y regional de los materiales para la construcción y la industria en general.

### **1.5 QUIENES SOMOS**

Somos una organización privada, conformada por un grupo capacitado de

funcionarios con amplia experiencia en el comercio y manejo de ferreterías y materiales para la construcción, soportada por una estructura compuesta de profesionales idóneos en las áreas de sistemas, administrativas, contable, financiera y legal, la cual además de su responsabilidad de la plantación y los controles internos del almacén, trabaja unido con el propósito de aportar sus conocimientos y experiencias que le permita formular, desarrollar y gestionar propuestas que conlleven al mejoramiento y mayor calidad de los servicios ofrecidos, brindando todo el apoyo y asesoría necesaria en cualquier área operativa que así lo requiera.

## **1.6 CLIENTES**

Hay aproximadamente 16.000 clientes, entre los cuales principalmente se encuentran:

- Ferreterías minoristas
- Obras grandes, como las que se están haciendo en los sectores de Bocagrande, Castillogrande y Manga
- Negocios medianos localizados en la Costa Caribe (Riohacha, Montería, Barranquilla, entre otras)
- Público en general habitantes de la ciudad de Cartagena, ya que venden al detal

## **1.7 PROVEEDORES**

Para hablar de proveedores primero sería importante saber que tienen más de 1.500 productos o referencias que adquieren del mercado nacional e internacional.

- Distribuidores de hierros: Acerías Paz del Río
- Distribuidores Cementos Caribe

- Distribuidores de Accesorios PVC
- Distribuidores de Cerámica: Corona
- Distribuidores de productos impermeabilizantes: CICA
- Distribuidores internacionales: Brasil, Polonia y Ucrania , de estos importan hierros, laminas navales, perfiles, y principalmente del Brasil importan esa materia prima tan importante que es la Chipa.

## 1.8 ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA

El almacén El Constructor, cuenta con una estructura orgánica definida en la que se aprecian, según sus criterios los niveles de autoridad y responsabilidad dentro de la empresa (ver figura 1). Al hacer un rápido análisis de la estructura orgánica que la empresa tiene definida, se puede apreciar el requerimiento de una reestructuración, que por no corresponder a la temática de la presente monografía, se deja para que otras personas a través de otros estudios la realicen.

ORGANIGRAMA EL CONSTRUCTOR INVERSIONES S.A.

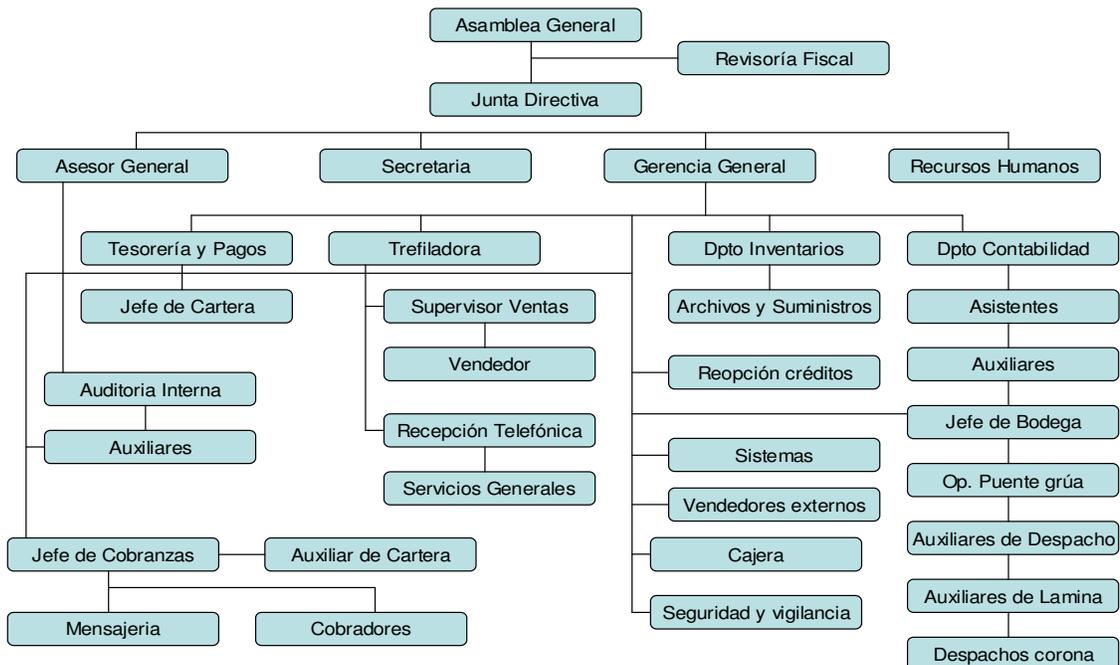


Figura 1. Estructura Organizacional Almacén El Constructor

## **1.9 PROCESOS PRODUCTIVOS**

Los procesos productivos con los que cuenta el constructor son:

- Proceso productivo de clavos.
- Proceso productivo de varillas de hierro (proceso de trefilado).

## **1.10 SELECCIÓN DEL PROCESO**

Según las entrevistas realizadas al personal de El Constructor antes de seleccionar el proceso de producción sobre el cual se trabajaría, la información suministrada mostró siempre que el proceso de producción de varillas de hierro presentaba los siguientes problemas:

- Altos tiempos de entrega de producto terminado a clientes.
- Semanal mente se reciben en promedio de 3 a 4 reclamos por atrasos de entrega de los pedidos ya vendidos, lo que se convierte en pérdida de mercado ya que mensualmente al menos uno de los clientes cancelaba su pedido por la falencia en la entrega.
- Demanda insatisfecha.
- Como notaremos mas adelante el Constructor no alcanza a satisfacer toda la demanda del mercado en condiciones normales ya que esta dejando de vender alrededor de 35.000 varillas semestralmente, esta situación fue clave para seleccionar el proceso productivo de fabricación de varillas de hierro.

Estos problemas para efectos de la aplicación del TOC son fundamentales. Al hacer las visitas a la planta, se identifica muy rápidamente que los indicios mencionados anteriormente se encuentran en el proceso productivo de varillas de hierro, en los cuales se identifico que los tiempos de entrega de la materia prima por parte de los proveedores y los tiempos de despacho que hace la empresa a

los clientes, no han tenido falencias a lo largo de la vida de la planta. Lo anterior permite evidenciar que el problema no es de abastecimiento de materiales ni de distribución logística de los productos hacia los clientes.

De lo anterior se puede afirmar que siempre se tubo un claro indicio de que el problema en El Constructor, se encontraba en la planta de producción debido a algún mal manejo (Gestión de las Operaciones) o a que sencillamente no se contaba con la capacidad instalada suficiente para atender los requerimientos de los clientes. Todo esto, junto con un conocimiento más profunda de los procesos desarrollados en la empresa, se decidió en común acuerdo con el Director de Operaciones en El Constructor, que el proceso sobre el cual se trabajaría la aplicación del TOC sería el de producción de varillas de hierro.

Otros factores encontrados en la planta de producción de hierro en El Constructor que llevaron a escogerla como la planta para la aplicación del TOC, fue la dependencia que hay en los procesos y el hecho de que en dicha planta se pueden considerar factores de tiempo y de secuencia de procesos, siendo todos estos factores influyentes al momento de querer hacer la aplicación en cualquier planta de producción.

## **2. ANALISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE VARILLAS DE HIERRO EN EL CONSTRUCTOR**

### **2.1 ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO VARILLAS DE HIERRO**

El proceso productivo de varillas de hierro o trefilado cuenta con tres etapas básicas:

#### ***ETAPA A. Procedimiento de recepción de la chipa<sup>1</sup>***

El proveedor descarga en la bodega de trefilado la chipa, entregando con esta una remisión donde se especifica el kilaje y el número de rollos que están siendo entregados.

El Auxiliar de Auditoria y Producción concilia la remisión contra lo recibido y dirige al Bodeguero para almacenar la chipa de forma ordenada, formando pilas de a 10 rollos de chipa, sin mezclar diámetros, para efectos de organización de inventarios.

Por último el Auxiliar Auditoria y Producción debe verificar que los rollos de chipa recibidos tengan el amarre de seguridad industrial, ya que dicho amarre no se puede realizar manualmente y cualquier rollo que no cuente con dicho amarre no podrá ser recibido.

#### ***ETAPA B. Procedimiento de trefilado.***

Después que los rollos de chipa se encuentran en la bodega el Bodeguero transporta uno de los rollos al cristo, para que sean cortados los amarres de

---

<sup>1</sup> *Chipa: Nombre técnico que se le da a la varilla, la cual representa nuestra materia prima.*

seguridad industrial de el rollo de chipa, luego este es enhebrado en la trefiladora para iniciar el proceso de trefilado, dándole arranque a la maquina. Mediante dicho proceso la trefiladora se encarga de jalar la chipa haciéndola pasar por un dado porta hilera que se encuentra en ella y se encarga de transformar el diámetro de la chipa y reducirlo según sea requerido.

Después del trefilado el rollo de chipa ya transformado con el diámetro requerido, este pasa directamente a la enderezadora, la cual, como su nombre lo indica, se encarga de enderezar la chipa después del proceso de trefilado, así continuamente se pasa a la cortadora en la cual se realiza el corte de la chipa enderezada, dicho corte se hace mediante un estándar comercial el cual especifica que los cortes se deben realizar de tal manera que las varillas tengan las características de 6 metros de largo.

Como ultimo paso del procedimiento de trefilado se espera a que la cortadora haya realizado el corte de 15 varillas, se inspeccionan los cortes de las varillas, para que luego sean amarradas en lotes de la misma cantidad y sean puestas en la bodega de trefilado, teniendo la misma precaución que no se deben mezclar los diámetros al momento de almacenarlas.

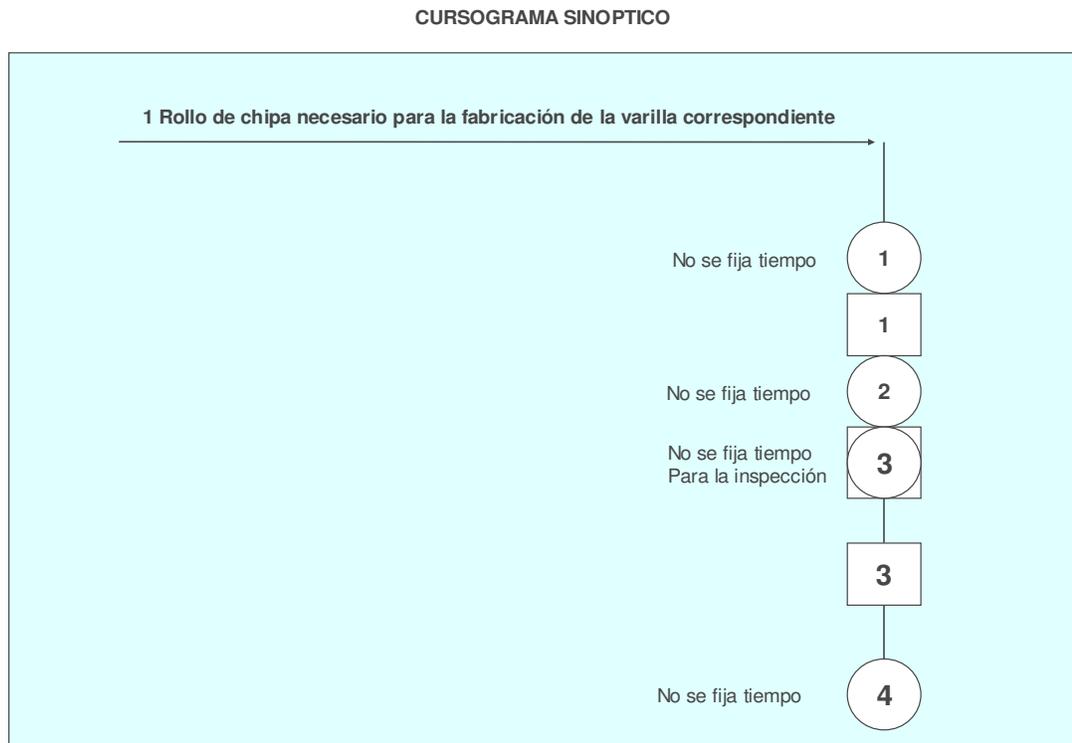
### ***ETAPA C. Despacho de la varilla trefilada.***

El Bodeguero recibe la copia del documento de despacho o orden de salida que debe ser entregada por parte del camionero o por parte de la persona que sacara la mercancía de la bodega de trefilado, para posteriormente entregar dicha copia al Auxiliar de Auditoria y Producción quien a su vez la archivara en el fólder destinado para tal fin.

Luego el Bodeguero procede a entregar lo especificado en el documento de despacho o en la orden de salida según sea el caso y embarcarla en al camión

para su despacho.

En la figura 2, se presentan todas las operaciones e inspecciones a las cuales es sometido el proceso de elaboración de varillas en El Constructor, a través de un Cursograma Sinóptico. Los tiempos de las operaciones y las inspecciones, están detallados en la tabla de tiempos de producción y por esto no son mostrados en el diagrama.



**Figura 2. Cursograma Sinóptico Proceso de Trefilado**

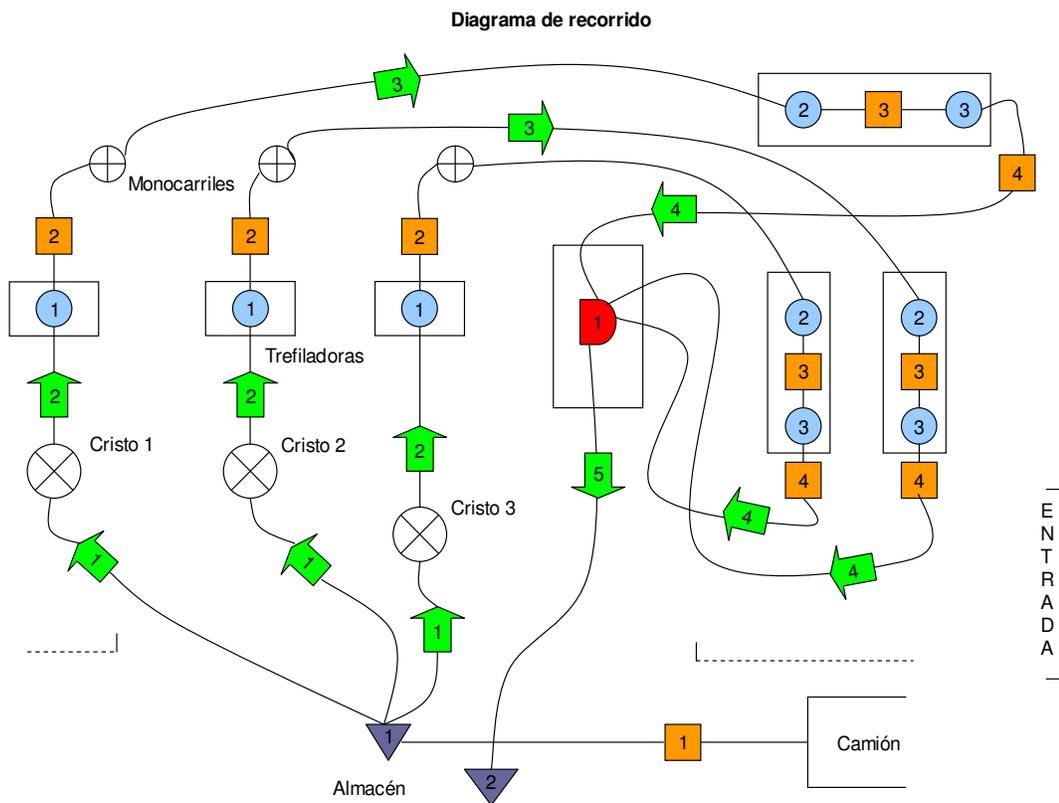
Donde:

*Inspección 1:* Inspeccionar que lo recibido sea congruente con lo relacionada en la remisión.

