

Teoría de las restricciones (TOC) y la mecánica del Throughput Accounting (TA). Una aproximación a un modelo gerencial para toma de decisiones: caso compañía de Cementos Andino S.A.*

Patricia González G.

Doctorado, profesora titular Universidad del Valle.

Correo electrónico: pagonza@univalle.edu.co.

John Willmer Escobar V.

Profesor asistente Pontificia Universidad Javeriana Cali,
magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en Logística
y Producción, Universidad del Valle.

Correo electrónico: jwescobar@javerianacali.edu.co.

* Para el desarrollo del objetivo propuesto se empleó un caso centrado en la Compañía Cementos Andino S.A., en el cual se desarrolló la metodología del TA, cuyos resultados fueron confrontados con los obtenidos a partir del costeo variable, de tal forma que los *throughput* obtenidos por ambos métodos son el reflejo de los conceptos que enmarcan su aplicación. Patrocinador del proyecto: Vicerrectoría de Investigaciones Univalle.

Resumen El objetivo de este artículo es explicar a los lectores cómo a partir del modelo de decisión propuesto por la TOC y el TA, los gerentes pueden tomar las mejores decisiones orientadas a maximizar las utilidades del negocio.

Para el logro del objetivo propuesto se empleó un caso centrado en la compañía Cementos Andino S.A., en el cual se desarrolló la metodología del TA, cuyos resultados fueron confrontados con los obtenidos a partir del costeo variable, de tal forma que los *throughput* obtenidos por ambos métodos son el reflejo de los conceptos que enmarcan su aplicación.

Los resultados obtenidos a partir del caso nos llevan a concluir que la TOC y el TA permiten al gerente tomar decisiones más coherentes con los procesos productivos, pues ponen en consideración la administración de los recursos cuello de botella, lo cual facilita la maximización de las utilidades.

Palabras clave Rendimientos contables, teoría de restricciones, costos variables, restricciones.

Theory of Constraints (TOC) and the Mechanics of Throughput Accounting (TA) A Managerial Model for Decision-making Case: Compañía Cementos Andino S.A.

Abstract The goal of this paper is to explain to the reader how, based on the decision model proposed by TOC and TA, managers can make the best decisions in order to maximize their business profits.

To do so, we based our work on the case study of the company Cementos Andino S.A., where the TA methodology was applied and then its results compared with the results obtained by the cost-variable method, in such a way that the *throughput* obtained for both methods reflected the concepts which constituted their implementation framework. The results obtained in our particular case study showed that, in fact, both TOC and TA do help managers in

making more coherent decisions in relation to the productive processes, in part because the management of the bottle-neck resources is considered, thus easing the maximization of profits.

Key words Throughput accounting, Theory of Constraints, cost-variables, constraints.

Teoria das restrições (TOC) e a mecânica do Throughput Accounting (TA) Aproximação a um modelo gerencial para tomada de decisões Caso Compañía Cementos Andino S.A.

Resumo O objetivo deste artigo é explicar aos leitores como a partir do modelo de decisão proposto pelo TOC e o TA, os gerentes podem tomar melhores decisões orientadas a maximizar os lucros do negócio.

Para a consecução do objetivo proposto, empregou-se o caso da companhia *Cementos Andino S.A.*, na qual desenvolveu-se a metodologia do TA; cujos resultados foram confrontados com os já obtidos a partir do costeo variável, de tal maneira que os *throughput* obtidos por ambos os métodos são o reflexo dos conceitos que emolduram sua aplicação.

Os resultados obtidos a partir do caso nos conduzem a concluir que a TOC e a TA permitem ao gerente tomar decisões mais coerentes com os processos produtivos, pois tomam em consideração a administração dos recursos problemáticos, que facilita a maximização dos lucros.

Palavras-chave *Throughput accounting*, Teoria das restrições, custos variáveis, restrições.

Introducción

En las últimas dos décadas, el mundo de los negocios se ha visto bombardeado por diversas herramientas gerenciales que buscan facilitar la toma de decisiones por parte de los gerentes.

Las diversas herramientas gerenciales (como Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints, TOC), Balanced Scorecard (BSC), Just in Time (JIT), Costos Kaisen, Costos por Actividades, etc.) proponen métodos que llevan a maximizar las utilidades como consecuencia del mejoramiento en los procesos y en la asignación de los recursos, mejoras planteadas por cada una de ellas en sus marcos conceptuales.

El objeto de este artículo es centrar nuestro análisis en la Teoría de las Restricciones y específicamente en el análisis del *Throughput Accounting* (TA), para lo cual se recrea una situación en un caso concreto (compañía de Cementos Andino S.A.), se comparan los resultados obtenidos por el TA y por el Método de Margen de Contribución (costeo variable) determinando cuál de las dos metodologías permite al usuario tomar la mejor decisión.

El artículo comprende una primera parte en la que se presentan los conceptos básicos que conforman la TOC; una segunda parte en la que se analiza el TA y se comparan los resultados frente a los obtenidos a partir de un estado de resultados elaborado conforme a las normas contables locales (decreto reglamentario 2649/93) y conforme a los principios del costeo variable; en la tercera parte, se presenta el modelo de decisión de la TOC fundamentado en los cinco pasos y en los conceptos de tambor-cuerda-pulmón; en la cuarta parte del artículo se recoge lo presentado en las tres anteriores y se desarrolla en el caso de la compañía Cementos Andino S.A. El artículo termina con las consideraciones finales.

1. La meta de todo negocio es ganar dinero

Dentro de la TOC, la meta de todo negocio es ganar dinero, pero como sostiene Guerreiro (1996), de no haber restricciones en los procesos de los negocios, la utilidad de éstos sería infinita; por tanto, todo negocio siempre presentará un cuello de botella, en producción, o una o varias restricciones, en otros tipos de negocios, como los de servicio, que impedirán que esa utilidad sea infinita. En ese sentido, las restricciones se pueden definir como limitaciones, puntos débiles o falta de algún recurso dentro de un proceso, que pueden afectar el desempeño de todo un sistema, entendida la empresa como sistema.

Las restricciones pueden ser de carácter interno y externo. Las primeras surgen por limitaciones derivadas de los procesos o de las políticas internas de la compañía.

Las restricciones por procesos son aquellas que se presentan cuando un proceso u operación en la compañía tiene insuficiente capacidad para satisfacer totalmente la demanda del mercado, por ejemplo, una máquina lenta en el proceso.

Las restricciones por políticas surgen cuando los gerentes o los sindicatos establecen reglas que limitan la capacidad de operación de una organización o restringen su flexibilidad, por ejemplo, restricciones en compras de materia prima, congelamiento de horas extras, etc. Cabe anotar que cuando el gobierno impide el buen desarrollo de un negocio por medio de normas, este tipo de restricción se considera como de políticas y es de carácter externo.

Por otro lado, *las restricciones externas* están relacionadas con factores exógenos que pueden afectar el buen desempeño de un negocio. Estas restricciones se relacionan con la disponibilidad de materiales y el comportamiento del mercado.

