ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL
"Impulsando la Sociedad del Conocimiento"

CICYT

Desarrollo e implementación de un modelo de planificación y optimización de capacidades enfocado a la industria de cervezas

Carlos Cevallos Quiroz[1], Kleber Barcia Villacreses[2]

[1] Instituto de Ciencias Matemáticas (ICM)
Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística (MOL)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
E-mail: carlos_ecq@hotmail.com

[2] Director de Tesis. Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1986. Msc. Economía Agrícola, Texas A&M University, 1996. Ph.D. en Ingeniería Industrial, University of Texas at Arlington, 2003. Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral desde 1989. E-mail: kbarcia@espol.edu.ec

Resumen

El propósito de esta tesis es diseñar y construir un modelo de planificación de capacidades de largo plazo que permita optimizar las mismas a través de la red primaria de suministro de una compañía de cervezas.
Se desarrollaron dos modelos complementarios, el primero se refiere a un modelo de Optimización, el cual fue construido en base a la teoría de Redes, utilizando el modelo estándar de Flujo de Costo Mínimo. Este modelo optimiza la asignación de volúmenes a través de la red de suministro, que incluye: Plantas Productoras, Centros de Distribución y Distribuidores. El segundo modelo se desarrolló para calcular automáticamente los requerimientos de recursos tomando como Input los volúmenes ya optimizados. Este segundo modelo fue construido tomando en cuenta un detalle profundo de los parámetros productivos y logísticos, característicos en la industria de cervezas. Ambos modelos trabajan secuencialmente, el primero cumple la función de optimización, mientras que el segundo permite simular variaciones en los parámetros claves de planificación para proponer escenarios de requerimientos de recursos.
También se añadió una hoja de cálculo para evaluar financieramente los distintos escenarios que se pueden plantear. Finalmente, se realizó un ejemplo del uso del modelo completo de Planificación Estratégica de Capacidades.

Palabras Claves: *Planificación de Capacidades a largo plazo, Modelo de Optimización, Requerimientos de Recursos, Parámetros claves de planificación.*

Abstract

The goal of this work is to design and to build a Capacity Planning Model for the long term that allows optimizing the primary supply network for a beer company.
Two complementary models were developed. The first one refers to an Optimization Model which was built based on networks theory using the "Flow of Minimum Cost" standard model. This model optimizes the volume assignment through the Supply Network that includes: Manufacturing Plants, Distribution Centres and Distributors. The second model was developed to calculate the resource requirements automatically taking as Input the volumes already optimized. This second model was built taking into account a deep detail of productive and logistical parameters, characteristic in the beer industry. Both models work sequentially, the first one carries out the Optimization function, while the second one allows simulating key parameters variations in order to propose scenarios of resource requirements.
A calculation spreadsheet was also added to evaluate financially the different scenarios that can be defined. Finally, it was carried out an example of the use for the whole Strategic Capacity Planning model.

Keywords: *Long term Capacity Planning, Optimization Model, Resource Requirements, Key Parameters*

1. Conceptos y técnicas aplicadas

Administración de capacidades

Para el desarrollo de la tesis se analizaron todos los tipos de planificación de capacidades y se seleccionó Resource Planning, el cual administra las capacidades al nivel más alto, tomando en cuenta volúmenes agregados, buckets anuales, y horizontes de planificación de largo plazo como por ejemplo, 5 años. A continuación la tabla que describe a este tipo de planificación seleccionado:

Tabla 1. Descripción de resource planning

Componentes	Resource Planning Descripción
Horizonte de Planificación	De 12 meses a varios años
Nivel de Detalle	Grupos de productos o familias en buckets mínimo de meses
Tipo y número de recursos requeridos	Recursos, personas, procesos y equipos críticos
Precisión Requerida	Bastante baja
Alternativas factibles para resolver desbalances	Para Planificación: cambios en cantidades, mix, o timing de producción. Para Capacidades: cambios en fuerza laboral, Equipos, diseño de producto, Infraestructura.
Técnicas empleadas	Modificar las variables actuales relacionadas a personas, procesos y Equipos

Modelos de optimización de redes

Para desarrollar el modelo de Optimización, se profundizó en la selección del mejor modelo en términos de sencillez y robustez. El Modelo de Optimización de Redes escogido fue el de Flujo de Costo Mínimo, debido a que es el más empleado en la optimización de redes de suministro, para minimizar los costos totales de la red y cumplir tanto con las demandas requeridas como con las restricciones planteadas.