*Operación 1:* Trefilar el rollo de chipa.

El trabajo pasa entonces a inspección para ser sometido a:  
*Inspección 2:* Verificar dimensiones y acabados (No se fija tiempo.) De la inspección pasa a la sección de enderezado.  
*Operación 2:* Enderezar el rollo de varilla  
*Inspección 3:* Inspeccionar calidad de enderezado (No se fija tiempo.) De la inspección pasa al proceso de cortado.  
*Operación 3:* Realizar el corte de la varilla.  
 El trabajo pasa entonces a inspección para ser sometido a:  
*Inspección 4:* Inspeccionar la calidad final del producto.

La figura 3 que se presenta a continuación, muestra el Diagrama de Recorrido de la chipa en el proceso de trefilado. Este diagrama muestra claramente el recorrido completo del material por toda la planta de producción.



**Figura 3. Diagrama de Recorrido Proceso de Trefilado**

En la figura 4, se muestra el Cursograma analítico del proceso, el cual permitió posteriormente realizar un análisis completo del proceso y a través de dicho análisis optimizarlo.

Cursograma Analítico								
Diagrama num. 1 Hoja num. 1 de 1		Resumen						
Objeto: Rollo de chipa		Actividad			Actual			
Actividad: Trasformacion de las chipa en varillas de hierro		Operación	○		3			
Metodo: Actual		Trasporte	→		7			
		Espera	●		1			
		Inspeccion	■		4			
		Almacenamiento	▼		2			
		Distancia en (m)			75 o 72,3			
Lugar: Planta de produccion del constructor								
Compuesto por: Juan Elias Cure			Fecha: 10 de abril del 2006					
Aprobado por: Jaime Acevedo			Fecha: 11 de abril del 2006					
Descripcion	Distan- Cia (m)	Tiempo (seg)	Simbolo			Observacion		
			○	→	●	■	▼	
Inspeccion de rollos de chipa								
Almacenar en bodega de MP								Grua
Transportado hasta los cristos	20	740 o 270						Grua
Montaje en el cristo								Grua
Colocado en la trefiladora	11 o 3,72							11 para linea 1
Trefilar la chipa								
Verificar dimensiones y acabados								Visual y metro
Transportado a la enderezadora	8 o 15							8 para linea 1
Montado en la enderezadora								A mano
Enderezar la varilla								
Inspeccionar enderezado								Visual
Cortado								
Inpeccion cortado y calidad final								Visual y metro
Llevar a Y de almacenamiento	4,97 o 2,64							4,97 para linea 1
Colocar en Y de almacenamiento								A mano
Llevar a bodega el Prod Terminado	31							A mano
Almacenar en bodega								
<b>Total</b>	75 o 72,3		3	7	1	4	2	75 para linea 1

Figura 4. Cursograma Analítico Proceso de Trefilado

## 2.2 PUESTOS DE TRABAJO

En la planta se encuentran tres (3) puestos de trabajo por línea y uno común al inicio de las mismas, para un total de siete (7) puestos de trabajo al interior de la planta de trefilado:

- Puesto #1. Se encuentra al pie de la trefiladora y la persona asignada al mismo se encarga de alistar la maquina, ponerla en funcionamiento y realizar la inspección respectiva en esta parte del proceso.
- Puesto #2. Se encuentra al pie de la enderezadora – cortadora, en este se alistar la maquina, pone en funcionamiento y se realiza la respectiva inspección de esta parte del proceso.
- Puesto #3. El encargado en este puesto de trabajo se encarga de coordinar el transporte de la chipa desde el almacén hasta los cristo

## **2.3 RECURSOS DISPONIBLES**

Entre los recursos disponibles de la planta para el funcionamiento del proceso de trefilado, se tienen:

**2.3.1 Recursos físicos.** En la planta de producción de El Constructor, son utilizadas en total nueve (9) maquinas entre trefiladoras, cortadoras y enderezadoras, las cuales se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

- Trefiladoras
  - Trefiladora #1 (T1), utilizada en la línea de producción #1.
  - Trefiladora #2 (T2), utilizada en la línea de producción #2.
  - Trefiladora #3 (T3), utilizada en la línea de producción #3.
- Cortadoras
  - Cortadora #1 (C1), utilizada en la línea de producción #1.
  - Cortadora #2 (C2), utilizada en la línea de producción #2.
  - Cortadora #3 (C3), utilizada en la línea de producción #3.
- Enderezadoras
  - Enderezadora #1 (D1), utilizada en la línea de producción #1.
  - Enderezadora #2 (D2), utilizada en la línea de producción #2.

- Enderezadora #3 (D3), utilizada en la línea de producción #3.

Esta maquinaria esta distribuida para las tres (3) líneas de producción utilizadas en el proceso de trefilado, de las cuales en la actualidad la línea #1 es sólo utilizada para la fabricación de varillas de 5.5 m.m., mientras que las líneas #2 y #3 son utilizadas para fabricar el resto de especificaciones de varillas producidas en la planta.

Las líneas #2 y #3 son líneas de características exactas que cuentan con una tecnología un poco mas avanzada que la línea #1, por lo cual si se deseara fabricar otro tipo de especificación en la línea #1 esta tomaría en promedio un 20% mas de tiempo que el requerido por las otras dos líneas.

Además de las maquinas mencionadas anteriormente se encuentran los cristo, cuya estructura se encarga de sostener los rollos de chipa para alimentar las líneas de producción de la planta.

**2.3.2 Recursos humanos.** La plana cuenta en total con 7 operarios durante su jornada de trabajo, esto significa que se cuenta con un operario por cada puesto de trabajo, además se tiene un Jefe de Planta que coordina el trabajo de los operarios y un Gerente de Planta que se encarga de disponer todos los recursos físicos para que la planta se encuentre trabajando en condiciones normales y que reporta el comportamiento de la misma ante los Directivos de la empresa.

En cuanto a la disponibilidad de tiempo, la planta trabaja 8 horas diarias, 5 días a la semana, 4 semanas mensuales, por lo que cuenta con una disponibilidad de 480 minutos al día, 2400 minutos a la semana y 9600 minutos al mes disponibles para la producción.

## 2.4 COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA VARILLAS DE HIERRO

Como se muestran en los puntos anteriores, la planta utiliza una de sus líneas de producción únicamente para la producción de la varilla con especificación de 5.5m.m y las otras dos líneas para el resto de especificaciones de varillas. Por esta razón se realizaron sólo dos pronósticos, el primero para la varilla con especificación de 5.5m.m, así de esta manera podremos calcular con base a las ventas pronosticadas el porcentaje (%) de utilización de la línea de producción utilizada para fabricación de la misma y su capacidad remanente; y el segundo para el resto de especificaciones de varillas, el cual de manera similar al anterior se realiza para analizar el porcentaje (%) de utilización de las dos líneas de producción utilizadas para fabricar las otras especificaciones de varillas.

La forma como fueron calculados los pronósticos de demanda de varillas para las especificaciones diferentes a 5.5m.m., fue la siguiente:

- Se totalizó el número de unidades vendidas mensualmente para cada una de las especificaciones de varilla sin incluir las de 5.5m.m.
- Según el total obtenido en el punto anterior, se calcula el porcentaje de participación de cada especificación de varilla en el total calculado para cada mes, considerando por separado los datos del 2004 y el 2005, para luego promediar los niveles de participación obtenidos en el año 2004 con los del 2005, y así obtener un nivel de participación general. *Por ejemplo:* si al sumar todas las ventas del mes de enero 2004 sin incluir la especificación 5.5m.m el resultado es 100 varillas y de las 100 varillas vendidas 10 varillas son de la especificación 3.5m.m, significa que dicha especificación tiene un porcentaje de participación del 10% y si para el 2005 la participación es del 14% el promedio de participación sería el 12%.
- Se realizó el pronóstico de ventas tomando como base los totales de cada mes, mediante la utilización de la técnica de Wintter, dado el comportamiento

de tendencia y estacionalidad observado en los datos analizados.

- Luego de obtener el resultado del pronóstico según los totales, se tomaron los datos de los promedios de los niveles de participación de cada especificación de varilla y se calculo cuantas varillas del total pronosticado representa dicho nivel de participación. *Por ejemplo:* para continuar con el ejemplo anterior, supongamos que el pronostico da como resultado una demanda de 200 varillas, por lo cual de las 200 varillas que se pronostican vender el 12% son de especificación 3.5m.m, así el número de varillas de 3.5m.m pronosticadas a vender seria el 12% de 200, esto seria igual a 24 varillas.

En las tablas 1, 2, 3, 4 y 5, se muestran los datos utilizados para el cálculo de los pronósticos, y en las figuras 5 y 6 se evidencian sus comportamientos.

**Tabla 1. Venta de Varillas Primer Semestre Año 2004**

Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTALES
<b>Especificación</b>							
5.5	19100	19900	19750	18120	20500	21500	<b>118870</b>
<b>Otras Especificaciones</b>							
3.5	3800	3550	4000	4010	3900	3700	22960
4.0	7500	7590	7750	8100	7830	8010	46780
4.5	11800	13000	16200	9200	14100	13600	77900
5.0	11400	7540	9010	9050	10300	11200	58500
6.0	6190	5330	6970	8115	7500	6900	41005
6.5	1270	2500	2775	2945	4810	3740	18040
7.0	3860	1180	2440	3480	3920	3500	18380
7.5	960	1720	2000	840	3190	3480	12190
8.0	2940	2900	1985	1175	3330	2970	15300
8.5	3700	1000	2110	1900	2420	2600	13730
9.0	2490	750	1650	1320	2000	2760	10970
<b>Totales Otras</b>							
<b>Especificaciones</b>	<b>55910</b>	<b>47060</b>	<b>56890</b>	<b>50135</b>	<b>63300</b>	<b>62460</b>	<b>335755</b>

**Tabla 2. Venta de Varillas Primer Semestre Año 2005**

Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTALES
Especificación							
5.5	21200	21100	20050	18320	22600	23010	<b>126280</b>
Otras Especificaciones							
3.5	4000	3700	4200	7150	4250	3950	27250
4.0	7600	7650	7800	8150	8140	8240	47580
4.5	12000	13750	17100	10600	16300	15910	85660
5.0	12140	8670	9150	10100	12900	12200	65160
6.0	6340	5430	7120	9240	8100	7340	43570
6.5	1340	2750	3010	2675	5700	4000	19475
7.0	4300	1320	2675	4500	4200	3720	20715
7.5	1100	1850	2150	1120	3900	3980	14100
8.0	3130	3000	2175	1630	3800	3100	16835
8.5	4130	1240	2340	2120	3100	2870	15800
9.0	2600	1550	2330	2000	3000	3500	14980
<b>Totales Otras</b>							
<b>Especificaciones</b>	<b>58680</b>	<b>50910</b>	<b>60050</b>	<b>59285</b>	<b>73390</b>	<b>68810</b>	<b>371125</b>

**Tabla 3. Porcentaje de Participación Otras Especificaciones Venta de Varillas Primer Semestre Año 2004**

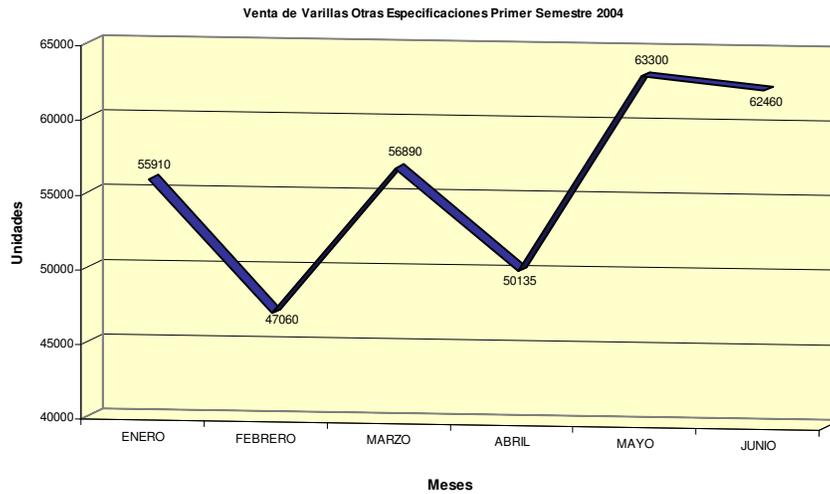
Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Otras Especificaciones						
3.5	6,80	7,54	7,03	8,00	6,16	5,92
4.0	13,41	16,13	13,62	16,16	12,37	12,82
4.5	21,11	27,62	28,48	18,35	22,27	21,77
5.0	20,39	16,02	15,84	18,05	16,27	17,93
6.0	11,07	11,33	12,25	16,19	11,85	11,05
6.5	2,27	5,31	4,88	5,87	7,60	5,99
7.0	6,90	2,51	4,29	6,94	6,19	5,60
7.5	1,72	3,65	3,52	1,68	5,04	5,57
8.0	5,26	6,16	3,49	2,34	5,26	4,76
8.5	6,62	2,12	3,71	3,79	3,82	4,16
9.0	4,45	1,59	2,90	2,63	3,16	4,42

**Tabla 4. Porcentaje de Participación Otras Especificaciones Venta de Varillas  
Primer Semestre Año 2005**

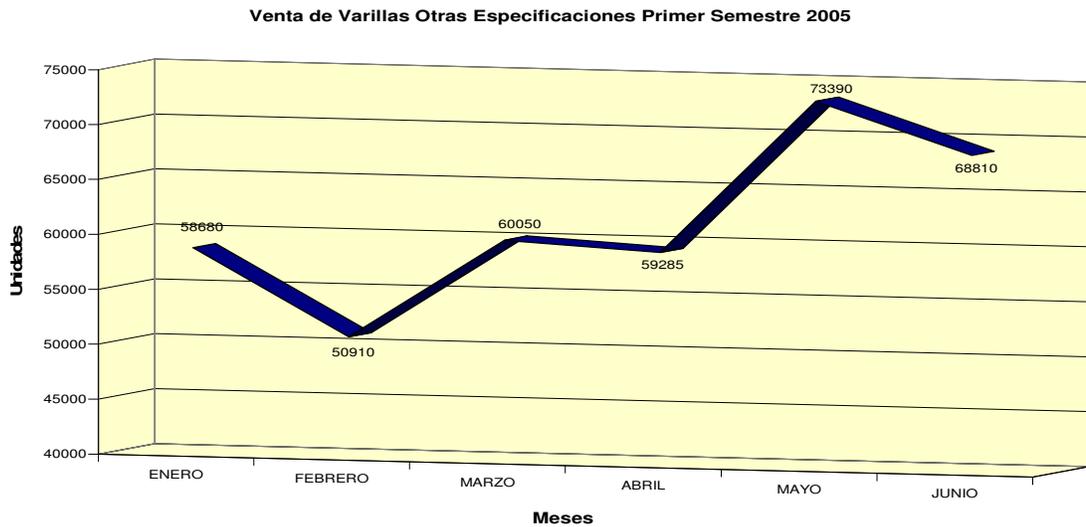
Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Otras Especificaciones						
3.5	6,82	7,27	6,99	12,06	5,79	5,74
4.0	12,95	15,03	12,99	13,75	11,09	11,98
4.5	20,45	27,01	28,48	17,88	22,21	23,12
5.0	20,69	17,03	15,24	17,04	17,58	17,73
6.0	10,80	10,67	11,86	15,59	11,04	10,67
6.5	2,28	5,40	5,01	4,51	7,77	5,81
7.0	7,33	2,59	4,45	7,59	5,72	5,41
7.5	1,87	3,63	3,58	1,89	5,31	5,78
8.0	5,33	5,89	3,62	2,75	5,18	4,51
8.5	7,04	2,44	3,90	3,58	4,22	4,17
9.0	4,43	3,04	3,88	3,37	4,09	5,09