Cuando se presentan dificultades para conseguir una materia prima, porque no existen proveedores en la región que suplan las necesidades o porque hay normas que impiden la traída de la materia prima de otro país, se habla de una restricción externa conocida como de materiales.

Otra situación externa a la empresa y que de alguna forma corresponde a una restricción externa se configura cuando no hay suficiente demanda en el mercado por los productos fabricados o los servicios prestados por los negocios. Este tipo de restricción se conoce como de mercado.

Por último, otros autores suelen clasificarlas como *restricciones de recursos*. Éstas se pueden definir como toda limitación o escasez de proveedores, máquinas, mercado, materiales, personal, etc., o también *restricciones de políticas*, entendidas como todas aquellas medidas que limitan el buen desempeño de un negocio por medio de normas, reglamentaciones, procedimientos, prácticas actuales o del pasado que son impuestas por la alta gerencia o por el gobierno.

2. Throughput Accounting (TA)

Eliyahu M. Goldratt (1997) considera que hay tres medidas básicas para el desempeño de un negocio y que contribuyen con la toma

de decisiones, ellas son el TA (*Throughput Accounting*), el ROI (*Return on Investment*) y el Flujo de Caja.

La formulación e interpretación de los valores que conforman el TA, llevan a presentar lo que Goldratt (1997) define como inventario, gasto operacional y ganancia (*throughput*). Las definiciones propuestas por Goldratt (1997) no son exactamente las que se encontrarían en algún libro de teoría contable. Así, en la TOC, *el inventario es todo el dinero que el sistema invierte en la compra de cosas que se pueden vender, por ejemplo, mercancías, máquinas, edificios, terrenos, etc.*

Si se revisa la definición de inventarios de cualquier libro medianamente complejo de contabilidad, se encuentra que el inventario hace referencia a la materia prima, producto en proceso, producto terminado o mercancías disponibles para la venta y sobre los cuales la empresa tiene el control. Pero la definición dada por Goldratt (1997) no sólo considera aquellos bienes que generarán beneficios futuros producto de su venta y que están identificados con el objeto social del negocio, sino que incluye edificios, terrenos, máquinas, etc., que son necesarios para el desarrollo de las diversas actividades que contribuirán con la creación de los beneficios futuros, pero no se puede decir que su comercialización tenga qué ver con el fin social del negocio. Aquí se encuentran dos aspectos importantes: la posición de Goldratt (1997) frente a lo que él define como inventario y lo que la teoría contable plantea al respecto. Esto permite concluir que para Goldratt (1997), la definición de **inventario** es mucho más amplia, lo que consecuentemente lo lleva a ignorar los

principios contables básicos de amplia aceptación.

Pero sigamos en el análisis comparativo y definamos ahora **gasto operacional** que, desde la perspectiva de la TOC, no es más que *todos los desembolsos que se tienen que realizar para que el throughput (ganancia) ocurra*. En esta definición, Goldratt (1997) plantea que no sólo se deben considerar como operacionales los gastos de esta índole, sino también los costos de conversión, o sea, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación.

En la norma local (DR 2649/93), los gastos operacionales son todos aquellos desembolsos realizados por la empresa, en pro de la creación de los ingresos. Estos desembolsos son importantes pues de no realizarse, no se podría desarrollar el objeto social del negocio, una vez que involucra los gastos por conceptos de administración y ventas, diferentes a los costos de mano de obra directa que, como ya se dijo, forman parte del costo del producto.

Goldratt (1997) considera la **ganancia** (*throughput*) como la diferencia entre las ventas y los costos de los materiales directos empleados en la fabricación de los productos vendidos (dentro de ese costo, se consideran fletes, seguros, comisiones a vendedores, impuestos, etc.). Pasando al contexto normativo del decreto 2649/93, se puede encontrar que esa ganancia no es más que la utilidad bruta y la utilidad bruta se define como la diferencia entre las ventas menos los costos de los productos manufacturados y vendidos que están constituidos por los tres elementos del costo: material directo, mano de obra directa y los CIF (Costos Indirectos de Fabricación). De nuevo, se en-

cuentra otra definición especial que no toma en consideración principios o normas contables tradicionales, sino que determina una nueva presentación de los conceptos.

Las definiciones dadas por Goldratt (1997) no se pueden considerar cuestionables, si tenemos en cuenta que la teoría planteada por él es una herramienta gerencial que busca facilitar la toma de decisiones, ya que muchas veces los gerentes no son expertos en términos contables o financieros, y lo que realmente necesitan es la presentación de informes que de la manera más clara les permitan ver las condiciones del negocio para tomar las mejores decisiones. En ese sentido, se puede decir que en las empresas puede haber informes gerenciales paralelos a los financieros. Veamos en el cuadro 1 tres estados de resultados elaborados por las tres alternativas que podrían servir para tomar una decisión.

Conforme a lo anterior, algún lector podría pensar que si se llega al mismo resultado, qué más da un método u otro. Pero consideramos que ése no es el punto, pues si bien por cualquiera de los tres métodos llegamos a los mismos \$200.000 de utilidad operacional (para este caso), lo destacable es la información suministrada por cada uno de ellos, conforme fueron presentados los costos y los gastos, dependiendo del método escogido. Esto es lo relevante, lo que adiciona valor, pues el gerente puede tener los tres informes en su escritorio, uno que tendrá que elaborar porque así lo establece la norma local, pero los otros dos pueden ser elaborados y utilizados para tomar decisiones de acuerdo con los objetivos que se tengan. Así, por ejemplo, si desea realizar un análisis que le permita concluir rentabilidad por pro-

Base 2649/93	Costeo variable	Throughput (TOC)
Ventas \$600.000 ^a Costo de ventas (150.000) Utilidad bruta 450.000	Ventas \$600.000 ^a Costos variables ^b (200.000) Margen de contribución 400.000	Ventas \$600.000 ^a Material directo (60.000) Margen Throughput 540.000
Gastos de ventas y administración (250.000) Utilidad operacional \$ 200.000	Costos fijos ^c (200.000) Utilidad operacional 200.000	Gastos operacionales ^d (340.000) Utilidad operacional. 200.000

Cuadro 1. Comparación de los tres estados de pérdidas y ganancias: contabilidad tradicional, costos directos, TA

a) Precio de venta de \$6.000 por tonelada. 100 toneladas producidas y vendidas

b) Material directo (\$60.000) + Mano de obra directa (\$20.000) + CIF variables (\$25.000) + Gastos de administración y ventas variables (\$95.000)

c) CIF Fijos (\$45.000) * Gastos administrativos y de ventas fijos (\$155.000)

d) Todos los costos y gastos de la empresa diferentes de material directo

ducto escogerá el costeo variable; pero si quiere incrementar el *throughput* mediante la maximización de los cuellos de botella en las operaciones o mediante la remoción de las restricciones utilizará el método propuesto por la TOC.

Para entender un poco más lo anteriormente explicado, observe el siguiente caso, adap-

tado de Constantinides & Shank (1994, p. 34), para comparar las utilidades obtenidas conforme al Decreto 2649/93 y por la TOC, en tres escenarios de producción: inventario constante, inventario terminado, inventario reducido.