2. Red a modelar

La empresa donde se desarrollo la tesis fue la Cervecería Nacional. Esta empresa cuenta con una Red de suministro expandida a lo largo de todo el territorio nacional que incluye:

- ✓ 2 Plantas de Producción (Pascuales - Guayaquil y Cumbayá - Quito)
- ✓ 2 Centros de Distribución Primarios [CD1] (Guayaquil y Quito)
- ✓ 1 Centro de Distribución Secundario [CD2] (Sto. Domingo de los Tsachilas)
- ✓ 60 Distribuidores aproximadamente (Todo el país)

3. Modelo de Optimización

El tipo de planificación de capacidades a desarrollar es el de mayor horizonte de tiempo, el mismo que permite tener una visualización estratégica de las operaciones. Esta planificación de largo plazo adoptada se llama *RESOURCE PLANNING*, como se mencionó previamente y debido a sus características, se consideró un horizonte de tiempo de 5 años con buckets de información anuales.

El modelo de Optimización propiamente dicho, fue desarrollado en base al algoritmo de Redes llamado "Problema del Flujo de Costo Mínimo" y como se explicó, el modelo optimizará en base a volúmenes anuales. Este modelo es uno de los más sencillos, pero a su vez es muy robusto y eficiente en su resolución.

Para la construcción y modelamiento se utilizó una herramienta de optimización llamada "What´s Best" de LINGO la cual usa como plataforma el Excel.

El modelo de Optimización desarrollado incluye los siguientes elementos:

- ✓ *Nodos Fuente:* Planta Pascuales y Planta Cumbayá
- ✓ *Nodos de Transbordo:* CD1 Guayaquil, CD1 Quito y CD2 Sto. Domingo
- ✓ *Nodos de Demanda:* Los Distribuidores

A continuación se muestra el bosquejo de la red modelada y el mapa de la red primaria:

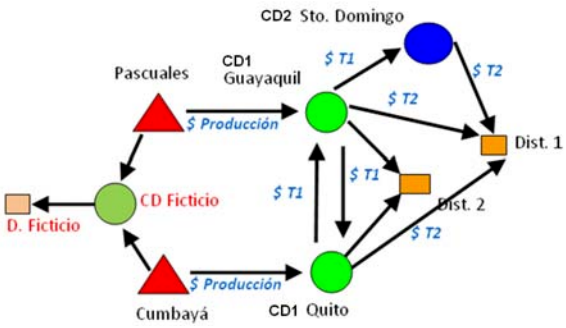

Figura 1. Bosquejo de la red modelada

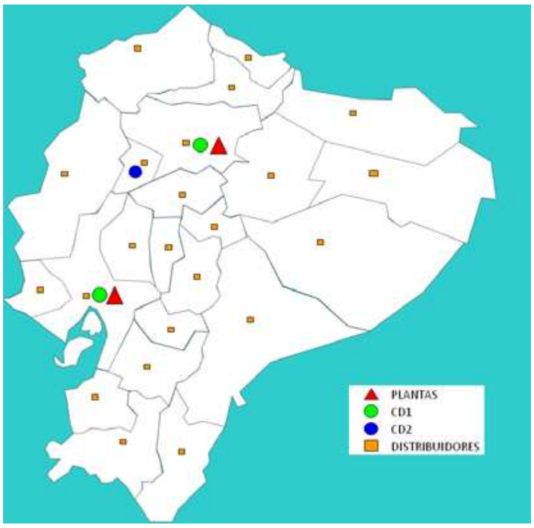

Figura 2. Mapa de la red primaria de suministro

Para explicar de mejor manera el bosquejo, se desarrolló un problema de redes cuyo objetivo principal fue asignar los volúmenes de tal manera que se minimicen los costos totales de la red, es decir, los distribuidores son asignados a los CD1s y CD2 minimizando los costos de Transporte, luego los volúmenes de los CD1s y CD2 son asignados a las plantas, de forma que se minimicen los costos de producción de manera simultanea. Los arcos entre nodos fueron llamados rutas entre nodos (origen y destino) para usar términos que sean familiares en la operación. A cada ruta se le asoció su costo respectivo y a cada nodo su demanda o suministro respectivo también. Tomando en cuenta lo descrito, la formulación del modelo fue la siguiente:

Variables de decisión:

X_{ij} = flujo a través de la ruta i -> j, donde i representa al origen y j el destino

Parámetros:

C_{ij} = costo por unidad de flujo a través de la ruta i -> j.