**Tabla 5. Porcentaje Promedio de Participación Otras Especificaciones Venta  
de Varillas Primer Semestre Años 2004 - 2005**

Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Otras Especificaciones						
3.5	6,81	7,41	7,01	10,03	5,98	5,83
4.0	13,18	15,58	13,31	14,95	11,73	12,40
4.5	20,78	27,32	28,48	18,12	22,24	22,45
5.0	20,54	16,53	15,54	17,54	16,92	17,83
6.0	10,94	11,00	12,05	15,89	11,44	10,86
6.5	2,28	5,36	4,95	5,19	7,68	5,90
7.0	7,12	2,55	4,37	7,27	5,96	5,50
7.5	1,80	3,64	3,55	1,78	5,18	5,68
8.0	5,30	6,03	3,56	2,55	5,22	4,63
8.5	6,83	2,28	3,80	3,68	4,02	4,17
9.0	4,44	2,32	3,39	3,00	3,62	4,75



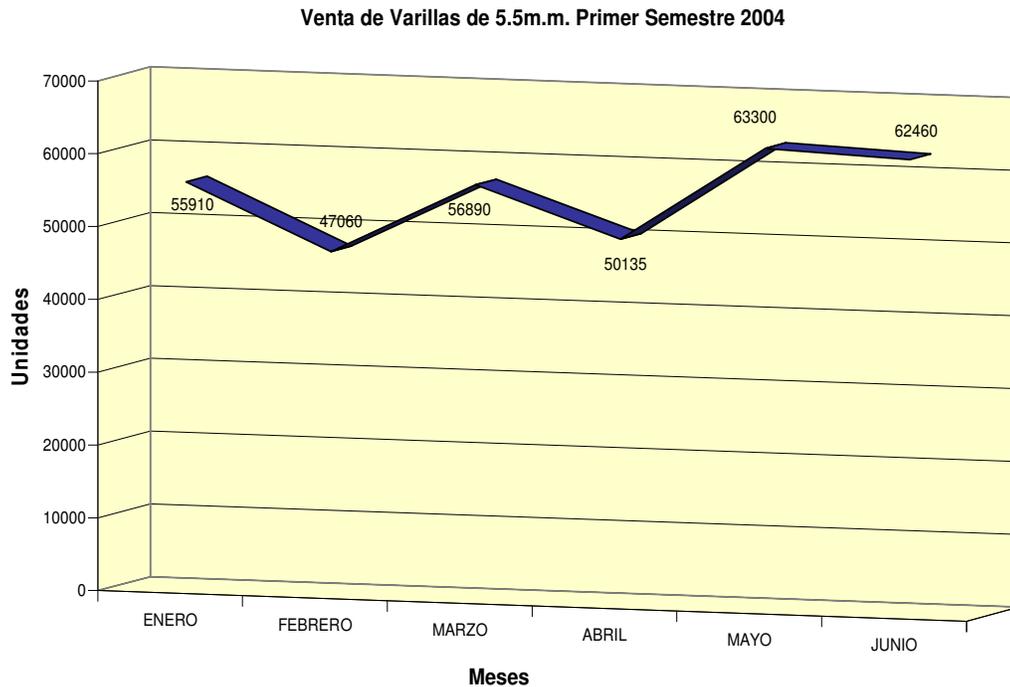
**Figura 5. Comportamiento de las Ventas de Varillas Otras Especificaciones Primer semestre\_2004**



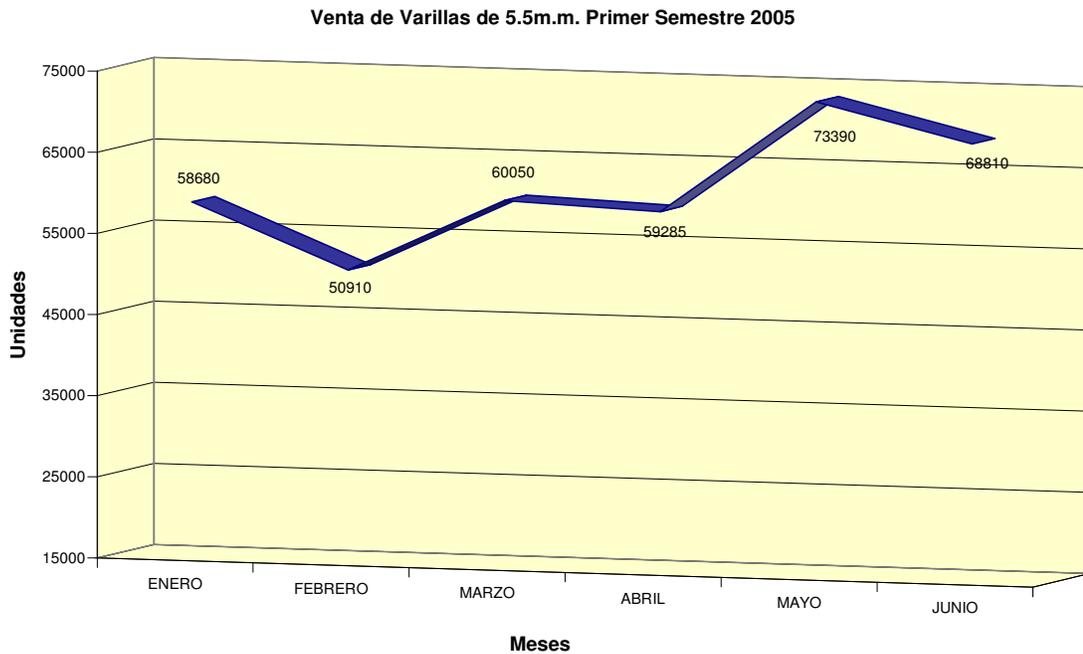
**Figura 6. Comportamiento de las Ventas de Varillas Otras Especificaciones Primer Semestre 2005**

Además en la siguiente página se presenta el formulario de pronósticos Winter, el cual fue el seleccionado.

Según los niveles de ventas presentados en el año 2004 y 2005 se pudo analizar o concluir que las ventas tienen una clara tendencia a la alza y presentan estacionalidad en todos los meses del primer semestre para el caso de las especificaciones de varillas distintas a 5.5m.m.. Para la especificación de varilla de 5.5m.m., igualmente se presenta una clara tendencia a la alza pero la estacionalidad únicamente se presenta en los meses de enero y abril, mayo y junio, en los meses de febrero o marzo la demanda es un poco mas variable(ver Figura 7 y 8).



**Figura 7. Comportamiento de las Ventas de Varillas de 5.5m.m. Primer Semestre 2004**



**Figura 8. Comportamiento de las Ventas de Varillas de 5.5m.m. Primer Semestre 2005**

Al observarse las características de tendencia y estacionalidad para ambos casos, se pudo utilizar el método de pronóstico de Winter ya que este por sus características de procesamiento se encarga de suavizar tanto la tendencia como la estacionalidad, lo cual permite tener un pronóstico confiable.

Para entender mejor la aplicación del método Winter en la presente monografía, se presentan a continuación los pasos que se siguen y las formulas del mismo:

**Paso 1**

$$Dm1 = \sum \text{demanda mensual año 1 de referencia} / M \quad (\text{Demanda Mensual Año 1})$$

$$Dm2 = \sum \text{demanda mensual año 2 de referencia} / M \quad (\text{Demanda Mensual Año 2})$$

$$DG = (Dm1 + Dm2) / 2 \quad (\text{Demanda Global})$$

Donde M es el número de meses de un año estudiado, para el caso 6

**Paso 2**

$$T_m = (D_{m2} - D_{m1}) / M \quad (\text{Tendencia Mensual})$$

**Paso 3**

$$\bar{t} = (1+2+3+4+5+6) / 6 \quad (\text{Valor Medio})$$

$$F_0 = D_{m1} - T_m(\bar{t}) \quad (\text{Valor Inicial de la Serie Exponencial})$$

**Paso 4**

$$T_k = F_0 + kT_0 \quad (\text{Lineas de Tendencia})$$

Donde k va de 1 a 12 dependiendo el mes que se este calculando.

**Paso 5**

$$I_t = (\text{Demanda del mes}) / (\text{Línea de tendencia correspondiente}) \quad (\text{Indice de Tendencia})$$

**Paso 6**

$$I_{t-M} = (I_t * M) / \text{Total promedio} \quad (\text{Indice de Tendencia Normalizado})$$

**Paso 7**

*Serie exponencial atenuada*

$$F_t = \alpha ( D_m / I_{t-M} ) + ( 1 - \alpha ) ( F_{t-1} + T_{t-1} )$$

*Estimación de la tendencia*

$$T_t = \beta ( F_t - F_{t-1} ) + ( 1 - \beta ) T_{t-1}$$

*Estimación de la estacionalidad*

$$I_t = \gamma ( D_t / F_t ) + ( 1 - \gamma ) I_{t-M}$$

*Pronostico*

$$f_{t+k} ( F_t + kT_t ) I_{t+k-M}$$

Se utilizó el pronóstico Winter debido a que como lo muestran los datos y figuras de comportamiento, se debe suavizar la tendencia y la estacionalidad presentada en el comportamiento de las ventas y es en este tipo de comportamientos donde se utiliza la metodología de Pronósticos Winter.

A continuación se presentan los datos obtenidos de la aplicación del método de pronósticos de Winter:

**Cálculos para Pronósticos de Venta de Varillas Otras Especificaciones Método de Winter  
Ventas 2004 - 2005**

		Año 2004	Año 2005	
1	<b>Enero</b>	55910	58680	7
2	<b>Febrero</b>	47060	50910	8
3	<b>Marzo</b>	56810	60050	9
4	<b>Abril</b>	50135	59285	10
5	<b>Mayo</b>	63300	73390	11
6	<b>Junio</b>	62460	68810	12

**Paso 1- Promedios mensuales y anuales**

DM1 = 55945,8333 (Demanda mensual 1 y 2)

DM2 = 61854,1667

DG = 58900 (Demanda global)

**Paso 2- Tendencia**

Tm = 984,722222 (Tendencia mensual)

**Paso 3 - Valor inicial de la serie exponencial (to)**

t= 3,5

Fo= 52499,3056

**Paso 4 - Calcular líneas de tendencia**

	2004	2005
T1	53484,0278	T7 59392,3611
T2	54468,75	T8 60377,0833
T3	55453,4722	T9 61361,8056
T4	56438,1944	T10 62346,5278

T5 57422,9167

T11 63331,25

T6 58407,6389

T12 64315,9722

**Paso 5 - Estimación de los índices de temporalidad**

Mes	2004	2005	Promedio
Enero	1,04535882	0,98800585	1,01668233
Febrero	0,86398164	0,84320072	0,85359118
Marzo	1,02446245	0,97862179	1,00154212
Abril	0,88831687	0,95089498	0,91960592
Mayo	1,10234735	1,15882759	1,13058747
Junio	1,06938067	1,06987421	1,06962744
Total	(debe ser 6)		5,99163646

**Paso 6 - Normalización del índice de estacionalidad**

It - m = I-5	1,01810149
I-4	0,85478268
I-3	1,00294014
I-2	0,92088957
I-1	1,13216562
I 0	1,0711205
Total	6

**Paso 7 - Actualización de los parámetros winter**

Alfa = 0,2

Se utilizan estos índices estadísticos por las características

Beta = 0,1

y el comportamiento de las ventas a lo largo del 1er semestre

Y = 0,05

de cada uno de los años mostrados.

Meses	Dt	It-m	Ft	Tt	It	ft
1	55910	1,01810149	54171,633	955,010527	1,01880091	
2	47060	0,85478268	55112,3007	953,57624	0,85473819	
3	56810	1,00294014	56181,3936	965,127906	1,00335258	
4	50135	0,92088957	56605,602	911,035957	0,91912958	
5	63300	1,13216562	57195,4199	878,91415	1,13089394	
6	62460	1,0711205	58122,0206	883,682807	1,07129626	
7	58680	1,01810149	58731,9008	856,302543	1,01715223	
8	50910	0,85478268	59582,3623	855,718437	0,85476592	
9	60050	1,00294014	60325,257	844,436065	1,00256499	
10	59285	0,92088957	61811,3482	908,60158	0,9228015	
11	73390	1,13216562	63140,4941	950,65601	1,13367377	

12	68810	1,0711205	64121,1477	953,655771	1,07122072	
13						66190,98133
14						56438,87678
15			<b>(Pronostico primer semestre del 2006)</b>			67153,92348
16						62691,23088
17						78098,13593
18						74817,3569

Según los niveles de participación calculamos cuanto representa cada especificación en el total

	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
3.5	4505	4180	4709	6288	4667	4363
4.0	8726	8792	8935	9373	9161	9277
4.5	13753	15417	19123	11357	17371	16795
5.0	13595	9327	10434	10998	13218	13340
6.0	7240	6206	8095	9959	8936	8123
6.5	1508	3023	3321	3256	6000	4415
7.0	4710	1439	2936	4555	4653	4119
7.5	1189	2057	2383	1117	4043	4248
8.0	3506	3402	2388	1596	4076	3464
8.5	4520	1287	2554	2309	3142	3117
9.0	2940	1309	2277	1883	2830	3556

Estos serian los niveles de ventas para cada especificación en el primer semestre del 2006

**Cálculos para Pronósticos de Venta de Varillas Especificación 5.5m.m. Método de Winter  
Ventas 2004 - 2005**

		<b>Año 2004</b>	<b>Año 2005</b>	
<b>1</b>	<b>Enero</b>	19100	21200	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Febrero</b>	19900	21100	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Marzo</b>	19750	20050	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Abril</b>	18120	18320	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Mayo</b>	20500	22600	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Junio</b>	21500	23010	<b>12</b>

**Paso 1- Promedio mensuales y anuales**

DM1 = 19811,6667 (Demanda mensual 1 y 2)

DM2 = 21046,6667

DG = 20429,1667 (Demanda global)

**Paso 2- Tendencia**

Tm = 205,833333 (Tendencia mensual)

**Paso 3 - Valor inicial de la serie exponencial (to)**

t= 3,5

Fo= 19091,25

**Paso 4 - Calcular líneas de tendencia**

2004		2005	
T1	19297,0833	T7	20532,0833
T2	19502,9167	T8	20737,9167
T3	19708,75	T9	20943,75
T4	19914,5833	T10	21149,5833
T5	20120,4167	T11	21355,4167
T6	20326,25	T12	21561,25

**Paso 5 - Estimación de los índices de temporalidad**

Mes	2004	2005	Promedio
Enero	0,98978688	1,03253039	1,01115864
Febrero	1,0203602	1,01745997	1,01891008
Marzo	1,00209298	0,95732617	0,97970958
Abril	0,90988597	0,86621092	0,88804844
Mayo	1,01886558	1,05827952	1,03857255
Junio	1,05774553	1,0671923	1,06246891
	(debe ser		
Total	6)		5,9988682