En los tres escenarios, la compañía vende 200 toneladas de un bien.

	Bases DR 2649/93			Bases TA		
	Inventarios constantes	Inventarios fabricados	Inventarios reducidos	Inventarios constantes	Inventarios fabricados	Inventarios reducidos
Ventas	200 ton.	200 ton.				
Producción	200 ton.	210 ton.	190 ton.	200 ton.	210 ton.	190 ton.
Ingresos	\$1.000.000.	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.000.000
Gastos:						
Materiales	\$100.000 ^a	\$100.000 ^a	\$100.000 ^a	\$100.000 ^b	\$105.000 ^c	\$95.000 ^d
Conversión	70.000 ^e	66.667 ^f	73.684 ^g	70.000 ^h	70.000 ^h	70.000 ^h
Gastos de ventas y administración	450.000	450.000	450.000	450.000	450.000	450.000
Ingresos operacionales	480.000	383.000	376.316	480.000	375.000	385.000

Cuadro 2. Comparación de resultados obtenidos bajo parámetros fijados por el DR 2649/93 y TA.

Cálculos:

a) 200 toneladas vendidas x \$5.000 por tonelada

b) 200 toneladas producidas x \$500 por tonelada

c) 210 toneladas producidas x \$500 por tonelada

d) 190 toneladas producidas x \$500 por tonelada

e) 200 toneladas vendidas x (\$70.000 / 200 toneladas producidas)

f) 200 toneladas vendidas x (\$70.000 / 210 toneladas producidas)

g) 200 toneladas vendidas x (\$70.000 / 190 toneladas producidas)

h) Asuma que los costos fijos en el corto plazo son de \$70.000 por período

Suponga el precio de venta de \$5.000 por tonelada; el costo de los materiales por tonelada de \$500; costos de conversión (mano de obra directa y CIF) de \$70.000 por período.

De acuerdo con el cuadro 2, bajo los tres escenarios de producción, la compañía está vendiendo 200 toneladas de bienes terminados; por tanto, los ingresos por ventas son de \$1.000.000, para cualquiera de los escenarios y bases; no obstante, la utilidad obtenida es diferente para cada caso.

En el primer escenario, lo producido es igual a lo vendido. En este caso, no hay cambios en el nivel de inventarios y la utilidad obtenida es la misma tanto bajo los principios del decreto 2649/93 como bajo los principios de la TOC.

Por otro lado, cuando el nivel de inventarios comienza a cambiar, como ocurre en el escenario 2, la compañía produce más inventario del que puede vender. Al observar los resultados obtenidos, se puede concluir que bajo el decreto 2649/93 se premia a las compañías por tener inventarios innecesarios, y en la TOC se castiga, pues la utilidad fue menor bajo sus principios. En ese sentido, los accionistas y los gerentes deberían estar de acuerdo en que acumular inventarios innecesarios es costoso, pues así lo evidencia la TOC.

Por último, el tercer escenario muestra que la compañía, al eliminar los niveles de inventarios innecesarios, presenta mejores resultados bajo la TOC que los obtenidos bajo principios del decreto 2649/93.

Las diferencias que refleja el cuadro 2 ocurren porque en el TA no hay absorción alguna de costos para los inventarios, ya que todos los costos se consideran como costos del período y

esta suposición incluye el costo de los materiales directos. Igualmente, se puede observar que siendo consistente con la suposición, en el TA, el costo del material directo varía con los cambios en los niveles de producción y los costos de conversión se comportan como costos fijos en el período sin importar los cambios en el nivel de producción.

Por otro lado, en los estados de resultados obtenidos bajo los principios del decreto 2649/93, todos los costos de producción requeridos (materiales, mano de obra directa, CIF) son absorbidos por los inventarios y sólo se convierten en costos cuando el bien es efectivamente vendido.

Por último, la TOC en atención a sus principios, igualmente, establece una forma de calcular el ROI:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Ganancia} - \text{Gasto operacional}}{\text{Inventario}}$$

3. Modelo de decisión de la TOC

La TOC plantea un modelo de decisión que está compuesto por los siguientes cinco pasos:

1. Identificar la restricción o cuello de botella
2. Decidir cómo aprovechar la restricción del sistema
3. Subordinar cualquier otra cosa a la decisión anterior
4. Elevar las restricciones del sistema
5. Identificar la restricción o cuello de botella

Goldratt (1997) complementa su modelo de decisión con el sistema tambor, pulmón y cuer-

da para implementar la TOC en una típica operación de producción.

El sistema pulmón-tambor-cuerda se establece una vez se ha identificado el recurso cuello de botella, pues con su implementación se pretende que el proceso productivo esté en consonancia con la capacidad del recurso cuello de botella, lo que significa que todo el sistema está subordinado al ritmo de este recurso (*tambor*); igualmente, el recurso cuello de botella nunca debe parar en su proceso productivo, por tanto, siempre debe existir en la frente de este recurso un inventario (*pulmón*) que garantice su permanente desempeño. Por último, la función de la cuerda es la de controlar las operaciones *upstream* que puedan sobrecargar de inventarios en proceso al recurso cuello de botella.

Con la explicación del marco conceptual de la TOC, que comprendió la primera parte del artículo, enseguida se desarrollará un caso en el cual contrastamos los resultados obtenidos bajo un análisis de costos directos frente a los resultados obtenidos por el método del TA.

4. Caso: compañía Cementos Andino S.A.

4.1. La operación

La compañía **Cementos Andino S.A.** es una empresa líder en la producción y comercialización de cementos en el mercado nacional, que ha venido contribuyendo al desarrollo de la industria de la construcción, específicamente, en la realización de importantes proyectos sociales, tanto del sector privado, como del sector público.

En la actualidad, la compañía ha decidido ajustar su capacidad de producción, como respuesta a las proyecciones de crecimiento del mercado, de tal forma que garantice a sus clientes el abastecimiento oportuno y continuo de sus productos.

Para que lo anterior sea posible, ha resuelto implementar un modelo gerencial basado en los principios de la TOC (*Throughput Accounting*) que siguen las tendencias contemporáneas de administración, enfocadas en la obtención de dinero y, por supuesto, en la satisfacción de todos sus clientes.

En la figura 1 se puede apreciar el diagrama del proceso de producción de los dos principales productos, al igual que la capacidad media en cada operación. Actualmente, esta compañía fabrica cemento tipo I (presentación en sacos de 50 kg) y cemento tipo II (presentación a granel en carros). El departamento de ventas y mercadeo de la compañía ha pronosticado una demanda media potencial de cemento tipo I equivalente a 45.000 toneladas / mes y cemento tipo II equivalente a 100.000 toneladas / mes. El precio de venta de una tonelada de cemento tipo I es de \$230.000 y una tonelada de cemento tipo II se vende en \$200.000.

En el proceso de fabricación, la empresa cuenta con una *reserva geológica de caliza* con una capacidad de abastecimiento continuo (ilimitado). La materia prima que se obtiene de dichas minas se procesa en una serie de *hornos* en paralelo (7 en total) con unas capacidades variables, dependiendo del tamaño de la máquina (ver figura 1).