Se incluyen por separado Costos de Producción, T1 y T2.

Para los nodos ficticios el costo será "0".

b_i = flujo neto generado en el nodo i, donde:

$b_i > 0$, si i es una Planta (nodo fuente)

$b_i < 0$, si i es un Distribuidor (nodo demanda)

$b_i = 0$, si i es un CD1 o CD2 (nodo transbordo)

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} C_{ij}X_{ij},$$

Sujeto a las siguientes

Restricciones:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} - \sum_{j=1}^{n} X_{ji} = b_i, \text{ para cada nodo i}$$

$$\sum_{i=1}^{n} b_i = 0$$

4. Herramienta de cálculo de requerimientos de capacidad

Una vez que se obtienen los volúmenes resultantes del modelo de optimización, estos son utilizados para determinar los requerimientos específicos de capacidad para cada una de las etapas productivas y de las diferentes instancias de distribución. La herramienta construida para este fin se basa en una hoja de cálculo que mediante formulaciones determina los requerimientos, y tendrá dos bloques de planificación: uno para producción y otro para distribución.

En el proceso de diseño de la herramienta se consideró separar la información en varias hojas que contienen los Inputs y las formulaciones para la planificación de recursos. Las hojas en mención son las siguientes:

1. INPUT 1 – DEMANDA
2. RESUMEN VOL & COSTO
3. RESOURCE PLAN por Planta
4. RESOURCE PLAN por CD
5. ANALISIS Financiero

A continuación se muestra la imagen de la herramienta construida:

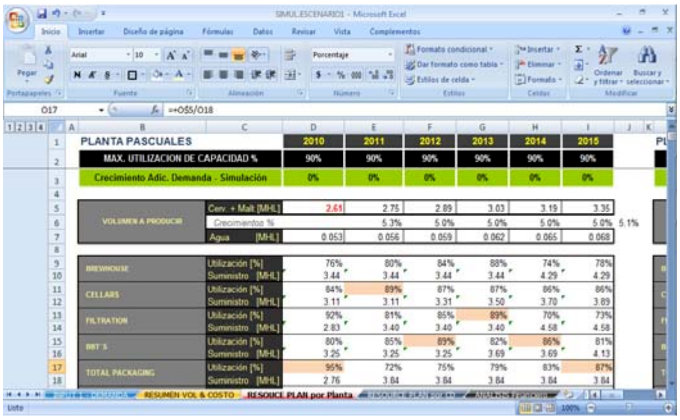

Figura 3. Pantalla de la herramienta de cálculo de requerimientos en excel

La hoja ***INPUT 1 – DEMANDA*** contiene los volúmenes de demanda planificados por año para un horizonte de 5 años. Es importante señalar que de ésta hoja se alimenta la demanda del modelo de optimización por año.

La demanda se encuentra repartida por distribuidor y por categoría. Adicionalmente se cuenta con una sección formulada para simular crecimientos de volúmenes por año, cambios en la participación de las categorías y cambios en la participación por Distribuidor, este último punto se refiere a que existe la posibilidad de diferenciar el crecimiento de los distribuidores (o zonas) a través de los años. Estas diferencias en crecimientos afectarán directamente al modelo de optimización y por lo tanto a los requerimientos de capacidad calculados por la herramienta.

La hoja ***RESUMEN VOL & COSTO*** es la hoja donde se encuentran resumidos los resultados del modelo de optimización para cada uno de los años del horizonte de planificación definido. Estos resultados representan el Input principal de la herramienta e incluyen los volúmenes a producir por planta y los volúmenes a manejar o distribuir por Centro de Distribución. También se detallan los costos de operación que son de vital importancia para el análisis financiero que se realiza posteriormente.