**Paso 6 - Normalización del índice de estacionalidad**

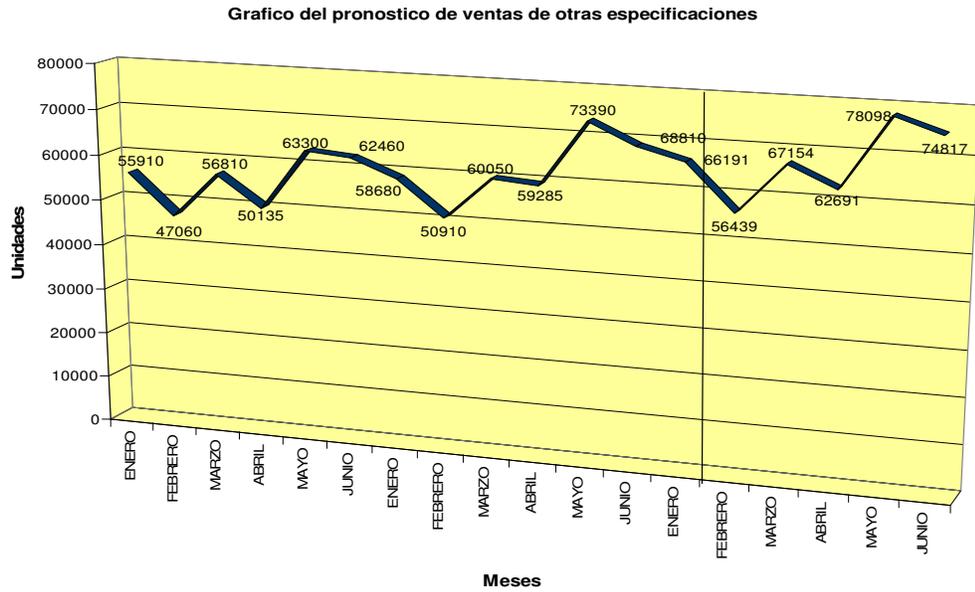
It - m=- I-5	1,01134941
I-4	1,01910232
I-3	0,97989442
I-2	0,88821599
I-1	1,03876849
I0	1,06266937
Total	6

**Paso 7 - Actualización de los parámetro winter**

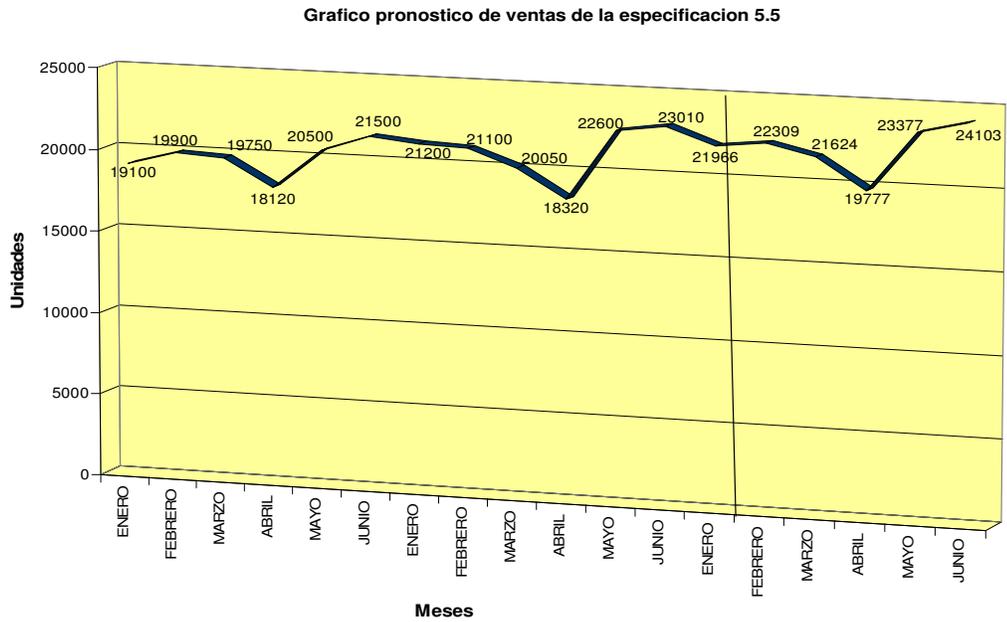
**Alfa = 0,2**            Se utilizan estos índices estadísticos por las características  
**Beta = 0,1**            y el comportamiento de las ventas a lo largo del 1er semestre  
**Y = 0,05**            de cada uno de los años mostrados.

Meses	Dt	It-m	Ft	Tt	It	ft
1	19100	1,01134941	19301,0214	185,643808	1,01026119	
2	19900	1,01910232	19494,73	186,450288	1,01918664	
3	19750	0,97989442	19775,9908	195,931336	0,98083398	
4	18120	0,88821599	20057,6264	204,50176	0,88897504	
5	20500	1,03876849	20156,684	193,957345	1,03768169	
6	21500	1,06266937	20326,9269	191,585899	1,06242141	
7	21200	1,01134941	20607,2287	200,457496	1,0122202	
8	21100	1,01910232	20787,0482	198,393693	1,01889996	
9	20050	0,97989442	20880,6311	187,912619	0,9789107	
10	18320	0,88821599	20979,9578	179,054019	0,88746591	
11	22600	1,03876849	21278,5158	191,004424	1,03993528	
12	23010	1,06266937	21506,22	194,674398	1,06303205	
13						21966,08369
14						22309,39421
15			<b>(Pronostico primer semestre del 2006)</b>			21624,37533
16						19777,10465
17						23377,32072
18						24103,47191

Las figuras 9 y 10 vemos los niveles de ventas pronosticados para el primer semestre del 2006, tanto para otras especificaciones como para la de 5.5 m.m



**Figura 9 Comportamiento de las ventas varillas otras especificaciones pronostico primer semestre 2006**



**Figura 10 Comportamiento de las ventas varillas 5.5 m.m pronostico primer semestre 2006**

## 2.5 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

**2.5.1 Tiempos de producción.** En la siguiente tabla se encuentran los tiempos de producción para cada una de las especificaciones de varilla en las líneas respectivas.

**Tabla 6. Tiempos de Proceso Producción de Varillas**

Referencia	Tiempo de pro- ceso cristo	Tiempo de pro- ceso trefilado	Tiempo de pro- ceso enderezado	Tiempo de pro- ceso cortado
Especificación x 250 Unidades				
5,5	12 min.	53 min.	23 min.	18 min.
Otras Especificaciones x 150 Unidades				
3,5	3 min.	31 min.	13 min.	9 min.
4,0	3 min.	36 min.	15 min.	12 min.
4,5	3 min.	41 min.	19 min.	14 min.
5,0	4 min.	42 min.	19 min.	15 min.
6,0	3 min.	44 min.	24 min.	18 min.
6,5	3 min.	46 min.	26 min.	20 min.
7,0	3 min.	48 min.	28 min.	22 min.
7,5	4 min.	50 min.	30 min.	24 min.
8,0	3 min.	52 min.	32 min.	27 min.
8,5	3 min.	55 min.	34 min.	29 min.
9,0	3 min.	57 min.	37 min.	31 min.

Teniendo en cuenta que los tiempos de proceso de la especificación de 5.5m.m están dados para la línea #1 y los tiempos del resto de especificaciones están dados para las líneas #2 o #3.

**2.5.2 Cuellos de botellas y tiempos de ciclos.** Los cuellos de botella y tiempos de ciclo se calcularon con base a los datos de los tiempos de producción suministrados por la compañía, como ya se sabe, el tiempo de ciclo es la

frecuencia con la que sale un determinado número de varillas después del primer recorrido en la línea, y el cuello de botella es la parte del proceso que lo limita por ser el de mayor tiempo requerido.

### **Línea #1**

#### ***Para varillas de 5.5m.m***

- Trefilado requiere 3145 seg.  $\cong$  53 min.
- Enderezado requiere 1371 seg.  $\cong$  23 min.
- Cortado requiere 1047 seg.  $\cong$  18 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #1 es el proceso del trefilado, ya que es el proceso que más tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo sería igual a 53 min.

### **Línea #2 y #3**

Dada la variedad de referencias que estas líneas procesan el cálculo del cuello de botella y la identificación del tiempo de ciclo, se hicieron considerando como si el sistema estuviera trabajando una sola referencia, puesto que sobre una de estas líneas sólo se puede trabar una sola referencia al tiempo.

#### **▪ *Para fabricar varillas de 3.5m.m***

- Trefilado requiere 1811 seg.  $\cong$  31 min.
- Enderezado requiere 749 seg.  $\cong$  13 min.
- Cortado requiere 512 seg.  $\cong$  9 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado, ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 31 min.

▪ **Para fabricar varillas de 4.0m.m**

- Trefilado requiere 2134 seg.  $\cong$  36 min.
- Enderezado requiere 863 seg.  $\cong$  15 min.
- Cortado requiere 672 seg.  $\cong$  12 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 36 min.

▪ **Para fabricar varillas de 4.5m.m**

- Trefilado requiere 2408 seg.  $\cong$  41 min.
- Enderezado requiere 1097 seg.  $\cong$  19 min.
- Cortado requiere 818 seg.  $\cong$  14 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 41 min.

▪ **Para fabricar varillas de 5.0m.m**

- Trefilado requiere 2497 seg.  $\cong$  42 min.
- Enderezado requiere 1114 seg.  $\cong$  19 min.
- Cortado requiere 875 seg.  $\cong$  16 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 42 min.

▪ **Para fabricar varillas de 6.0m.m**

- Trefilado requiere 2627 seg.  $\cong$  44 min.
- Enderezado requiere 1402 seg.  $\cong$  24 min.
- Cortado requiere 1031 seg.  $\cong$  18 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 44 min.

▪ **Para fabricar varillas de 6.5m.m**

- Trefilado requiere 2714 seg.  $\cong$  46 min.
- Enderezado requiere 1518 seg.  $\cong$  26 min.
- Cortado requiere 1198 seg.  $\cong$  20 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 46 min.

▪ **Para fabricar varillas de 7.0m.m**

- Trefilado requiere 2835 seg.  $\cong$  48 min.
- Enderezado requiere 1632 seg.  $\cong$  28 min.

- Cortado requiere 1305 seg.  $\cong$  22 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 48 min.

- ***Para fabricar varillas de 7.5m.m***

- Trefilado requiere 2968 seg.  $\cong$  50 min.
- Enderezado requiere 1759 seg.  $\cong$  30 min.
- Cortado requiere 1428 seg.  $\cong$  24 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 50 min.

- ***Para fabricar varillas de 8.0m.m***

- Trefilado requiere 3104 seg.  $\cong$  52 min.
- Enderezado requiere 1882 seg.  $\cong$  32 min.
- Cortado requiere 1563 seg.  $\cong$  27 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 52 min.

- ***Para fabricar varillas de 8.5m.m***

- Trefilado requiere 3243 seg.  $\cong$  55 min.

- Enderezado requiere 2016 seg.  $\cong$  34 min.
- Cortado requiere 1695 seg.  $\cong$  29 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 55 min.

▪ ***Para fabricar varillas de 9.0m.m***

- Trefilado requiere 3383 seg.  $\cong$  57 min.
- Enderezado requiere 2195 seg.  $\cong$  37 min.
- Cortado requiere 1808 seg.  $\cong$  31 min.

Según estos tiempos se puede deducir que el cuello de botella en la línea #2 o #3 es el proceso del trefilado ya que es el proceso que mas tiempo demanda para ser terminado. A su vez el tiempo de ciclo seria igual a 57 min.

Con base a estos tiempos de ciclo, en el siguiente punto se calcula la capacidad de producción de la planta.

**2.5.3 Capacidad de producción:** La capacidad de producción actual será mostrada en la relación mostrada a continuación, donde presentaremos la capacidad de la línea #1 la cual fabrica varillas de 5.5 m.m y la capacidad de las líneas #2 y #3 las cuales fabrican el resto de especificaciones, para las líneas #2 y #3 se calculara la capacidad como si se estuviera fabricando una única especificación.

Como se menciona anterior mente la planta dispone de 480 minutos día para producción, lo que representan 2400 minutos por semana y 9600 minutos mensuales.

## **Línea #1**

Según los datos, la línea # 1 cuenta con la siguiente capacidad.

- # de varillas a producir 250
- Tiempo total requerido para producir 1er lote de varillas 106 min. (Tiempos de cristo + Tiempo de Trefilado + Tiempo de enderezado + Teimpo de Cortado).
- Lugo se continúan produciendo lotes de 250 varillas cada 53 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea # 1 es:

$$C_p = ( 374 \text{ min.} * 250 \text{ varillas} ) / 53 \text{ min.}$$

$$C_p = 1764 \text{ varillas/día}$$

A estas 1764 varillas se adicionan las 250 del primer recorrido de 106 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 2014 varillas / día, y a su vez una producción semana de 10070 varillas y mensual de 40280 varillas.

## **Línea #2 y #3**

Para estas líneas se calculo la capacidad neta por especificación y según los datos ofrecidos por la compañía encontramos la siguiente capacidad

### ***Varillas 3.5m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas 55.7 min.  $\cong$  56 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 31 minutos (Tiempo

de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = (424 \text{ min.} * 150 \text{ varillas}) / 31 \text{ min.}$$

$$C_p = 2051 \text{ varillas/día}$$

A estas 2051 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 56 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 2201 varillas / día, y a su vez una producción semana de 11005 varillas y mensual de 44020 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

#### ***Varillas 4.0m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  66 min.
- Luego se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 36 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = (414 \text{ min.} * 150 \text{ varillas}) / 36 \text{ min.}$$

$$C_p = 1725 \text{ varillas/día}$$

A estas 1725 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1875 varillas / día, y su vez una producción semana de 9375 varillas y mensual de 37500 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

#### ***Varillas 4.5m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong 74$  min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 41 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 406 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 41 \text{ min.}$$

$$C_p = 1485 \text{ varillas/día}$$

A estas 1485 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1635 varillas / día, y a su vez una producción semana de 8175 varillas y mensual de 32700 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

### **Varillas 5.0m.m**

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong 80$  min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 42 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 400 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 42 \text{ min.}$$

$$C_p = 1428 \text{ varillas/día}$$

A estas 1428 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1578 varillas / día, y a su vez una producción semana de 7890 varillas y mensual de 31560 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las

líneas.

### **Varillas 6.0m.m**

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  89 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 44 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$Cp = ( 391 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 44 \text{ min.}$$

$$Cp = 1332 \text{ varillas/día}$$

A estas 1332 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1482 varillas / día, y a su vez una producción semana de 7410 varillas y mensual de 29640 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

### **Varillas 6.5 m.m**

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  95 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 46 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$Cp = ( 385 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 46 \text{ min.}$$

$$Cp = 1255 \text{ varillas/día}$$

A estas 1255 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 95 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1405 varillas / día, y a su vez una producción semana de 7025 varillas y mensual de 28100 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

### ***Varillas 7.0m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  101 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 48 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 379 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 48 \text{ min.}$$

$$C_p = 1184 \text{ varillas/día}$$

A estas 1184 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1334 varillas / día, y a su vez una producción semana de 6670 varillas y mensual de 26680 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

### ***Varillas 7.5m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  108 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 50 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 372 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 50 \text{ min.}$$

$$C_p = 1116 \text{ varillas/día}$$

A estas 1116 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1266 varillas / día, y a su vez una producción semana de 6330 varillas y mensual de 25320 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

### ***Varillas 8.0m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  114 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 52 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 366 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 52 \text{ min.}$$

$$C_p = 1055 \text{ varillas/día}$$

A estas 1055 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1205 varillas / día, y a su vez una producción semana de 6025 varillas y mensual de 24100 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

### ***Varillas 8.5m.m***

- # de varillas a producir 150

- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  121 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 55 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 359 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 55 \text{ min.}$$

$$C_p = 979 \text{ varillas/día}$$

A estas 979 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1129 varillas / día, y a su vez una producción semana de 5645 varillas y mensual de 22580 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

- ***Varillas 9.0m.m***

- # de varillas a producir 150
- Tiempo total requerido para producir dicho # de varillas.  $\cong$  128 min.
- Lugo se continúan produciendo lotes de 150 varillas cada 57 minutos (Tiempo de ciclo)

Lo que significa que la capacidad de producción por día de la línea #2 o #3 es:

$$C_p = ( 352 \text{ min.} * 150 \text{ varillas} ) / 57 \text{ min.}$$

$$C_p = 926 \text{ varillas/día}$$

A estas 926 varillas se adicionan las 150 varillas del primer recorrido de 66 minutos de la línea, lo que representaría una capacidad total de producción diaria de 1076 varillas / día, y a su vez una producción semana de 5380 varillas y mensual de 21520 varillas, esta capacidad de producción es para cada una de las líneas.