Luego de pasar por los hornos, el clinker (caliza cocida) se tritura en unos molinos para

convertirlo en *cemento tipo II*. Para la realización de esta operación, la empresa cuenta con cinco molinos en paralelo (ver figura 1).

Cuando se necesita despachar *cemento tipo I*, se empaca el *cemento tipo II* y se despachan. Este proceso de *empaque* se realiza en una máquina que permite procesar 2.000 toneladas de *cemento tipo II* por día.

Debido a que los costos de la energía (\$ kw/hora) para empresas ubicadas en zonas industriales varía de acuerdo con la hora de consumo, la empresa ha decidido operar solamente 18 horas diarias (el tiempo de operación va en turnos de las 4 a.m. hasta las 10 a.m., de las 4 p.m. hasta las 10 p.m. y de las 10 p.m. hasta las 4 a.m.) durante 25 días/mes.

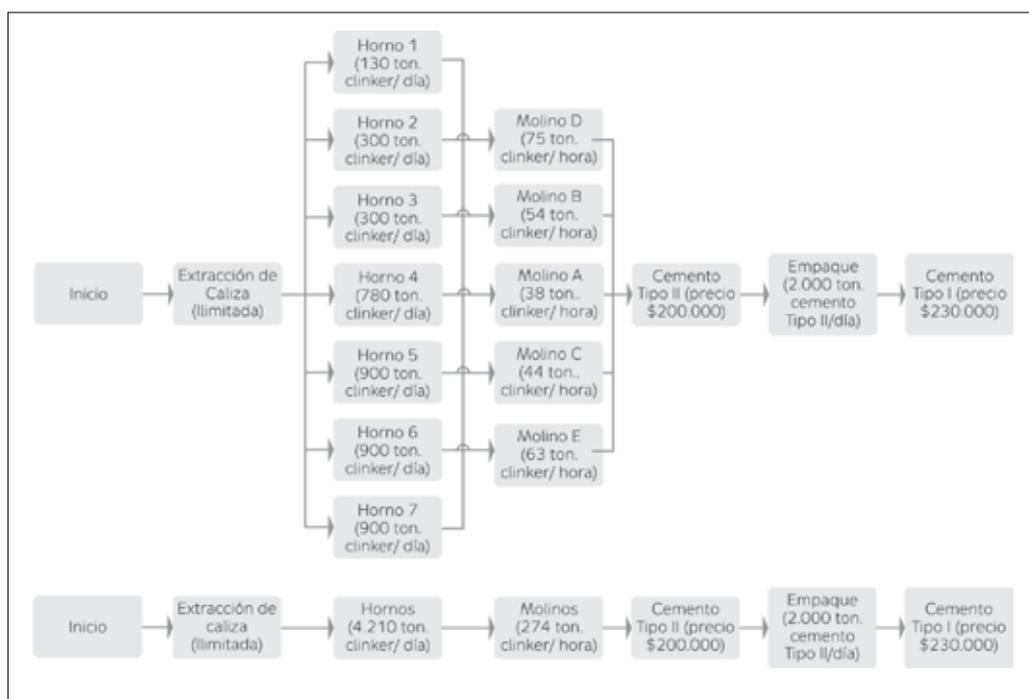


Figura 1. Proceso de producción de cemento tipo I y cemento tipo II por máquinas y centro de trabajo

En este punto se observa claramente que hay potencialmente dos tipos diferentes de restricciones cuellos de botella¹ en la compañía.

En primera instancia hay una *restricción de mercado*, pues Cementos Andino S.A. sólo puede vender 45.000 toneladas de cemento tipo I por mes y 100.000 toneladas de cemento tipo

II. Adicionalmente, la *política restrictiva de operación por el costo de la energía de la fábrica* no permite que las máquinas trabajen a sus máximas capacidades (trabajan sólo el 75%² del tiempo que podrían operar para cubrir la demanda).

A continuación, se presenta información general de la compañía Cementos Andino S.A.

1 Las restricciones cuello de botella son limitaciones o puntos débiles que afectan el desempeño del proceso de producción.

2 Esto equivale a 18 horas de operación dividido entre las 24 horas diarias.

necesaria para el desarrollo del modelo gerencial:

- La compañía emplea tres turnos diarios de 6 horas cada uno por 25 días / mes; actualmente está operando sólo con el 75% de tiempo posible.
- Cementos Andino S.A. en la actualidad utiliza un operario por cada máquina; es decir, cuenta con 13 empleados.³ *El cemento tipo I* consume 0,0983 horas de mano de obra/ton, mientras que *el cemento tipo II* consume unas 0,0597 horas de mano de obra/ton. El valor medio de la mano de obra directa es de \$19.295 / hora.
- Cementos Andino S.A. actualmente asigna costos indirectos de fabricación sobre la base de \$48,53/tonelada de cemento para el tipo I y de \$46,36/tonelada de cemento para el tipo II. De este valor, el 80% corresponde a costos indirectos variables y el porcentaje restante a costos indirectos fijos.
- Los gastos de administración y ventas son de \$1.500.000 mensuales.

4.2. Modelo de decisión

Conforme al modelo de toma de decisión propuesto por la TOC, se analiza el caso desarrollando cada uno de los 5 pasos:

1. Identificar la restricción.
2. Aprovechar las restricciones del sistema.
3. Subordinar todo el sistema a la restricción.
4. Elevar la restricción.
5. Una nueva restricción aparecerá.

3 7 operarios para los hornos, 5 operarios para los molinos y 1 operario para la máquina de empaque.

4.2.1. Identificar la restricción

De acuerdo con el modelo TOC, el primer paso para la compañía es identificar sus cuellos de botella. Gracias a que las máquinas (hornos y molinos) se encuentran en paralelo, es posible realizar un diagrama de proceso por centros de trabajo, como muestra la parte de abajo de la figura 1.

Si la *restricción de mercado* es la que está creando el cuello de botella en la operación, entonces, la empresa debería ser capaz de fabricar 45.000 toneladas de cemento tipo I y 100.000 toneladas de cemento tipo II sin operar más tiempo de las horas estipuladas por día (18 horas) en cada una de las operaciones.

Por otro lado, si la *restricción de política* de la compañía de dejar de operar en algunos horarios por el alto costo del kw/hora (en especial entre las 11 a.m. y las 3 p.m.) es la que genera el cuello de botella, entonces Cementos Andino S.A. será capaz de producir todas las toneladas de cemento que el mercado demanda.

En el cuadro 3 se relacionan los porcentajes de composición de una tonelada de cemento tipo I y una tonelada de cemento tipo II en función de la cantidad de clinker que consumen. Para fabricar una tonelada de cemento tipo I se necesitan 1,10 toneladas de cemento tipo II.⁴

En el cuadro 4 se calculan las capacidades de procesamiento totales por cada una de las actividades, dentro del proceso de producción de Cementos Andino S.A.