La hoja ***RESOURCE PLAN por Planta*** es la que contiene toda la formulación para la determinación de los requerimientos de capacidad por Planta y por cada una de las etapas productivas. Las etapas productivas a nivel de cervecerías son las siguientes: Brewhouse, Cellars, Filtration, BBT´s y Packaging.

La hoja ***RESOURCE PLAN por CD*** es la que contiene la formulación para la determinación de los requerimientos de capacidad por cada Centro de Distribución y por cada una de las instancias de Distribución. Estas instancias son: Fulls Storage, Empties Storage, Truck Staging T3, Truck Loading T3, Truck Loading T1 y T2, Gate area y Trucks required T3, T1 y T2. Es importante señalar que a este nivel, los recursos a planificar están divididos en Recursos de Almacenamiento y Recursos de Flota.

La última hoja se llama ***ANALISIS Financiero***, ésta contiene un resumen de los costos calculados desde el Modelo de Optimización hasta la Herramienta. Los costos se los han dividido en Costos de Operación, también llamados OPEX, y los Costos de Capital de Inversión, también llamados CAPEX. La suma de ambos nos da el costo total de la Red primaria de suministro o también conocido como Total Expenditure. Los valores de OPEX se obtienen del Modelo de Optimización por cada año, mientras que los valores de CAPEX se obtienen de las inversiones anuales necesarias desde Herramienta de cálculo de requerimientos. Al final también se calcula el NPV (Net Present Value), o en otras palabras, valor actual neto, para poder comparar y evaluar distintos escenarios de Plan de Capacidades, que pueden incluir, por ejemplo, atrasos en la inversión de capacidad significando financieramente un beneficio en el periodo de planificación definido.

5. Ejemplo de uso

Para verificar el funcionamiento del modelo completo de planificación y optimización de capacidades construido en esta tesis, se desarrolló un ejemplo que permitió explicar en forma práctica las funcionalidades del mismo. Los siguientes pasos fueron realizados para el ejemplo de uso:

1. Cargue de la demanda para 5 años proveniente de Demand Planning
2. Cargue de los costos operacionales unitarios y las capacidades de las plantas
3. Corrida del Modelo de Optimización por año
4. Actualización de parámetros del la Herramienta de cálculo de requerimientos
5. Definición de escenarios
6. Corrida de la Herramienta de calculo de requerimientos
7. Análisis de los resultados

Como resultado de los tres primeros pasos se obtuvo lo siguiente:

- ✓ Volúmenes a producir por planta y por año
- ✓ Volúmenes a distribuir por tipo, por Centro de Distribución y por año
- ✓ Costos operacionales totales por año

A continuación los resultados obtenidos para estos tres pasos iniciales:

Tabla 2. Resultados de optimización - ejemplo

VOLÚMENES (Hl)		2011	2012	2013	2014	2015
PRODUCCIÓN	PASCUALES	2,808,750	2,949,188	3,096,647	3,251,479	3,414,053
	Cervezas & Maltas	2,752,575	2,890,204	3,034,714	3,186,450	3,345,772
	Aguas	56,175	58,984	61,933	65,030	68,281
	CUMBAYA	2,441,250	2,563,313	2,691,478	2,826,052	2,967,355
	Cervezas & Maltas	2,392,425	2,512,046	2,637,649	2,769,531	2,908,008
	Aguas	48,825	51,266	53,830	56,521	59,347
	TOTAL	5,250,000	5,512,500	5,788,125	6,077,531	6,381,408
DISTRUBUCIÓN	CD1 Guayaquil	2,808,750	2,949,188	3,086,647	3,251,478	3,414,053
	CD1 Quito	1,338,750	1,405,688	1,475,972	1,549,770	1,627,259
	CD2 Sto. Dom	1,102,500	1,157,625	1,215,506	1,276,282	1,340,096
	TOTAL	5,250,000	5,512,500	5,788,125	6,077,531	6,381,408