De esta manera se tiene la capacidad de la planta para producir determinado número de varillas en las líneas respectivas. La capacidad calculada en las líneas #2 y #3 aplica para ambas debido a que son líneas de la misma característica.

## 2.6 PLANEACION AGREGADA ACTUAL

Para definir una planeación agregada actual, se trabajo con datos pronosticados de demanda con el propósito de definir las condiciones futuras de la compañía, por esto los datos de demanda con los que se trabajo fueron los obtenidos del pronóstico de ventas para el primer semestre del 2006, siendo los siguientes:

**Tabla 7. Demanda de Varilla Según Pronósticos para el Primer Periodo del 2006**

Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTALES
Especificación							
5.5	21966	22309	21624	19777	23377	24103	133158
Otras Especificaciones							
3.5	4505	4180	4709	6288	4667	4363	28712
4.0	8726	8792	8935	9373	9161	9277	54265
4.5	13753	15417	19123	11357	17371	16795	93815
5.0	13595	9327	10434	10998	13218	13340	70913
6.0	7240	6206	8095	9959	8936	8123	48559
6.5	1508	3023	3321	3256	6000	4415	21522
7.0	4710	1439	2936	4555	4653	4119	22412
7.5	1189	2057	2383	1117	4043	4248	15036
8.0	3506	3402	2388	1596	4076	3464	18432
8.5	4520	1287	2554	2309	3142	3117	16929
9.0	2940	1309	2277	1883	2830	3556	14794

Igualmente antes de desarrollar la planeación agregada actual, fue necesario conocer que la compañía tiene definido una prioridad en la planta de producción

en las líneas #2 y #3, según la demanda de las referencias y el tipo de clientes, para trabajar y que ayudo a resolver la incógnita ¿En qué orden producir?. Las prioridades planteadas son las siguientes:

1. Varilla con especificación de 4.5m.m
2. Varilla con especificación de 5.0m.m
3. Varilla con especificación de 4.0m.m
4. Varilla con especificación de 6.0m.m
5. Varilla con especificación de 3.5m.m
6. Varilla con especificación de 7.0m.m
7. Varilla con especificación de 6.5m.m
8. Varilla con especificación de 8.0m.m
9. Varilla con especificación de 8.5m.m
10. Varilla con especificación de 7.5m.m
11. Varilla con especificación de 9.0m.m

Conociendo los tiempos de producción, la capacidad de producción, la demanda sobre la cual se trabajara y las prioridades para cada referencia de varilla con la cual se trabaja, se encuentra que la planeación agregada actual de la planta es:

### **Línea #1**

Demanda total de la varilla 5.5 m.m en el semestre 133.158 varillas.

Según la capacidad de producción la línea #1, esta puede producir 40280 varillas / mes, lo que a través de una regla de tres simple representa una capacidad de producción semestral de 241.680 varillas / mes.

Así comparando la capacidad de producción semestral con la demanda total semestral de la varilla 5.5m.m encontramos que la línea cuenta con capacidad

remanente y que de los 57600 min mensuales con los que cuenta la línea para producción únicamente se requieren 31736 min. Para satisfacer la demanda como se ve en el siguiente calculo

Capacidad de producción mensual **40.280** varillas, lo que representa **241.680** varillas semestralmente.

Demanda semestral **133.158** varillas

Esto en términos de porcentaje de utilización de la línea representaría un 56% de utilización, así en términos generales vemos que la línea esta siendo subutilizada.

### **Línea #2 y #3**

Para estas líneas se calculo la situación actual de la siguiente manera:

- Se tomó el tiempo disponible de las dos líneas como un tiempo global, debido a que son líneas de características iguales y están destinadas a producir el resto de especificaciones.
- Según las prioridades establecidas se hicieron los cálculos de utilización de la línea y así se veía si las líneas cuentan con la capacidad para satisfacer la demanda del resto de especificaciones.

Se comenzó por el calculo del tiempo requerido para producir las varillas de 4.5 m.m. (Prioridad 1) y el resultado se resto al tiempo total disponible para producción, así tuvo el tiempo restante disponible de producción que se utilizaría para fabricar el resto de especificaciones, con esta dinámica se trabajaron todos los cálculos.

### ***Varilla 4.5m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **115200** min.

Demanda semestral **93815** varillas/mes.

Capacidad de producción mensual de la línea **32700** varillas, lo que representa **196.200** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 87657 min.

### ***Varillas 5.0m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **87657** min.

Demanda semestral **70913** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **31560** varillas, lo que representa **189.360** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 66086 min.

### ***Varillas 4.0m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **66086** min.

Demanda semestral **54265** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **37500** varillas, lo que representa **225.000** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 52194 min.

### ***Varillas 6.0m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **52194** min.

Demanda semestral **48559** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **29640** varillas, lo que representa **177.840** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 36466 min.

### ***Varillas 3.5m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **36466** min.

Demanda semestral **28712** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **44020** varillas, lo que representa **264.120** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 30204 min.

### ***Varillas 7.0m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **30204** min.

Demanda semestral **22412** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **26680** varillas, lo que representa **160.080** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 22139.

### ***Varillas 6.5m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **22139** min.

Demanda semestral **21552** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **28100** varillas, lo que representa **168.600** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 14776.

### ***Varillas 8.0m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **14776**min.

Demanda semestral **18432** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **24100** varillas lo que representa **144.600** varillas semestralmente.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 7433

### ***Varillas 8.5m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **7433** min.

Demanda semestral **16929** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **22580** varillas.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo restante disponible para la producción de las otras referencias es 235.

### ***Varillas 7.5m.m***

Tiempo total disponible para producción semestral **235** min.

Demanda semestral **15036** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **25320** varillas.

Teniendo el tiempo para satisfacer dicha demanda y luego de restarlo al tiempo inicialmente disponible, se encuentra que el tiempo requerido es mayor que el tiempo disponible por lo cual en este punto se dejaría de satisfacer la demanda y para la varilla de 7.5m.m solo se cumple con 619 varillas de demanda, el valor restante tanto de esta especificación como de la especificación de 9.0m.m se dejaría de vender, por lo tanto no se venderían semestralmente alrededor de 29211 varillas.

Estimando un costo promedio por varilla de \$3000 m/c y una rentabilidad por varilla del 20% se tendría que:

$$\rightarrow (29211 \text{ varillas}) * \$3000 = \$87.633.000$$

$$\rightarrow \$87633000 * 20\% = \$17.526.600$$

El no satisfacer dicha demanda esta representando dejar de obtener utilidades por \$17.526.600

Calculando que tiempo se necesita adicional para poder satisfacer la demanda dejada de atender, se tiene que:

### ***Varillas 7.5m.m***

Demanda semestral restante por satisfacer **14417** varillas.

Capacidad de producción mensual de la línea **25320** varillas.

A través de una simple regla de tres se tiene que si para producir 25320 varillas se requieren 9600 min, para producir 14417 varillas ¿cuanto tiempo requerimos? Haciendo los cálculos se tiene que se requieren 5467 min.

### ***Varillas 9.0m.m***

Demanda semestral **14794** varillas.

Capacidad de producción de la línea **21520** varillas/mes.

A través de una simple regla de tres se tiene que si para producir 21520 varillas se requieren 9600 min, para producir 14794 varillas ¿cuanto tiempo requerimos? Haciendo los cálculos se tiene que se requieren 6600 min.

Como resultado final y realizando una sumatoria de los tiempos requeridos, se tiene que el tiempo adicional necesario para satisfacer toda la demanda es 12067 min., por lo que se deben buscar distintas formas para lograrlo. En este punto de la monografía, es donde entra en juego la aplicación del TOC para aumentar la capacidad de producción de la planta y así satisfacer la demanda del mercado.

Tal como se ha mostrado en este punto, se evidencia la existencia de una restricción que esta limitando el sistema y por lo tanto no le esta permitiendo cumplir con su meta "Generar más dinero".

### **3. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES – TOC AL PROCESO PRODUCTIVO VARILLAS DE HIERRO EN EL CONSTRUCTOR**

#### **3.1 GENERALIDADES DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES**

La Teoría de Restricciones (TOC – Teory Of Constrain) es una teoría creada por el científico judío Eliyahu M. Goldratt, aplicada en mayor parte a las empresas manufacturas, pero que puede ser aplicada en cualquier tipo de empresa, incluso a la planeación y mejoramiento de la vida personal.

La aplicación del TOC ofrece varios tipos de soluciones ya comprobadas a diferentes situaciones, entre las que se encuentran:

- Solución para el problema de producción.
- Solución para el problema de finanzas.
- Solución para el problema de distribución.
- Solución para el problema de mercadotecnia.
- Solución para el problema de proyectos.

A un nivel macro el TOC comienza su aplicación identificando cual es el problema raíz que esta ocasionando una restricción en el sistema. Para llegar a encontrar dicho problema se deben tener en cuenta todos los efectos indeseables que se están presentando en el sistema, crear una relación entre estos e identificar los resultados de dichas relaciones, para que así los resultados encontrados lleven a identificar plenamente el problema raíz.

Luego de haber identificado el problema raíz se procede a identificar la nube del

caso o el llamado conflicto, en la cual se tiene un objetivo claro que es alimentado por dos supuestos, de los cuales uno de ellos cuenta con un punto débil y por lo tanto es anulado a través de dicho punto, así encuentra cual es el supuesto a través del cual se debe trabajar y proponer una solución o inyección que permita destruir el conflicto “La nube”.

Después de comprender y aplicar los principios macros del TOC, se estará listo para examinar con mayor detalle las herramientas que esta metodología provee para optimizar el sistema. Estas herramientas son un conjunto de principios y conceptos que nos llevan a optimizar el sistema de producción. Entre los principios básicos se encuentran los cinco pasos de focalización para guiar los esfuerzos de mejora y gerenciar la restricción. Estos principios juegan un papel significativo en la gerencia de la restricción y la aplicación de las herramientas logísticas. Las herramientas logísticas utilizadas por el TOC incluyen el concepto DBR (Tambor - Amortiguador - Cuerda) utilizado para programar y asignar los recursos en las operaciones de producción.

Para el problema de producción como para los demás problemas planteados por TOC, la restricción limita al sistema y no lo deja cumplir su meta, que para cualquier tipo de empresa manufacturera es generar dinero. En el caso específico de producción, puntualizando el de la planta de El Constructor, la restricción no permite satisfacer la demanda de los clientes de varillas para la construcción y por ende no permite generar más dinero al negocio, de allí que la restricción se verá reflejada en la medida en que el tiempo demandado para producción por cualquier proceso de la empresa para cumplir con la demanda, sea mayor que el tiempo total disponible para la producción. Es decir cuando el tiempo que se tome un proceso para realizar todos los artículos demandados sea mayor que el tiempo total disponible para la producción de dicha demanda, se tendrá una restricción en el sistema. Cuando esto sucede se puede afirmar que la empresa no está satisfaciendo toda la demanda de los clientes y por ende no está cumpliendo a

cabalidad con su meta.

Para tener una concepción clara de lo que puede ser una restricción se debe tener en cuenta la aplicación de los siguientes pasos:

**Primer Paso:** Plantearse la pregunta ¿Cuál es la meta del sistema?. El propósito que busca la planta de producción de hierros de El Constructor. Debido a su concepción como empresa y a lo que se dijo anteriormente, su meta es generar dinero a través de la venta de varillas para la construcción, como uno de sus portafolios de negocio más representativos.

**Segundo Paso:** Este paso, un poco más difícil que el anterior, pretende determinar cuales son los factores críticos. ¿Cuáles son aquellas condiciones necesarias que deben satisfacerse para lograr la meta?, ¿Qué necesita la planta de El Constructor para lograr su meta?. Bueno en principio sería satisfacer el mercado que ya tiene como fin el asegurar sus ventas, por ende asegurar su permanencia en el tiempo y ganar mayor mercado debido al Good Will generado. Pero esto solo será posible con la correcta administración de la restricción. Al reconocer y trabajar sobre estos parámetros se tendrá una mayor ventaja competitiva, unos consumidores satisfechos y una satisfacción de los empleados. Pueden existir otras, pero recuerde que deben ser pocas, para ser trabajadas a profundidad.

Teniendo claro como determinar la restricción y que ventajas tiene una correcta administración de esta, se vera como se gerencia dicha restricción a través de los cinco pasos de focalización, los cuales fueron creados por Goldratt como forma para asegurar que la gerencia “mantenga los ojos sobre la bola”, lo que es realmente importante para el éxito: la restricción del sistema.

Por definición los cinco pasos de focalización, son un ciclo continuo, no se para

después de una rotación. A continuación se presenta una breve explicación de los cinco pasos de focalización planteados por el TOC

**1. Identificar la restricción.** ¿Qué limita actualmente el desempeño de la organización? Una vez identificada, si puede romperse sin mucha inversión hágalo inmediatamente y vuelva al primer paso. Si no, pase al segundo paso.

Para la aplicación de este paso, se tuvo que identificar en que parte del proceso de producción de hierro en la planta se esta limitando el sistema, en que parte esta la restricción, que como se dijo anteriormente estará en el proceso en el cual el tiempo demandado por producción para cumplir con la demanda de los clientes es mayor que el tiempo total actual disponible para la producción de varillas.

**2. Explotar la restricción.** Decida como explotar la restricción del sistema. “Explotar” significa “obtener lo máximo” del elemento restricción sin inversión adicional. En otra palabras, cambie la forma como opera para que el máximo beneficio financiero se logre del elemento restricción.

La explotación de la restricción debe ser el núcleo de la planeación táctica, asegurara el mejor desempeño que la planta de producción de El Constructor puede realizar ahora. Por esta razón, la responsabilidad de la explotación radica en el Gerente de la línea (o de la operación) quien debe proveer y comunicar el plan, para que todos los demás comprendan el escenario de explotación para el futuro inmediato.

**3. Subordinar todo al paso anterior.** Es el paso más difícil y más importante de los cinco pasos. Requiere que todas y cada una de las partes del sistema que no están directamente involucrados con la restricción, se subordinen o que coloquen en segundo lugar, sus propios medidores de éxito, sus eficiencias, sus egos. Requiere que todos comprendan que tener capacidad en exceso en la mayoría de

los sitios no es solamente aceptable, ¡es algo bueno y necesario!

La subordinación relega formalmente a todas las partes del sistema que no son restricciones al rol de apoyadores a la restricción. Esto puede crear problemas de comportamiento en casi todos los niveles de la empresa. Es muy difícil para muchas personas aceptar que ellos y sus áreas no son tan críticas para el éxito del sistema como otra. En consecuencia, muchas personas de las áreas no-restricción se resistirán a hacer las cosas necesarias para subordinar el resto del sistema a la restricción. Eso es lo que hace que el tercer paso sea tan difícil de lograr.

Lo que hace que la restricción sea lo mas crítico para la organización es su debilidad relativa. Lo que distingue a las no-restricciones es su fortaleza relativa, lo que les permite ser más flexibles. Así que el desempeño actual de la organización realmente depende del punto débil. Mientras que las otras partes del sistema pueden hacer más, debido a la existencia de ese punto débil, no tiene sentido hacer más. En vez de ello, la clave para un mejor desempeño es subordinar sabiamente a los puntos fuertes para que el punto débil pueda ser explotado completamente.

Para el TOC, la subordinación permite enfocar los esfuerzos del sistema en las cosas que le ayudan a maximizar su desempeño actual. Las acciones que contradicen la racionalidad de la subordinación deberían suprimirse.

**4. Elevar.** Es posible que, después de completar el tercer paso, se pueda romper la restricción del sistema. Si es así, debería ser claramente obvio. El resultado a nivel del sistema usualmente va a dar un salto positivo, y alguna otra parte de la planta va a comenzar a parecer un cuello de botella. Si este es el caso, vuelva al primer paso y comience nuevamente con los cinco pasos de focalización. Identifique cuál nuevo factor se ha convertido en la restricción del sistema,

determine la mejor forma de explotar ese componente y subordine todo lo demás.