Para cubrir la demanda potencial de 45.000 toneladas de *cemento tipo I* y 100.000 toneladas de *cemento tipo II*, la empresa necesita produ-

4 Esto equivale a 0,87637 toneladas de clinker / 0,79670 toneladas de clinker.

% de composición cemento tipo I (con empaque)	0,87637
% de composición cemento tipo II (cemento a granel)	0,79670

Cuadro 3. Composición de los productos (toneladas de clinker)

Operación	Capacidad	Tiempo de operación (Mes) ^a	Capacidad total / mes	Capacidad requerida de producción / mes
Extracción de caliza	Ilimitada	450 horas	Ilimitada ^b	
Hornos	4.210 ton clinker / día	25 días	105.250 ton clinker	119.108 ton clinker
Molinos	274 ton clinker / hora	450 horas	123.300 ton clinker	119.108 ton clinker
Empaque	2.000 ton granel / día	25 días	50.000 ton granel	49.500 ton granel

Cuadro 4. Capacidades de operación para Cementos Andinos S.A.

- a. Capacidad total = Capacidad x Tiempo de operación / mes.
- b. La empresa cuenta con una reserva geológica de caliza con una capacidad de abastecimiento continuo, lo que determina una capacidad ilimitada en el centro de trabajo de extracción.

cir 149.500⁵ toneladas de *cemento tipo II*, cifra equivalente a 119.108⁶ toneladas de clinker / mes. Así mismo, para el proceso de empaque es necesario atender la cantidad de 49.500 toneladas de *cemento tipo II*.

Con base en los cálculos del cuadro 4, la operación de hornos puede procesar sólo 105.250 toneladas de clinker / mes para producir todas las toneladas de *cemento tipo I* y *cemento tipo II* que el mercado demanda.

La política de la compañía Cementos Andino S.A. limita el proceso de producción, al trabajar sólo 18 horas diarias, lo que lleva a la creación de un *cuello de botella en la operación de los hornos*.

4.2.2. Aprovechar las restricciones del sistema

Una vez identificado el cuello de botella como una restricción por políticas en la operación de los hornos, la gerencia necesita determinar la forma de aprovechar dicha restricción para maximizar su utilidad. Cementos Andino S.A. utiliza costeo directo por medio del cual determina el margen de contribución tradicional para controlar y administrar esta operación. El cuadro 5 recopila los datos necesarios para calcular tanto el margen de contribución como el *throughput* por unidad de bienes finales.

En el modelo de decisión de la TOC, la parte más importante y, por ende, la que mayor atención requiere es la operación cuello de botella. Los pedidos no pueden ser completados ni despachados antes de que el cuello de botella haya completado su ciclo de producción. El principio básico para maximizar las utilidades totales de la compañía es el de maximizar la

5 Es igual a cemento tipo 45.000 toneladas de cemento tipo I + 100.000 toneladas de cemento tipo II x 1,10 toneladas de cemento tipo I / tonelada de cemento tipo II.

6 Es igual a 149.500 toneladas de cemento tipo II x 0,7967 toneladas de clinker / toneladas de cemento tipo II.

Panel A	Consumo	Cemento tipo II	Panel B	Consumo	Cemento tipo I
-Demanda mes	Toneladas	\$ 100.000	-Demanda mes	Toneladas	45.000
-Precio de venta		\$ 200.000,00	-Precio de venta		\$ 230.000,00
-Composición toneladas clinker		0,7967	-Capacidades toneladas clinker		0,8764
-Materia prima clinker		\$ 51.055,03	-Materia prima		
cuerpos moledores		\$ 522,15	Cemento a granel		\$ 76.827,80
revestimientos		\$ 1.079,73	aceites		\$ 35,33
combustibles		\$ 0,26	grasas		\$ 1,95
aceites		\$ 101,18	empaque		\$ 10.018,51
grasas		\$ 14,65	energía fábrica		\$ 342,23
yeso		\$ 3.766,91	-Total materiales		\$ 87.225,83
caliza		\$ 277,89	-Mano de obra (horas)	0,0983	\$ 1.896,74
ceniza		\$ 22,25	-Costos indirectos		
polvo		\$ 199,64	variables		\$ 38,82
escoria		\$ 3.266,83	fijos		\$ 9,71
gravilla		\$ 1.243,53	totales		\$ 48,53
energía fábrica		\$ 9.141,46			
-Total materiales		\$ 70.691,51			
-Mano de obra (horas)	0,0597	\$ 1.151,94			
-Costos indirectos					
variables		\$ 37,09			
fijos		\$ 9,27			
totales		\$ 46,36			

Cuadro 5. Datos para el cálculo del modelo de contribución tradicional y throughput

utilidad por unidad de restricción en la operación que es cuello de botella; en otros términos, se trata de aumentar la contribución del procesamiento de una tonelada de clinker adicional (unidad de restricción) en el recurso cuello de botella, para la realización de beneficios económicos futuros (utilidades futuras).

El cuadro 6 muestra el cálculo del margen de contribución por tonelada de clinker procesada en el centro de operación de los hornos. Para el *cemento tipo I* es de \$160.707 / tonelada y para

el *cemento tipo II* es de \$160.813 / tonelada. De igual forma, se observa que el margen *throughput* por tonelada de clinker procesada en el centro de operación cuello de botella para el *cemento tipo I* es de \$162.915 / tonelada y para el *cemento tipo II* es de \$162.305 / tonelada.

Existe entonces un conflicto estratégico por resolver; conforme a los resultados obtenidos, hay que identificar cuál sería el producto prioritario para cada uno de los métodos, una vez que por el margen de contribución tradicional,

Cuadro A	Cemento tipo II	Cemento tipo I
Contribución marginal	\$128.119	140.839
Cantidad de procesamiento en el recurso cuello de botella	0,79670	0,87637
Margen de contribución por unidad de restricción ^a	\$160.813	\$160.707
Prioridad en producción	Prioridad 1	Prioridad 2
Cuadro B	Cemento tipo II	Cemento tipo I
Valor throughput		
Contribución marginal	\$129.308	142.774
Cantidad de procesamiento en el recurso cuello de botella	0,79670	0,87637
Margen throughput de la restricción ^b	\$162.305	\$162.915
Prioridad en producción	Prioridad 2	Prioridad 1

Cuadro 6. Margen de contribución y *throughput* por producto

a. Margen de contribución por unidad de restricción = Contribución marginal / Cantidad de procesamiento en el recurso cuello de botella.

b. Margen throughput de la restricción = Contribución marginal / Cantidad de procesamiento en el recurso cuello de botella.

el producto prioritario debe ser el *cemento tipo II*; por el contrario, el resultado obtenido por el margen throughput refleja que la prioridad número uno debe ser el *cemento tipo I*.

El cuadro 7 muestra que la compañía puede producir *cemento tipo II* por encima de la cantidad demandada (100.000 toneladas). Para producir las 100.000 toneladas utilizará 79.670 toneladas de clinker⁷ en el centro de operación de los hornos. Después de producir dicha cantidad, los hornos tendrán una capacidad disponible de 25.580 toneladas de clinker⁸ para producir *cemento tipo I*. Con 0,87637 toneladas de clinker se produce 1 tonelada de cemento tipo I, lo que significa que con las 25.580 tone-

ladas de capacidad restante, la compañía puede producir 29.189 toneladas de *cemento tipo I*.⁹

El cálculo con el margen *Throughput* propone una combinación de productos totalmente diferente. De vuelta al cuadro 6, el margen *Throughput* de la restricción en la operación cuello de botella sugiere que Cementos Andino debe producir primero todas las toneladas de *cemento tipo I* y usar el remanente de capacidad en la operación de los hornos para fabricar *cemento tipo II*.