COSTOS (OPEX) ($)		2011	2012	2013	2014	2015
PRODUCCIÓN	PASCUALES	$ 33,705,000	$ 35,390,250	$ 37,159,763	$ 39,017,751	$ 40,968,638
	CUMBAYA	$ 24,412,500	$ 25,633,125	$ 26,914,781	$ 28,260,520	$ 29,673,546
	Costo Producción	$ 58,117,500	$ 61,023,375	$ 64,074,544	$ 67,278,271	$ 70,642,184
DISTRUBUCIÓN	$ T1	$ 1,145,166	$ 1,202,424	$ 1,262,545	$ 1,325,672	$ 1,391,956
	$ T2	$ 7,516,079	$ 7,891,883	$ 8,286,477	$ 8,700,801	$ 9,135,841
	Costo Distribución	$ 8,661,244	$ 9,094,307	$ 9,549,022	$ 10,026,473	$ 10,527,797
	COSTOS TOTAL	$ 66,778,744	$ 70,117,682	$ 73,623,566	$ 77,304,744	$ 81,169,981

Una vez que se actualizaron los parámetros dentro de la Herramienta según el paso 4, se procedió a definir los escenarios a evaluar. Las características de los escenarios fueron las siguientes:

Escenario 1)

- ✓ Utilización máxima de capacidad al 90%
- ✓ Todo aumento de capacidad será basado en incrementos por adquisión de equipos, es decir, no se presentarán mejoras de productividad cambiando los parámetros claves.

Escenario 2)

- ✓ Utilización máxima de capacidad al 95%, con el afán de postergar inversiones de capacidad
- ✓ Los aumentos de capacidad se darán mediante el establecimiento de metas operativas para mejorar los parámetros claves y cuando sea necesario, adquiriendo equipos adicionales.

El Análisis demostró que el escenario 2 es el mejor, debido a que los incrementos de productividad redujeron significativamente los requerimientos de recursos así como también lo hizo la decisión de postergar o mover las inversiones hacia delante, resultando un beneficio financiero en el NPV o valor actual neto. En resumen, en un ejemplo como el mostrado se pueden llegar a obtener ahorros aprox. de $ 25 millones, planteando, simulando y mejorando escenarios del Plan de Capacidades con una visión de largo plazo.

6. Conclusiones

Se cumplió el objetivo de diseñar y construir un modelo de optimización para la eficiente asignación de volúmenes por Centro de Distribución y por Planta Productora minimizando los costos de operación (OPEX) en la Red Primaria de Suministro.

Se cumplió el objetivo de analizar los cuellos de botella en la Red. Para esto, se construyó una Herramienta de Cálculo de Requerimientos de

Capacidad que verifica los cuellos de botella y la utilización de las capacidades productivas y de distribución, así como también calcula automáticamente los nuevos requerimientos de recursos, cubriendo de esta manera el objetivo de construir una herramienta que proporcione automáticamente los requerimientos de capacidades.

Se diseñó y construyó el modelo para que permita generar simulaciones de cambios de parámetros claves y de tomar distintas decisiones de utilización de capacidades.

Una correcta planificación de capacidades no sólo se basa en las necesidades de equipos, sino también en las metas operativas y estratégicas que deben ser colocadas año a año para incrementar la productividad de los procesos. Esto se traduce en grandes ahorros financieros.

7. Recomendaciones

Se recomienda diseñar un modelo robusto para el cálculo y definición de Políticas de Inventarios a largo plazo, debido a que no fue parte del alcance de este proyecto, sin embargo, éste complementaría al modelo ya que las políticas de inventario tanto de productos terminados como de envases retornables, afectan directamente a la determinación de requerimientos de capacidad de distribución y producción.

8. Referencias bibliográficas

[1] Chase Richard B., Aquilano Nicholas J. & Jacobs Robert F., *Administración de Operaciones, Manufactura y Servicios*, Octava edición, Mc. Graw Hill, 2004.

[2] Hillier & Lieberman, *Introduction to Operations Research*, Séptima Edición, MC. Graw Hill, 2001.

[3] Jeremy F. Shapiro, *Modeling the Supply Chain*, Segunda Edición, DUXBURY, 2009.

[4] Supply Chain Academy, *Capacity Planning course*, Accenture, 2010.

[5] Ian Jones, Journal *"Capacity Planning and Capacity utilization standards"*, Octubre/ 2007

[6] The South African Breweries Ltd, *Capacity Planning Manual*, Enero/ 2005.

[7] F.C. Ted Weston, Journal *"The right place for a bottleneck: capacity planning in a microbrewery is made easier with simulation"*. Diciembre/ 2002.

[8] Gox, Robert F., Journal *"Capacity planning and pricing under uncertainty"*. Enero/ 2002