Si la restricción original sigue siendo la restricción, en este punto usted puede estar seguro de que está exprimiendo la mayor productividad posible, no es posible para el sistema un mejor desempeño que ese, sin acciones gerenciales adicionales. Si este es el caso, es necesario proceder con el cuarto paso para obtener un mejor desempeño del sistema. ***Evalúe formas alternas para elevar la restricción***, en el cual “elevar” significa incrementar la capacidad. Hay que obtener más tiempo para el proceso que está limitando el sistema. Elevar invariablemente significa “gastar más dinero para generar más dinero”.

Se enfatiza la acción de evaluar por una buena razón. Debe quedar claro de que existe más de una forma para elevar. Algunas alternativas son menos costosas que otras. Algunas son más atractivas por algunas razones que no pueden medirse directamente en términos financieros (por ejemplo, más fácil de gerenciar). En cualquier caso, usualmente se va a necesitar tener una opción para elevar la restricción, de forma que se puede pensar que no necesariamente es una buena idea saltar directamente a la primera opción.

Una de las razones para favorecer una opción de elevación sobre la otra, es la identidad de la próxima restricción potencial. Como se ha visto, las restricciones nunca desaparecen del todo. Cuando se rompe una restricción, hay algún otro factor que se convierte en la nueva restricción del sistema. Es posible que la próxima restricción potencial pueda ser más difícil de gerenciar que la que tenemos actualmente, puede reducir el margen de control que se tiene sobre el sistema.

También es posible que dos diferentes opciones de alternativas puedan llevar a la restricción del sistema a diferentes escenarios, y uno de ellos puede ser el preferido, o puede ser que al enfrentar la nueva restricción potencial se requiera

un tiempo de entrega mucho mayor que al romper la restricción actual. En este caso, si se decide romper la restricción actual, se debe tener que comenzar con anticipación las tareas necesarias para realizar algún control sobre la nueva restricción.

**5. Vuelva al paso 1, pero cuídese de la Inercia.** Si el paso de la *subordinación* no rompe la restricción del sistema, el paso de la *elevación* lo hará, a menos que una decisión consciente se haga para impedir que las acciones de elevación puedan romper la restricción. En cualquier caso, luego de los pasos de *subordinación* o de *elevación*, la planta de producción de El Constructor deberá volver al primer paso (identificar) para asegurarse en dónde está la nueva restricción del sistema, o para verificar que no ha migrado de su lugar original.

Algunas veces la restricción se mueve no como resultado de acciones intencionales, sino como resultado de un cambio en el entorno. Por ejemplo, un cambio en las preferencias del mercado puede llevar a cambiar nuestra demanda hasta el punto en que la restricción se mueva a otro sitio. Aunque estos cambios externos no ocurren con mucha frecuencia, es importante volver al primer paso de cuando en cuando, simplemente para verificar que es cierto que lo que se cree que es la restricción, aún es, de hecho, el factor limitante en la planta de producción.

La advertencia acerca de la inercia significa que no se debe volver complaciente. Hay dos razones para ello. *Primero*, cuando la restricción se mueve, las acciones que se colocan en su lugar para *explotar* y *subordinarse* a la antigua restricción, puede que no sean las mejores cosas para hacer en beneficio de todo el sistema. Si no se reevalúa dónde está la nueva restricción del sistema, nunca se va a notar esta deficiencia. En *segundo* lugar, generalmente hay una tendencia de decir: “Bueno, se ha resuelto ese problema. No es necesario volver a revisarlo”. Pero la solución de hoy eventualmente puede convertirse en la curiosidad histórica del

mañana. Si se es muy perezoso para revisar las soluciones antiguas (o la atención se distrae por otras demandas), se podrá estar seguro que eventualmente, más pronto que tarde, no va a estar obteniendo el mejor desempeño posible del sistema.

Las herramientas logísticas del TOC, Tambor-Amortiguador-Cuerda (DBR) son utilizadas para programar y asignar los recursos en las operaciones de producción y así procurar que la restricción siempre este trabajando y no pare de hacerlo a menos que Murphy la ataque directamente, ya que cuando la restricción para de trabajar se afecta directamente la generación de dinero.

El tambor como su nombre lo indica marca el ritmo de la planta, el tambor es la misma restricción y se dice que debe marcar el ritmo debido a que los demás procesos deberán andar a su paso, ya que no tiene sentido crear un inventario de productos en procesos que no va ha ser terminado subsecuentemente, cuando se podrían utilizar dichos recursos en otras actividades que generen dinero a la compañía.

El amortiguador de la planta permitirá sortear los problemas que se puedan presentar por el ataque de Murphy, ya que dará el tiempo suficiente para solucionar el problema sin afectar los tiempos de producción y por ende los de entrega.

El amortiguador esta concebido como un inventario que se crea para la restricción, con el fin de evitar que la restricción se vea obligada a parar por no tener inventario con que trabajar. Esta situación se presenta principalmente por el ataque de Murphy en los procesos que alimentan la restricción. Dicho inventario esta concebido en tiempo y no en unidades.

La cuerda es un concepto no tangible pero de gran ayuda para la gerencia de la

restricción, debido a que la aplicación de este concepto permitirá asegurar que el amortiguador nunca se vea afectado y siempre se encuentre en sus niveles óptimos y por ende que la restricción siempre tenga inventario con que trabajar y no se vea obligada a para por falta de inventario.

La cuerda para el sistema de producción de El Constructor, consiste en que siempre que un rollo de varilla salga del proceso de producción, que es la restricción del sistema, el proceso anterior a este lo alimente sin ninguna demora para que no ocurra lo expresado anteriormente.

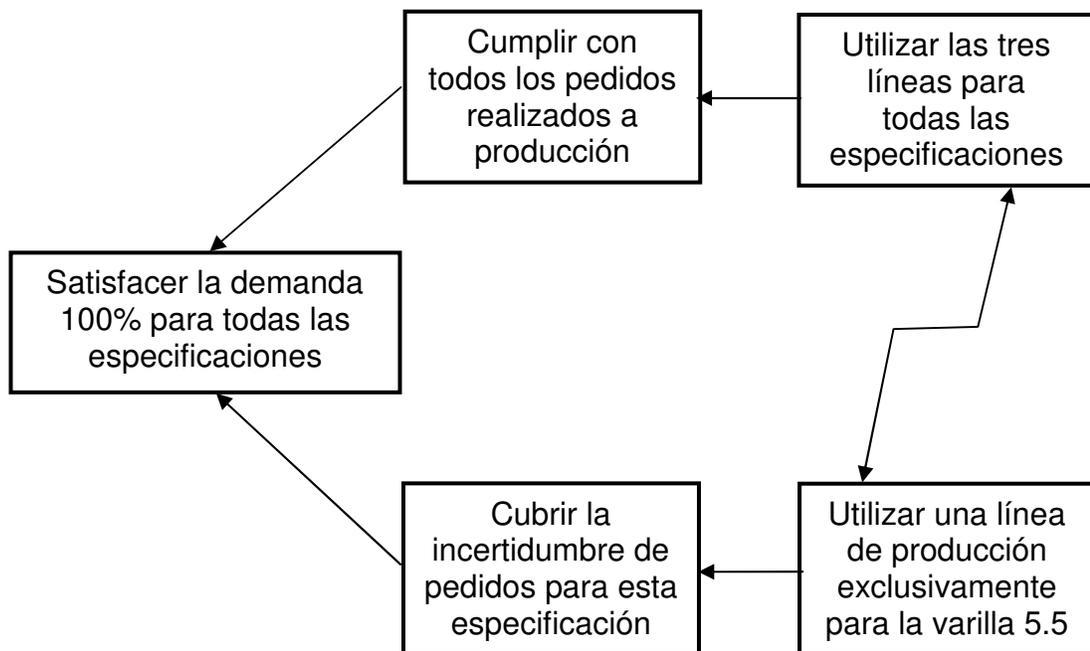
De acuerdo a todo lo expresado con relación al TOC, se tiene una idea de lo que abarca esta teoría como aplicación a la solución del problema de producción y se esta en todas las condiciones para abordarla.

### **3.2 DIAGRAMA Y ANÁLISIS DE LA NUBE DEL CASO**

En El Constructor, para satisfacer la demanda de varillas por parte de los clientes, por un lado hay que cumplir con todos los pedidos que se hagan a producción y por el otro hay que cubrir la incertidumbre de los pedidos del mercado, para la especificación de 5.5 m.m.

Bajo el concepto mostrado anterior mente se construye y analiza la nube del caso (ver figura 9) y se llega a la siguiente conclusión:

Para cubrir la incertidumbre de los pedidos del mercado para la especificación de 5.5 m.m, no es necesario utilizar exclusivamente la línea #1 para fabricar esta especificación, ya que de esta manera la línea esta siendo subutilizada representando tiempo disponible para fabricar otras especificaciones.



**Figura 11. Diagrama de la Nube Caso Proceso Productivo de Varillas en El Constructor**

Para cumplir con todos los pedidos de producción si es necesario utilizar las tres líneas de producción.

En esta nube, el conflicto se presenta al constatar que si se utiliza la línea #1 exclusivamente para la especificación de 5.5 m.m seguramente se cubrirá la incertidumbre de pedidos para esta especificación pero no se podrá satisfacer toda la demanda de varillas, lo que representa la actualidad de la empresa.

La inyección o la solución es dar prioridad a la especificación 5.5 m.m en la línea #1, pero al momento de haber cumplido con la orden de producción de dicha especificación, se debe iniciar el proceso de fabricación de otro tipo de varilla (otra especificación) distinta a la de 5.5 m.m. Luego de haber aplicado al inyección y destruido la nube del caso, se pasa a una futura realidad donde no se presentan los efectos indeseables mencionados y donde se esta cumpliendo con el objetivo de la nube.

### **3.3 DIAGRAMA DE LA FILOSOFÍA ADMINISTRATIVA DE TOC**

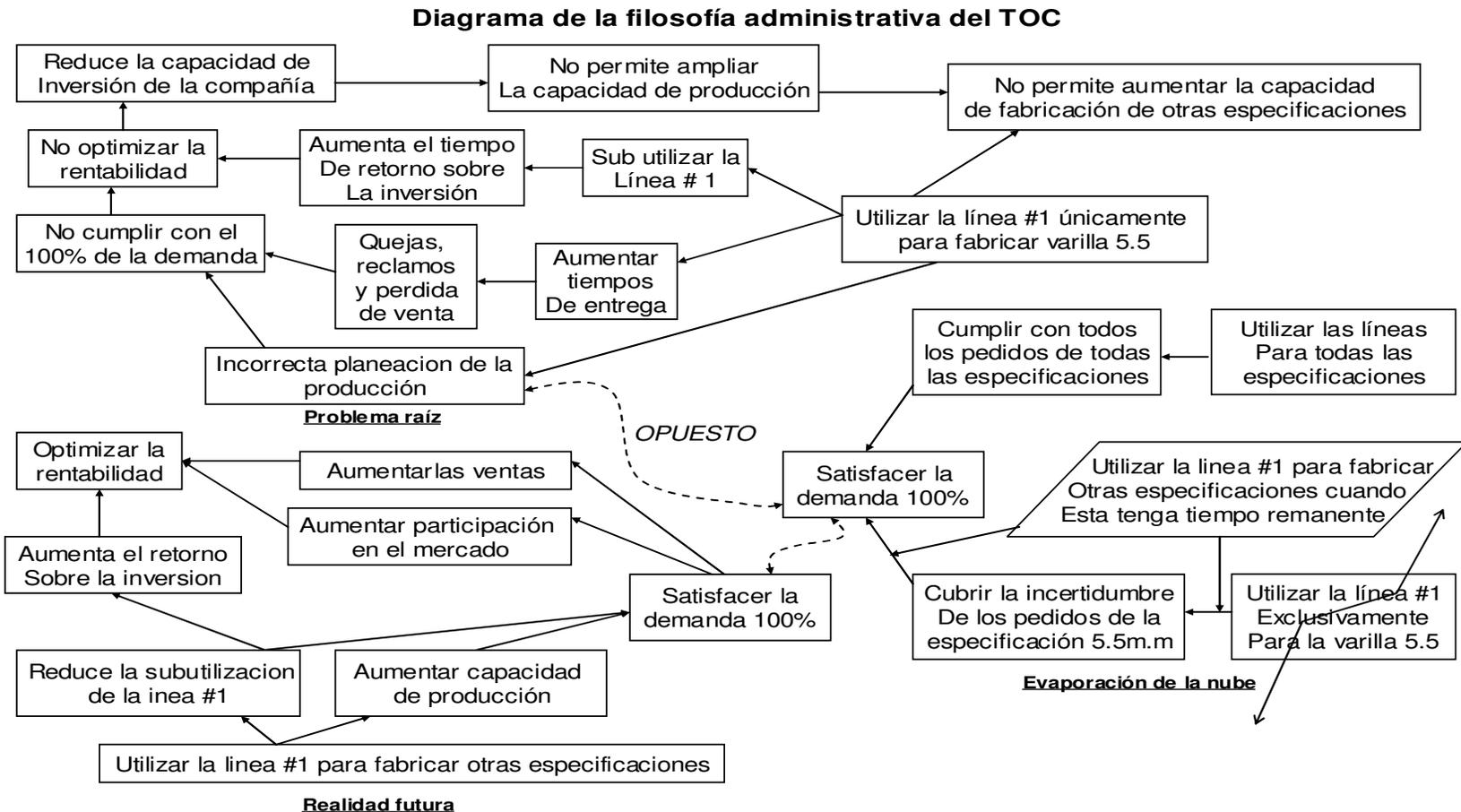
En la figura 10, se encuentran las tres etapas básicas por las que transcurre el proceso administrativo del TOC, se ve como de una realidad actual en la que se tiene un problema raíz que no permite cumplir a la compañía con su meta, se pasa a identificar un conflicto (la nube) en el cual se anula uno de los supuestos a través de un punto débil, lo que se denomina evaporación de la nube, para posteriormente de este punto proponer la solución (la inyección) y así poder pensar en una realidad futura que permita cumplir con el objetivo de la nube.

### **3.4 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA RAIZ Y EFECTOS INDESEABLES**

El problema raíz radica en la incorrecta planeación de la producción, debido a la utilización exclusiva de la línea #1 para la fabricación de la especificación de 5.5mm, por ser la especificación que marca la pauta para los despachos y que su demanda, en la mayoría de los casos, se presenta de manera inesperada. Al hacer esta consideración, la Administración de la planta de producción de El Constructor, no está teniendo en cuenta que este manejo está dando a la planta efectos indeseables como:

- Subutilización de la maquinaria en la planta.
- Poca capacidad para aumentar la producción de especificaciones distintas a 5.5mm.
- Largos tiempos de entrega.
- Insatisfacción de la demanda.
- Quejas y reclamos por parte de los clientes.
- Pérdida de ventas.
- Rentabilidad no óptima.

Estos efectos son el resultado de la actual política de producción que se está dando en la planta y que en el siguiente capítulo, donde se construyen los escenarios, se plantean las soluciones propuestas después de aplicar la filosofía del TOC.



**Figura 12. Diagrama de la Filosofía Administrativa del TOC Caso Proceso Productivo de Varillas en El Constructor**

## 4. ESCENARIOS

### 4.1 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Los escenarios que se estudiaron en el desarrollo de esta investigación están definidos según las expectativas de la compañía, la tendencia de comportamiento de la demanda y la situación actual del sector de la construcción en la Costa Atlántica, mercado de influencia directa de la empresa.