De igual forma, en el cuadro 7 se observa que producir 45.000 toneladas de *cemento tipo I* dejará un remanente de capacidad de procesamiento de 65.813 toneladas de clinker (105.250 toneladas de clinker – 45.000 toneladas de cemento tipo I x 0,8764 tonelada de clinker / tonelada de cemento tipo I), en la operación de hornos para producir cemento

7 Esto equivale a 100.000 toneladas de cemento tipo II x 0,7967 toneladas de clinker / tonelada de cemento tipo II.

8 Esto equivale a 105.250 toneladas de clinker (capacidad de procesamiento en los hornos) menos 79.670 toneladas de clinker.

9 Es igual a 25.580 toneladas de cemento tipo I / (0,8764 toneladas de clinker / toneladas de cemento tipo I).

Prioridad	Producto	Demanda mensual	Capacidad de procesamiento por unidad en la restricción	Necesidad de capacidad total en la restricción (3x4) ^a	Capacidad disponible sobre restricción (Hornos)	Cantidad óptima de productos (Menor entre 5 o 6)/ 4
Margen de contribución						
1	II	100.000	0,7967	79.670	105.250	100.000
					-79.670	
2	Cemento tipo I	45.000	0,8764	39.437	25.580	29.189
Margen <i>Throughput</i>						
1	Cemento tipo I	45.000	0,8764	39.437	105.250	45.000
2	Cemento tipo II	100.000	0,7967	79.670	65.813	

Cuadro 7. Combinación óptima de productos para la compañía Cementos Andino S.A.

a. Es igual a la demanda mensual x la capacidad de procesamiento por unidad de restricción.

tipo II. Una tonelada de *cemento tipo II* requiere 0,7967 toneladas de clinker, es decir, con 65.813 toneladas de clinker Cementos Andino S.A. puede producir 82.607 toneladas de *cemento tipo II*.

La nueva combinación de productos propuesta por el análisis del margen *throughput* dará como resultado una utilidad operacional de \$17.090.428.378 (ver figura 2); es decir, se incrementará ese rubro con respecto al margen de contribución en \$8.521.580.

Como se observa, el análisis del margen de contribución no administra efectivamente la restricción de cuello de botella para la maximización de utilidades potenciales en Cementos Andino S.A. En esencia, de acuerdo con el *análisis throughput*, el incremento en los costos de la materia prima son menores que el incremento en los ingresos obtenidos por la combinación de productos, haciendo que sea la opción más atractiva para gerenciar el modelo TOC.

4.2.3. Subordinar todo el sistema a la restricción

Es obvio que Cementos Andino S.A. fabricando 45.000 toneladas de cemento tipo I y 82.607 toneladas de cemento tipo II no satisface la demanda del mercado.¹⁰ La única forma en que la compañía puede producir más toneladas de cemento tipo II (sin cambiar la política de operación en los turnos de trabajo) es reduciendo toneladas de cemento tipo I; en otras palabras, Cementos Andino S.A. dejará de percibir utilidades potenciales por las ventas de cemento tipo I para fabricar unidades adicionales de cemento tipo II.

Claramente, los excesos de capacidad resultantes en las operaciones que no son cuello de botella no pueden ser utilizados para producir más toneladas de cemento a granel. Lo único

¹⁰ La demanda potencial del mercado equivale a 45.000 toneladas de cemento tipo I y 100.000 toneladas de cemento tipo II.

Margen de contribución tradicional		
Ingresos		
Unidades cemento tipo II	\$ 100.000	
Precio de venta tipo II	\$ 200.000	
Unidades cemento tipo I	\$ 29.188	
Precio de venta tipo I	\$230.000	
Total ingresos	\$26.713.240.000	
Menos costo materia prima		
Cemento tipo II ^a	\$7.069.150.552	
Cemento tipo I ^b	\$2.545.947.406	\$(9.615.097.958)
	\$17.098.142.042	
Menos gastos de operación		
Mano de obra directa ^c	\$8.682.750	
Costos indirectos ^d	\$6.052.494	
Gastos de administración	\$1.500.000	\$(16.235.244)
	(\$17.081.906.798)	
Margen throughput		
Ingresos:		
Unidades cemento tipo II	\$82.607	
Precio de venta tipo II	\$200.000	
Unidades cemento tipo I	\$45.000	
Precio de venta tipo I	\$230.000	
Total ingresos	\$26.871.400.000	
Menos costo materia prima		
Cemento tipo II ^e	\$5.839.613.196	
Cemento tipo I ^f	\$3.925.162.165	\$(9.764.775.361)
Valor throughput	\$17.106.624.639	
Menos gastos de operación		
Mano de obra directa	\$8.682.750	
Costos indirectos ^g	\$6.013.511	
Gastos de administración	\$1.500.000	
Utilidad operacional	\$17.090.428.378	

Figura 2. Utilidad operacional mensual de la compañía Cementos Andino S.A. para cada combinación de productos.

- Esto es igual a 100.000 toneladas de cemento tipo II x \$70.691,51 / tonelada de cemento tipo II. \$70.691,51 es equivalente a los costos de materiales / tonelada cemento tipo II (ver figura 4).
- Esto es igual a 29.188 toneladas de cemento tipo I x \$87.225,83 / tonelada de cemento tipo I. \$87.225,83 es equivalente a los costos de materiales / tonelada cemento tipo I (ver figura 4).
- Esto equivale a \$19.295 / hora x 450 horas mes. Este valor es similar para el costo de la materia prima en el margen throughput.
- Esto equivale a 100.000 toneladas de cemento tipo II x \$46,36 / tonelada + 29.188 toneladas de cemento tipo I x \$48,53 / tonelada.
- Esto es igual a 82.607 toneladas de cemento tipo II x \$70.691,51 / tonelada de cemento tipo II. \$70.691,51 son los costos de materiales / tonelada cemento tipo II (ver figura 4).
- Esto es igual a 45.000 toneladas de cemento tipo I x \$87.225,83 / tonelada de cemento tipo I. \$87.225,83 son los costos de materiales / tonelada cemento tipo I (ver figura 4).
- Esto equivale a 82.607 toneladas de cemento tipo II x \$46,36 / tonelada + 45.000 toneladas de cemento tipo I x \$48,53 / tonelada.

que lograría la compañía sería la acumulación permanente de inventario de trabajo en proceso. La figura 3 muestra la acumulación de trabajo en proceso si se pone a trabajar las minas, los molinos y la máquina de empaque a su máxima capacidad. La caliza extraída de las minas comenzará a acumularse rápidamente frente a los

hornos a la espera de ser procesada. Adicionalmente, las toneladas de cemento tipo II procesadas por la operación de los molinos empezarán a acumularse frente al área de empaque en espera a ser despachadas (cemento tipo II) o empacadas para ser despachadas (cemento tipo I).

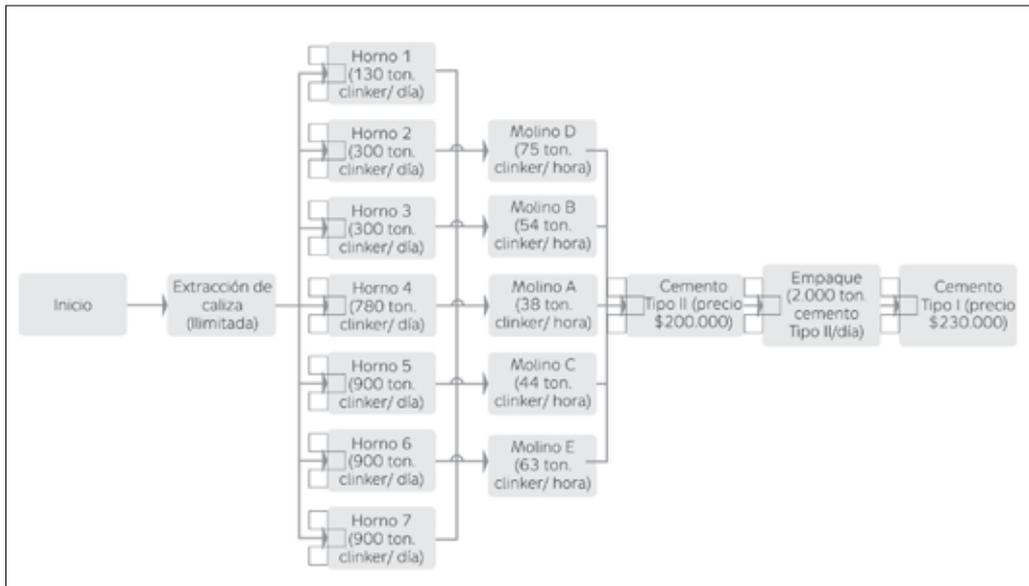


Figura 3. Acumulación de inventario de trabajo en proceso al operar a la máxima capacidad los molinos, las minas y el área de empaque

De este inventario de trabajo en proceso resultan dos situaciones desfavorables para la consecución de utilidades:

1. Cementos Andino S.A. gastará grandes cantidades de dinero en los materiales necesarios para la exploración de las minas en aras de la obtención de caliza que no pueden transformar en throughput. Algunos de los materiales necesarios para dicha actividad son fulminantes, Superanfo, cable #22, Indugel, cordón detonante, producto T100, combustible, etc.
2. El inventario de cemento tipo II que se obtiene después de la operación de los molinos podría ser utilizado para satisfacer la demanda de cemento tipo I o podría ser despachado para cubrir los pedidos de cemento tipo II. Este dilema necesariamente conlleva una de dos consecuencias significativas; si se opta por fabricar cemento tipo I, se estaría subordinando el cumplimiento en la entrega de pedidos a los clientes que han solicitado cemento tipo II a la eficiencia de la máquina de empaque. Por el con-

trario, si se elige la opción de esperar hasta que se complete el pedido de *cemento tipo II*, se estaría generando un sobrecosto por el no funcionamiento de la máquina de empaque y la acumulación de inventario del material de empaque (sacos).

Para evitar estos problemas, Cementos Andino S.A. necesita subordinar las operaciones no cuello de botella a la operación de los hornos, usando el sistema de Goldratt (1997): tambor, pulmón y cuerda. La figura 4 señala que primero se debe establecer un inventario

pulmón de reservas de caliza frente a los hornos, ese inventario debe ser controlado y lo suficientemente grande para garantizar que, en caso de que se llegara a necesitar materia prima para procesar por los hornos, no haya que ir a una mina a conseguirla; esto con el fin de que la operación de los hornos no se detenga por faltantes de material. Segundo, por medio del sistema cuerda, Cementos Andino S.A. requiere que las toneladas extraídas de las minas sean mayores que la capacidad de procesamiento de los hornos, de manera que pueda obtener materia prima necesaria para la operación.

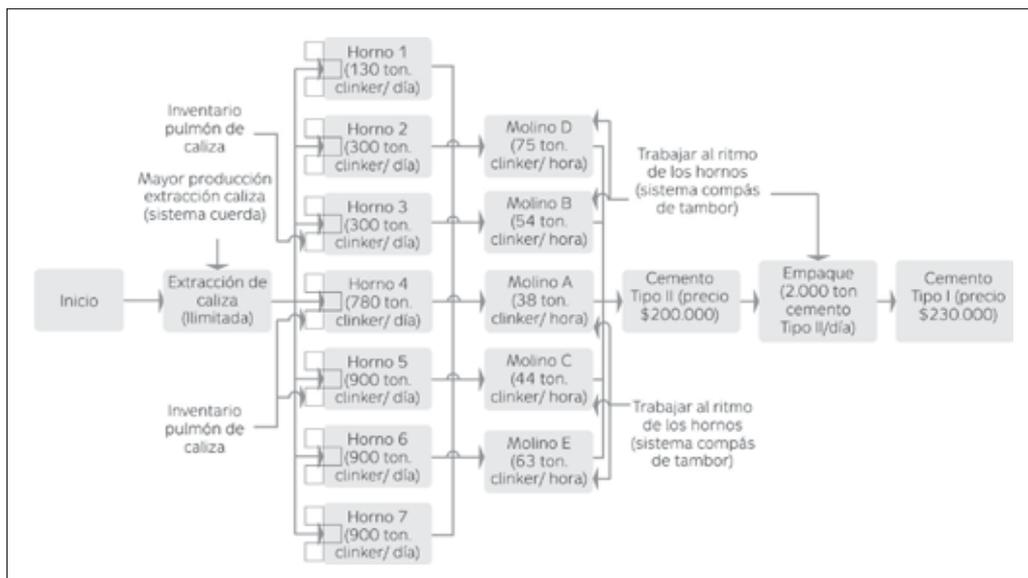


Figura 4. Sistema pulmón, cuerda y tambor

Por último, el ritmo de producción (compás de tambor) de los hornos debe ser comunicado a los molinos y al centro de trabajo de empaque, de manera que puedan poner su capacidad de procesamiento a una tasa más baja que su potencial de trabajo.

4.2.4. Elevar la restricción

Con la información obtenida por medio del análisis del margen de contribución tradicional, el modelo de la TOC y el *Throughput Accounting*, la compañía debe enfocar todos sus esfuerzos en elevar la capacidad de procesamiento de

los hornos para producir más cemento tipo II (se supone que la demanda de cemento tipo I ya ha sido satisfecha). Por ejemplo, el cálculo del valor del *throughput* como se presenta en el cuadro 6 demuestra que por un aumento de 0,7967 toneladas de clinker en la capacidad de procesamiento de los hornos adiciona \$129.308 de utilidad mensual. Por otro lado, sabemos que los hornos procesan 105.250 toneladas de clinker en 450 horas de trabajo/mes, es decir, por cada hora de trabajo se pueden producir 233,9 toneladas de clinker.¹¹ Por consiguiente, si el costo de la energía de la planta (\$ kw/h) por operar 0,20438 minutos¹² (tiempo en el que se procesa en los hornos 0,7967 toneladas de clinker) es menor que \$129.308, definitivamente, Cementos Andino S.A. debería reconsiderar la política de trabajar en los horarios en los que no está operando.