Según lo manifestado por la alta dirección de la compañía, se proponen tres (3) escenarios para ser analizados, a saber: Escenario Pesimista, Escenario Normal y Escenario Optimista. Las características de cada uno están dados de la siguiente manera:

#### **Escenario Pesimista**

Para la compañía el escenario pesimista se presenta si las ventas estuvieran a tal punto que la demanda se pudiera cubrir con el stock mínimo de producto o incluso se generara inventario de sobra con dicho stock.

En este momento las ventas estarían en el punto más bajo de los últimos años de la compañía, por lo cual representaría un escenario totalmente pesimista para ellos. Las ventas para cada referencia de varilla producidas por la empresa en este escenario, estarían dadas según la Tabla 8.

**Tabla 8 Nivel de Venta de Varillas para el Escenario Pesimista**

<b>VARILLA</b>	<b>DEMANDA MINIMA</b>
3.5 m.m	3000 Unidades
4.0 m.m	7000 Unidades
4.5 m.m	14000 Unidades
5.0 m.m	10000 Unidades
5.5 m.m	15000 Unidades
6.0 m.m	7000 Unidades
6.5 m.m	2500 Unidades
7.0 m.m	3000 Unidades
7.5 m.m	2000 Unidades
8.0 m.m	2000 Unidades
8.5 m.m	2000 Unidades
9.0 m.m	2000 Unidades

### **Escenario Normal**

Según las expectativas del constructor un escenario normal se presentaría en caso que las ventas estuvieran en un promedio simple del stock mínimo de ventas y las ventas actuales (año 2005), que para sus expectativas son demasiado buenas. Dicho promedio de ventas les aseguraría cierta participación en el mercado y además cierto flujo de caja con el cual se podría mantener la planta sin problemas.

Al promediar el stock mínimo de ventas con las ventas actuales (Año 2005), se obtuvo el nivel de ventas para la compañía que se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9 Nivel de Venta de Varillas para el Escenario Normal**

<b>VARILLA</b>	<b>DEMANDA</b>
3.5 m.m	3700 Unidades
4.0 m.m	7500 Unidades
4.5 m.m	14100 Unidades
5.0 m.m	10400 Unidades
5.5 m.m	18000 Unidades
6.0 m.m	7100 Unidades
6.5 m.m	2800 Unidades
7.0 m.m	3200 Unidades
7.5 m.m	2100 Unidades
8.0 m.m	2400 Unidades
8.5 m.m	2300 Unidades
9.0 m.m	2200 Unidades

**Escenario Optimista**

Para la compañía un escenario optimista se presentaría si las ventas se mantienen al igual que el año 2005, o aumentan en el ritmo en que han venido aumentando en los últimos dos años, por esto el nivel de ventas para este escenario sería una proyección de la demanda para el año 2006, donde se tomaron como parámetros los años 2004 y 2005, años en los cuales la demanda ha tendido a la alza (ver tabla 10).

**Tabla 10. Nivel de Venta de Varilla para el Escenario Optimista**

Referencia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	<b>TOTALES</b>
Especificación							
5.5	21966	22309	21624	19777	23377	24103	133158
Otras Especificaciones							
3.5	4505	4180	4709	6288	4667	4363	28712

4.0	8726	8792	8935	9373	9161	9277	54265
4.5	13753	15417	19123	11357	17371	16795	93815
5.0	13595	9327	10434	10998	13218	13340	70913
6.0	7240	6206	8095	9959	8936	8123	48559
6.5	1508	3023	3321	3256	6000	4415	21522
7.0	4710	1439	2936	4555	4653	4119	22412
7.5	1189	2057	2383	1117	4043	4248	15036
8.0	3506	3402	2388	1596	4076	3464	18432
8.5	4520	1287	2554	2309	3142	3117	16929
9.0	2940	1309	2277	1883	2830	3556	14794

## 4.2 NIVEL DE POSIBILIDAD DE CADA ESCENARIO Y SELECCIÓN DE ESCENARIO

La posibilidad que se presente cualquiera de los escenarios, se a considerado que depende de dos puntos importantes.

- Estado de las ventas en los últimos 2 años. Este punto evaluará el estado de las ventas en los últimos años, y de esta manera se califica cada uno de los escenarios según su nivel esperado de ventas.

Como se puede ver en el análisis y pronóstico de la demanda, el comportamiento de las ventas en los últimos dos años a superado en un 100% las expectativas de ventas de un escenario pesimistas. Del año 2004 al año 2005 se presento una tendencia a la alza en la demanda, que permitió superar las expectativas de ventas de un escenario normal, además al tomar como base de datos los registros de ventas de los años 2004 y 2005 y revisar el pronostico de ventas que se ajusto a las características de misma (ver análisis y pronostico de la demanda), se vio que la tendencia continua a la alza, por lo cual el escenario normal continua perdiendo posibilidades de presentarse, así que se puede concluir que según el punto de vista de las ventas el escenario mas ocionado seria el escenario optimista.

- La situación del sector de la construcción tanto en Cartagena como en toda la Costa Atlántica. Se analizó la situación del sector de la construcción tanto en Cartagena como en la costa atlántica, así se puede tener un macro concepto real del comportamiento de dicho mercado y así se consideraría un futuro comportamiento del mismo.

Según las estadísticas del DANE se encontró que:

En enero del 2006 a nivel general en Colombia se licenciaron más de 1 223 827 m<sup>2</sup>, 233 686 m<sup>2</sup> más que en el 2005, en los cuales Bolívar en compañía del Valle del Cauca son los que más puntos porcentuales suman en conjunto a esta cifra con 9.09, después de Bogotá que suma un 14,54 y seguidos por Antioquia con 4,08.

Si se estudia puntualmente Bolívar y Atlántico, se encuentra que:

- Comparando enero del 2004 y del 2005, Bolívar pasó de 2051 m<sup>2</sup> aprobados para construcción a 38454 m<sup>2</sup> y Atlántico pasó de 19190 m<sup>2</sup> a 31553 m<sup>2</sup>, lo que muestra alzas en ambos departamentos para dicho mes.
- Comparando los 12 meses a enero, Bolívar pasó de 157 757 m<sup>2</sup> aprobados para construcción en el 2004 a 305 653 m<sup>2</sup> en el 2005 y Atlántico pasó de 496 754 m<sup>2</sup> aprobados para construcción en el 2004 a 540 997 m<sup>2</sup> en el 2005, lo que igualmente muestra alzas en ambos departamentos.

Así se puede ver que los índices de construcción tanto en Bolívar como en el Atlántico tienden a la alza, lo que hace suponer que igualmente la demanda de los materiales de construcción incrementará y entre estos materiales se encuentran las varillas.

De esta manera se llega a la conclusión que el escenario mejor calificado según este punto sería el optimista, ya que es el que trabaja con unos índices de demanda mayores a los del 2005.

Con base a los puntos mencionados anteriormente y el análisis hecho sobre cada uno de los escenarios, se le dio una calificación de 1 – 5 a cada escenario, según sea el estado de cada uno con respecto al punto evaluado, siendo 1 el puntaje más bajo y 5 el más alto, para el cual bajo representaría el de menos posibilidad de presentarse y alto el de mayor posibilidad de presentarse. De esta manera y según sea el puntaje obtenido en cada escenario, se conoce cual es la posibilidad de que se presente alguno de ellos y según esto se trabajó en el proyecto con dicho nivel de ventas.

**Tabla 11. Puntuación de Cada Escenario Para su Selección**

<i>Escenario</i>			
<i>Evaluación</i>	<b>Pesimista</b>	<b>Normal</b>	<b>Optimista</b>
<b>Según ventas</b>	1	3	5
<b>Según la situación actual del sector</b>	1	2	5
<b>Total puntuación</b>	2	5	10

Según lo analizado y el resultado de la puntuación en cada uno de los escenarios, se puede ver que el escenario con mas posibilidades de presentarse es el optimista, por lo cual todo el análisis de Teoría de Restricciones se trabajara con base a los niveles de ventas de dicho escenario, para lo cual se utilizara el pronóstico de la demanda del primer semestre del 2006.

### 4.3 APLICACIÓN DE LOS 5 PASOS DE FOCALIZACIÓN

**4.3.1 Identificar la restricción del sistema.** Para identificar la restricción del sistema se calcula el tiempo requerido por cada proceso (Trefilado, Enderezado, Cortado) para satisfacer la demanda, en la medida que el tiempo demandado por alguno de los procesos para satisfacerla sea mayor al tiempo disponible para producción, hay se encontró la restricción del sistema.

#### Línea 1

Demanda semestral varillas 5.5m.m 133158 unidades.

Procesos	Tiempo de proc. 250 unid	Tiempo disp. Semestral (Td)	Tiempo requerido semestral (Tr)	Relación
<b>Trefilado</b>	53 min.	57600 min.	28230 min.	Tr < Td
<b>Cortado</b>	23 min.	57600 min.	12251 min.	Tr < Td
<b>Enderezado</b>	18 min.	57600 min.	9587 min.	Tr < Td

Reglas de tres para calcular Tr.

53 min.	—————>	250 unid
x	—————>	133158
23 min.	—————>	250 unid
x	—————>	133158
18 min.	—————>	250 unid
x	—————>	133158

Como se puede notar en ningún caso en la línea #1 el tiempo requerido es mayor al tiempo disponible, por lo cual no se encontró restricción en esta línea, por el contrario la línea cuenta con una capacidad remanente, como se vio en el capítulo de planeación agregada actual.

### **Línea #2 y #3**

Para el caso de las líneas 2 y 3 la restricción se calculo de la misma manera que en el caso de la línea #1, con la diferencia que estas dos líneas se trabaja como una sola ya que son de características exactas y están destinadas a fabricar el resto de especificaciones, por lo que el tiempo disponible semestral se duplicaría.

Primero se tiene el tiempo de proceso por cada una de las especificaciones en cada uno de los respectivos procesos, estos tiempos están dados para la producción de 150 unidades.

<b>Referencia</b>	<b>Demanda semestral por referencia</b>	<b>Tiempo de pro-ceso trefilado x 150 unid</b>	<b>Tiempo de pro-ceso enderezado x 150 unid</b>	<b>Tiempo de pro-ceso cortado x 150 unid</b>
3,5	28712	31 min.	13 min.	9 min.
4,0	54265	36 min.	15 min.	12 min.
4,5	93815	41 min.	19 min.	14 min.
5,0	70913	42 min.	19 min.	15 min.
6,0	48559	44 min.	24 min.	18 min.
6,5	21522	46 min.	26 min.	20 min.
7,0	22412	48 min.	28 min.	22 min.
7,5	15036	50 min.	30 min.	24 min.
8,0	18432	52 min.	32 min.	27 min.
8,5	16929	55 min.	34 min.	29 min.
9,0	14794	57 min.	37 min.	31 min.

Luego a través de reglas de tres simples directas se calculan los tiempos requeridos semestrales, por cada una de las especificaciones en cada uno de los respectivos procesos, según la demanda.

Ya calculado el tiempo requerido por proceso semestralmente según el total de la demanda, ahora se busca la relación entre el tiempo requerido y el tiempo disponible, para verificar si hay alguna restricción en las líneas.

**Tabla 12 Tiempos Requeridos Semestralmente por cada Etapa del Proceso para Satisfacer la Demanda**

<b>Referencia</b>	<b>Tiempo reque- rido trefilado Semestral</b>	<b>Tiempo reque- rido enderezado semestral</b>	<b>Tiempo reque- rido trefilado semestral</b>
3,5	5934	2488	1723
4,0	13024	5427	4341
4,5	25643	11883	8756
5,0	19856	8982	7091
6,0	14244	7769	5827
6,5	6600	3730	2870
7,0	7172	4184	3287
7,5	5012	3007	2406
8,0	6390	3932	3318
8,5	6207	3837	3273
9,0	5622	3649	3057
<b>Total tiempo requerido semestral(Tr)</b>	115702 minutos	58890 minutos	45949 minutos

Procesos	Tiempo disp. Semestral (Td)	Tiempo requerido semes. (Tr)	Relación
<b>Trefilado</b>	115200 min.	115702 min.	Tr > Td
<b>Cortado</b>	115200 min.	58890 min.	Tr < Td
<b>Enderezado</b>	115200 min.	45949 min.	Tr < Td

Como se nota en la información anterior el tiempo requerido semestral por el proceso de trefilado para satisfacer la demanda, es mayor que el tiempo disponible semestral entre las dos líneas para producción, por lo cual la restricción del sistema sería el proceso del trefilado en las líneas # 2 y #3.

Al ser el proceso del trefilado la restricción del sistema, el cuello de botella es el proceso que marca la pauta en la planta de producción y como se puede analizar en el ítem “**cuellos de botella y tiempos de ciclo**”, el tiempo que demora el proceso de trefilado en estas líneas es igual al tiempo de ciclo , por lo cual cualquier tiempo que se gane en este proceso representaría más ciclos en las líneas de producción, ósea más producción de varillas, lo que se ve reflejado directamente en la satisfacción de la demanda que no se puede alcanzar según la estructura de funcionamiento actual, como se vio en el ítem de “**planeacion agregada actual**”. Esto representa directamente aumento de ventas por consiguiente aumento de la utilidad neta para la compañía (throughput), igualmente cualquier tiempo que se pierda en la restricción significara varillas no vendidas ósea menos throughput

**4.3.2 Definir como explotar la restricción:** Para definir como explotar la restricción hay que tener en cuenta que no se puede incurrir en sobre costos. Para esto se deberán aplicar unas correcciones en los métodos de trabajo y se deberán aplicar la inyección planteada en la nube del ítem “**diagrama y análisis de la**

***nube del caso”.***

Primero se exploraran las mejoras sobre los métodos, para explotar la restricción.

1. Este primer punto antes de ser una mejora es una recomendación que permitirá que no se pierda tiempo en la restricción lo cual significa que:
  - Debe realizar una inspección a la materia prima que entra al trefilado debido a que al entrar materia prima de mala calidad esto termina en un reproceso, lo que como resultado final significa varillas no vendidas, por ejemplo: si entro materia prima de mala calidad al proceso de trefilado, este se realiza y al terminar dicho proceso toca sacar 200 varillas por mala calidad a un costo promedio de \$2000 con un margen de contribución de 20%, esto representaría \$80000 en utilidad neta perdidas.
  - La restricción no puede parar su proceso por falta de materia prima, cuando esta se encuentra en el almacén por negligencia o descuido de los operarios a que como lo vimos en el ejemplo anterior perdidas de tiempo en la restricción se reflejan en perdida de ventas.
2. Aplicar la inyección propuesta en la nube del caso.

Para esto se utiliza el proceso de trefilado de la línea #1 para fabricar otras especificaciones, para después de trefiladas pasen a los procesos de enderezado y cortado en sus respectivas líneas. Si se nota en el ítem ***“identificación de la restricción”***, el proceso de trefilado de la línea #1 cuenta con capacidad remanente de 29370 min. esto significa que se utiliza dicho tiempo para fabricar la demanda restante no satisfecha, teniendo en cuenta que en esta línea la prioridad # 1 es la especificación de 5.5m.m y que siempre que halla algún pedido de esta especificación no se podrá fabricar uno distinto, debido a que esta especificación es la que marca la pauta de los

despachos.

Si se revisa el ítem sobre “**planeacion agregada actual**” se pueden dar cuenta que la demanda se satisfago hasta la especificación 7.5m.m, lo que significa que el tiempo ganado con esta propuestas estaría ayudando a satisfacer la demanda restante, para este caso la demanda de las especificaciones de 7.5m.m. y de 9.0m.m.

Teniendo en cuenta que la línea #1 es alrededor de un 20% más lenta que la línea #2 y #3, para considerar esto al tiempo requerido por estas se le adiciona un 20% más.

Aplicando estas mejoras directamente a la demanda no satisfecha se obtiene que:

#### ***Varillas 7.5m.m***

Demanda semestral por satisfacer **14417** varillas.