Adicionalmente, Cementos Andino S.A. deseará considerar métodos para incrementar la demanda del mercado por las toneladas de cemento tipo I. Por ejemplo, teniendo en cuenta los datos del cuadro 6 se podría decir que si la demanda del mercado aumenta de 45.000 a 55.000 toneladas de cemento tipo I adiciona \$1.427.740.000 a la utilidad mensual por venta de cemento tipo I (8.764 toneladas de clinker que producen 10.000 toneladas de cemento tipo I x \$ 142.774). Por tanto, 10.000 toneladas de cemento tipo I adicionales tendrán un costo de oportunidad de \$1.422.388.000 en utilidades mensuales por cemento tipo II (8.764 toneladas

de clinker que producen 11.000 toneladas de cemento tipo II x \$ 129.308). Desde esta perspectiva, el cambio tiene un sentido financiero al obtener un margen de utilidad adicional de \$5.352.000.

Como este margen adicional de utilidad es atractivo, la empresa puede recibir en compensación de las deudas que varias compañías filiales tienen con ella, un molino con capacidad de 900 toneladas / día, de manera que pueda atender la demanda respectiva.

4.2.5 Una nueva restricción aparecerá

Eventualmente, Cementos Andino S.A. ha elevado la restricción crítica del sistema actual; pero han surgido dos restricciones más que exigen un nuevo cálculo de *throughput* para evaluar sus posibles soluciones. La primera de ellas se refiere a que por cada máquina se necesita un operario; actualmente, la empresa cuenta con 7 empleados que operan el mismo número de hornos; si se le adiciona un nuevo horno (8 en total) se hace necesario contratar a un nuevo empleado que se encargue del funcionamiento de la nueva máquina.

La segunda restricción se refiere a que algunos clientes han decidido alterar las características del pedido en el presente mes, solicitando que de las 100.000 toneladas de *cemento tipo II* que se habían ordenado con anterioridad, 20.000 se conviertan en *cemento tipo I*. De esta forma aparece una nueva restricción de capacidad que se refleja en la operación de la máquina empacadora. Ahora, el modelo de decisión de la TOC comienza otra vez con nuevos cálculos de valores *throughput* basados en las horas de operación del centro de trabajo

11 Ton clinker / hora = 105.250 toneladas de clinker / (450 horas / mes).

12 Esto es igual a 0,7967 toneladas de clinker x 60 minutos / 233,9 toneladas clinker.

de empaque y en el capital humano como recurso cuello de botella.

5. Consideraciones finales

Las compañías manufactureras están obligadas a ofrecer productos diversos, de alta calidad y que sean entregados a sus consumidores finales en el menor tiempo posible.

Sin esfuerzos de mejoría continua que faciliten el logro de los objetivos mencionados inicialmente, las compañías difícilmente podrán sostener la ventaja competitiva que las mantiene vigentes en el mercado.

La TOC, como herramienta gerencial, permite que ese esfuerzo de mejoría continua sea realizado de manera permanente por las compañías, de tal forma que con la ayuda del TA, los gerentes pueden apreciar un escenario más claro para la toma de decisiones.

En el caso de Cementos Andino S.A., se puede constatar que los modelos de toma de decisiones TOC y TA son definitivos para que se realice una administración encaminada a la mejoría continua, de tal modo que se garantice el mantenimiento o el surgimiento de nuevas cualidades que caracterizan los procesos de forma que los productos o los servicios ofrecidos resaltan la ventaja competitiva de Cementos Andino S.A. frente a sus competidores.

Trabajar con capacidades de procesamiento y consumo de la principal materia prima (considerando los desperdicios) por centro de trabajo, en el caso de Cementos Andino S.A., permite calcular con mayor exactitud las restricciones de proceso. Trabajar con tiempos de fabricación por producto dificulta el cálculo

de las limitantes del sistema, debido a que la determinación de tiempos estándar requiere un estudio preliminar de medición y normalización de tiempos, cuyo resultado ofrecería un nivel de confiabilidad menor que el análisis del modelo de la TOC y el TA, por medio de los consumos y capacidades de procesamiento por centro de trabajo.

Referencias

- Constantinides, Kim; Shank, John K. (1994). Matching accounting to strategy: one mill's experience. En *Management Accounting*, Vol. LXXVI, No. 3, september, pp. 32-36.
- Corbett-Neto, Thomas. *Contabilidade de ganho: a nova contabilidade gerencial de acordo com a Teoria das Restrições*. São Paulo, Nobel, 1997. p 37-53.
- Dewan, Sanjeev. *Timeliness and management of information systems*. Edit. Rochester, New York University of Rochester, United States, 1991.
- Dugdale, David; Jones, Colwyn. The theory of constraints. En *Accountancy*, sep. 1995. pp. 134.
- _____. Accounting for throughput. Part 1. En *Management Accounting*. Apr 1996. pp. 24-29.
- _____. Accounting for throughput. Part 2. En *Management Accounting*. May 1996. pp. 38-42.
- Goldratt, Eliyahu M. *Garimpendo informação num oceano de dados: a síndrome do palheiro*. São Paulo, Educator, 1996.
- Goldratt, Eliyahu M.; Cox, Jeff. *A meta*. 35 ed. São Paulo, Educator, 1997.
- Goldratt, Eliyahu M.; Fox, Robert. *A corrida pela vantagem competitiva*. 6 ed. São Paulo, Educator, 1996.

- Guerreiro, Reinaldo. *A teoria das restrições e o sistema de gestão econômica: uma proposta de integração conceitual*. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1995.
- Guerreiro, Reinaldo; Catelli, Armando. *As críticas da teoria das restrições a contabilidade de custos: uma resposta*. Memórias do XV Congresso Brasileiro de Contabilidade. Fortaleza vol. 1, outubro, 1996. pp. 43-64.
- Karmarkar, Uday S. *Push, Pull & Hybrid control schemes*. Graduate School of Management. Working paper QM 8614, University of Rochester, N.Y., 86.
- Lee, Nels Terry; Plenert, Gerhard. Optimizing Theory of Constraints when new product alternatives exist. En *Production and Inventory Management Journal*. Third quarter 1993. PP. 51-57.
- Ruhl, Jack M. An introduction to the Theory of Constraints. En *Journal of Cost Management*. Vol. 10, No. 9. Summer 1996. pp. 43-48.
- Schragenheim, Eli; Boaz, Ronen. The Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control. En *Production and Inventory Management Journal*. Third quarter 1990. pp. 18-23.
- Tung, Nguyen H. *Controladoria financeira das empresas*. 8 ed. São Paulo, Edições Universidade Empresa, 1993. pp. 31-58.