#### ***Varillas 9.0m.m***

Demanda semestral por satisfacer **14794** varillas.

Según lo planteado en el ítem de planeacion agregada actual se tiene que el tiempo adicional necesario de trefilado para satisfacer la demanda es igual a 12067 min, pero como este proceso se trabajaría en la línea #1, adicionaríamos el 20% promedio al tiempo adicional necesario, generando un gran total de tiempo adicional necesario de 14481 min.

Al comparar la capacidad remanente de la trefiladora de la línea # 1 29370 min., con el tiempo adicional necesario para satisfacer la demanda 14481 min, se dan

tiene que aplicando la inyección se alcanza a satisfacer toda la demanda y por ende se rompe la restricción del sistema. En términos de demanda, esto representaría ventas adicionales por 29211 varillas, lo que en términos de pesos a un costo promedio de \$3000 por varilla y un margen de contribución del 20% en cada una, representaría ventas adicionales por \$87.633.000 con utilidades netas por \$17.526.600, lo que justificaría la aplicación del TOC.

En este punto se ha roto la restricción del sistema por lo cual no es necesario aplicar el cuarto paso de focalización, simplemente se pasa al tercero y luego al quinto.

**4.3.3 Subordinar todo a la decisión anterior:** En este paso se debe buscar que los procesos de enderezado y cortado trabajen para ayudar al proceso del trefilado, que no busquen optimizaciones locales, sino optimizaciones globales para toda la planta, esto depende tanto de los operarios como de la alta gerencia, debido a que se tiene que trabajar por mejorar la restricción.

Debido a las características del proceso productivo de la planta, este paso está dado previamente, debido a que la dependencia entre los procesos es total y no se puede comenzar uno sin terminar el otro, y la restricción es el primer proceso del sistema lo cual implica que la enderezadora y la cortadora trabajen al ritmo de la Trefiladora

**4.3.4 Elevar la restricción del sistema:** Este paso ya no es necesario debido a que en el segundo paso de focalización se destruyó la restricción del sistema, por que se está cumpliendo con toda la demanda, ahora la restricción se encuentra en otro punto.

**4.3.5 Volver al paso 1, evitando la inercia:** En este paso ya se ha eliminado la restricción del sistema, lo que implica comenzar el proceso nuevamente y así no caer en la inercia debido a que la restricción se encontrara en otro lugar ya sea interno o externo y se debe trabajar para eliminar la nueva restricción.

Aquí se evalúa:

- ¿Qué limita el desempeño de la organización?

Una vez se identifica que limita el desempeño se continuara con el paso de definir como explotar la restricción y así sucesivamente.

Luego que se encuentra la limitante del sistema, la nueva restricción se aplica cualquiera de las soluciones propuestas por TOC según sea el caso.

#### **4.4 TAMBOR, CUERDA Y AMORTIGUADOR**

**4.4.1 Definición y descripción del tambor en la planta.** El tambor en la planta es la misma restricción del sistema, el cual sería el proceso del trefilado de las líneas #2 y #3. Se denomina tambor debido a que dicho proceso es el que marca el ritmo del sistema y todos deben trabajar a su ritmo, es decir, los procesos de enderezado y cortado deben trabajar al ritmo del proceso de trefilado, en la planta de producción del constructor la aplicación del tambor está implícita en el proceso productivo, primero, por que los procesos son totalmente dependientes y segundo por que le tambor es el primer proceso del sistema y es el que marca la velocidad de éste.

**4.4.2 Identificación de la la cuerda ubicación y funciones.** La cuerda es un concepto no palpable pero si de gran utilidad en la planta de producción, este concepto nos ayudara a tener trabajando la restricción el 100% de tiempo total

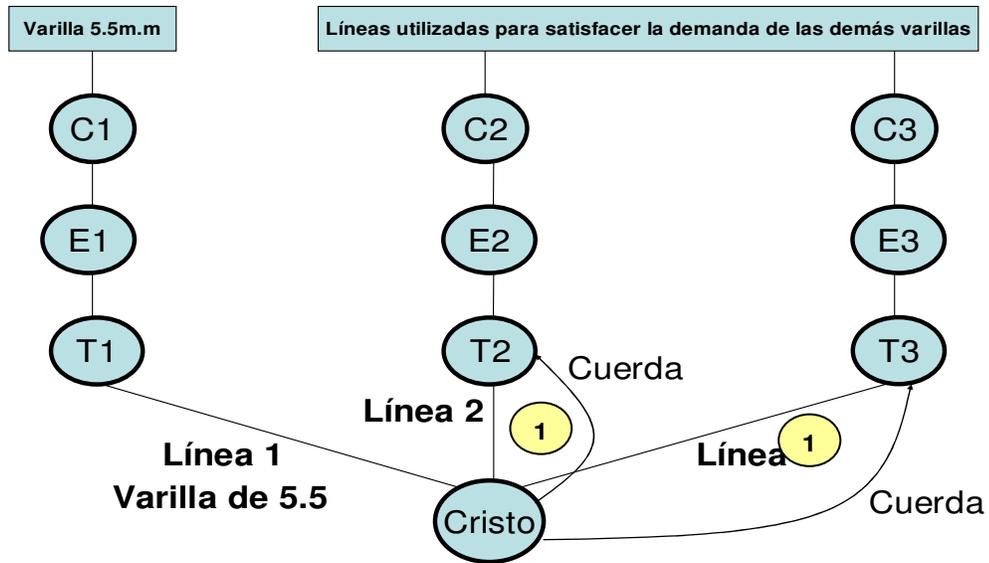
disponible para producción.

La cuerda consiste en procurar que siempre que el proceso del trefilado en las líneas #2 y #3 produzca una unidad (en este caso un rollo) tenga materia prima con que alimentarse, que no ocurra que la restricción se valla a parar por no tener materia prima con que trabajar.

Igualmente la cuerda asegura que el amortiguador se mantenga en su punto mas alto, debido a que en el punto en que la restricción deje de trabajar, el amortiguador comenzara a utilizarse.

Por esto el almacén de materia prima debe procurar mantener el stock suficiente para que la restricción no para, ya que el producto que alimenta la restricción se encuentra en el almacén, de igual manera el operario no puede descuidar y debe procurar alimentar la restricción en el tiempo estipulado y sin falta tener la materia prima lista sobre el cristo para alimentar la restricción, ya que este en la practica seria la cuerda del sistema (ver figura 13)

## UBICACIÓN DE LA CUERDA



1

*Cada vez que alguna de las dos trefiladoras termine de procesar un rollo, el cristo debe tener materia prima disponible para comenzar con otro rollo.*

**Figura 13 Ubicación de la Cuerda en la Planta**

**4.4.3 Calculo y aplicación del amortiguador de la planta:** El amortiguador esta concebido como un inventario que se crea para la restricción, con el fin de evitar que dicho proceso se vea obligada a parar por no tener inventario con que trabajar. Esta situación se presenta principalmente por el ataque de Murphy en los procesos que alimentan la restricción. Dicho inventario esta concebido en tiempo y no en unidades.

Debido a que la teoría de restricciones nunca se a aplicado en la planta de producción del constructor, se utilizo el amortiguador inicial, El amortiguador inicial considerado en la planta de producción del Constructor será igual al 50% del tiempo del proceso para un rollo, pero como en la planta encontramos varios tiempos de procesos para cada rollo (Teórico), esto implicaría varios

amortiguadores, para lo cual hallaremos el amortiguador para cada especificación de varilla, luego los promediaremos y así obtener el valor del amortiguador inicial.

Tengamos en cuenta que las varillas de 5.5m.m no serán tomadas en cuenta debido a que estas son trabajadas en la línea #1, que no es considerada restricción.

**Tabla 12 Calculo de Amortiguador Inicial Según Especificaciones**

<b>Especificación</b>	<b>Tiempo de proceso</b>	<b>50% de cada tiempo</b>
3.5	56 min.	28 min.
4.0	66 min.	33 min.
4.5	74 min.	37 min.
5.0	80 min.	40 min.
6.0	89 min.	44.5 min.
6.5	95 min.	47.5 min.
7.0	101 min.	50.5 min.
7.5	108 min.	54 min.
8.0	114 min.	57 min.
8.5	121 min.	60.5 min.
9.0	128 min.	64 min.
<b>Total tiempo de proceso promediado</b>		<b>47 minutos</b>

Amortiguador Inicial = 47min

El amortiguador inicial será de 47min., lo que implica que de acuerdo al plan de producción que se tenga, los procesos para la Trefiladora #2 y #3 la restricción deben tener de inventario para trabajar 47 min. y este será el amortiguador para contrarrestar el ataque de Murphy.

Como se ha mencionado anteriormente el proceso del trefilado en las líneas #2 y #3 es la restricción del sistema y además es el primer procesos productivo en la planta, por lo cual el amortiguador implicara tener 47 minutos para solucionar cualquier problema que se tenga por la falta de inventario de materia prima, el cual es el proceso anterior al del trefilado, o para solucionar cualquier problema que se presente por la inasistencia o accidente de alguno de los operarios de las trefiladoras #2 y #3, es decir lo que se espera con el amortiguador es tener un tiempo disponible para solucionar los ataques de Murphy y evitar que el sistema deje de generar dinero.

La efectividad del amortiguador se medirá, según los niveles de expeditación, cuando los niveles de expeditación se encuentren en el 5% de los pedidos de una especificación de varilla, el amortiguador es bueno.

Cuando los niveles están por encima del 5% se tiene un amortiguador muy pequeño lo que implica aumentarlo sustancialmente hasta llegar a los niveles de expeditación de 5%, cuando los niveles están por debajo del 5% se tiene un amortiguador muy grande lo que implica disminuirlo sustancialmente hasta llegar a los niveles de expeditación de 5%.

Lo que se busca con la aplicación de las herramientas logísticas el tambor, la cuerda y el amortiguador procuran que el proceso del trefilado se encuentre trabajando todo el tiempo, a menos que Murphy lo ataque directamente en este caso no hay nada que hacer, pero cuando esto no pase la restricción se mantendrá trabajando todo el tiempo y por ende el sistema se encontrara generando dinero todo el tiempo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La Teoría de las Restricciones soluciona los problemas de producción que se presenten en la planta de El Constructor, destruyendo la restricción del sistema y por ende ayuda a El Constructor a alcanzar su meta, ya que no se dejara de satisfacer la demanda de varillas para construcción.
- El mejoramiento, la maximización del desempeño, o mejorar los índices de productividad individualmente en los procesos de enderezado y cortado en las líneas #2 y #3, no se debe esperar una mejora con respecto a la meta de la compañía.
- Todos los recursos económicos y físicos que se vayan a invertir en la planta de producción de hierro del Constructor, deben ser destinados para el proceso del trefilado en las líneas #2 y #3, con el fin de eliminar la restricción del sistema y alcanzar la meta de la compañía.
- Existen formas de mejorar el proceso productivo del trefilado en las líneas #2 y #3 sin necesidad de inversión adicional, simplemente haciendo un análisis riguroso y probando nuevas formas de realizar los procesos.
- El hecho de subordinar los procesos de enderezado y cortado en las líneas #2 y #3 al proceso del trefilado en las líneas #2 y #3, no significa que dichos procesos sean menos importantes que el de trefilado, significa que como ellos no son restricciones en el sistema siempre tienen y deberían tener capacidad excedente sustancial por esto deben trabajar por la efectividad global de la planta no por la efectividad individual del proceso.
- Aunque las eficiencias locales no son lo mas importante en la planta de producción del constructor, dichas eficiencias no se pueden descuidar ya que si se hace se podría crear una restricción en otro punto.
- Utilizar recursos para elevar la restricción del sistema no significa un gasto, significa una inversión que vera su retorno en el corto o mediano plazo.

- Después de romper la restricción que se encuentra en el proceso del trefilado siempre existirá una nueva restricción en el sistema y así continuamente después de romper una aparecerá otra, dicha restricción siempre limitara el sistema y le impedirá alcanzar su meta.
- La próxima restricción seguramente se ubicara en el mercado, debido a que en el momento que se rompe la restricción generada por el proceso del trefilado, se contara con el suficiente tiempo disponible para satisfacer la demanda actual y aumentar la producción, por el cual se necesitara aumentar el mercado para la venta de mas varillas para construcción.
- En la planta de producción el tambor (restricción) es aplicado por fuerza mayor debido a que el proceso del trefilado es el primer proceso del sistema y los procesos de enderezado y cortado se ven obligados a trabajar a su ritmo, además que los procesos son totalmente dependientes.
- La cuerda asegurara que el amortiguador siempre se encuentre en su nivel mas alto y asegurará que el proceso del trefilado siempre se encuentre trabajando.
- El amortiguador asegurara que la restricción se encuentre trabajando cuando Murphy ataque, ya sea por el agotamiento de la materia prima o por que ocurra algún accidente que impida que el operario.
- Cuando Murphy ataca directamente el proceso del trefilado en las líneas #2 y #3, no se puede hacer nada contra esto y en ese punto no se estará generando dinero y por ende no se estará cumpliendo con la meta.
- Se debe capacitar al personal del Constructor desde los altos niveles gerenciales, hasta el nivel de los operarios en la planta, acerca las políticas, parámetros, principios, aplicación y beneficios que trae la aplicación de la Teoría de Restricciones en los problemas de producción de su planta.
- Hay que cambiar las políticas de utilización de la línea #1, con el fin de liberar trabajo en las trefiladoras #2 y #3 y así mejorar la productividad global de la planta y generar mayor cantidad de dinero.
- Evaluar rigurosamente de que manera se elevara la restricción del sistema,

debido a que utilizar inversiones muy altas implicaría en principio la posible situación no tener la misma capacidad para realizar las mismas inversiones cuando se presenta la próxima restricción quien a su vez puede ser mas difícil de romper, por esto se debe investigar la manera optima de elevar la restricción y no salir por el camino mas fácil que generalmente es el mas costoso.

- Investigar acerca las políticas, parámetros, principios, aplicación y beneficios de la solución propuesta por Teoría de Restricciones para el problema de mercadeo, que es donde seguramente se ubicara la próxima restricción.
- Evaluar semanalmente la efectividad del amortiguador, con el fin de encontrar el óptimo de este lo mas rápido posible y garantizar que el proceso del trefilado se encuentre trabajando aun cuando Murphy ataque el proceso anterior a este.
- Ejecutar constantemente el paso #5 (volver al paso 1, evitando la inercia) y el paso #1 (identificar la restricción) con el fin de evitar que una restricción no identificada nos este impidiendo alcázar la meta de la compañía. En otras palabras no se debe caer en la inercia

## BIBLIOGRAFIA

- CHASE, Richard & AQUILANO, Nicholas. Administración de Producción y Operaciones. Octava edición. Editorial McGraw Hill, 2000.
- GOLGRATT, Eliyahu M. & COX, Jeff. La Meta. Segunda Edición. Ediciones Castillo, Monterrey México.
- GOLGRATT, Eliyahu M.. El Síndrome del Pajar. Segunda edición. Ediciones Castillo, Monterrey México.
- HEYZER, Jay & BARRY, Render. Dirección de la Producción: Decisiones Tácticas. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall, 1997.
- HEYZER, Jay & BARRY, Render. Dirección de la Producción: Decisiones Estrategicas. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall, 1997.
- MARUN, Jaime. Modulo tres Minor de Logística Empresarial, Universidad Tecnológica de Bolívar, 2004.
- PULGARIN, Bernardo. Teoría de Restricciones: Una Estructura para el Pensamiento. Editorial Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2003.
- TAMAYO, Mario. El Proceso de la Investigación Científica. Noriega Editores.
- VOLLMANN, Thomas, BERRY, William, WHYBARK, D. Clay & JACOBS, F. Robert. Planeación y Control de la Producción: Administración de la Cadena de Suministro. Quinta Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana, 2005.
- [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com)
- [www.toc-goldratt.com](http://www.toc-goldratt.com)