

# Análisis del proceso de producción de tapas corona aplicando el algoritmo de flujo máximo

**Wilmer Atoche**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.edu.pe

**Gabriela Canal**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, gabriela.canal@pucp.pe

**Jonatán Rojas**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, jrojas@pucp.pe

**Magendie Soto**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, magendie.soto@pucp.pe

## ABSTRACT

In the current document, the authors will present an application of net theory, a specific problem of maximum flow. The problem is based in to know the maximum capacity of the production per working turn of the company, this company is dedicated to product bottle crown cap for bottles, but the company has the politic of prioritize the production of bottle crown cap for bottle of beer. At the present time, the trade of beer is growing so the bottle crow cap's demand is also growing. **PACKAGING PRODUCTS** wants to cover the bigger demand as possible, although the company has to consider that their production has limits and that some contracts would exceed that limit. So the company would reject some contract for avoiding possible breaches. For this reason the company needs to know their maximum level of production. For develop this problem, is convenient the next steps. First, use the required machines for the production of bottle crown caps for beer and then use the rest of machines for production of bottle crown caps for soft drinks. The develop of the problem was done through the realization of two graphics of maximum flow, one for each type of bottle crow caps; from the first is possible to know the maximum capacity of production of bottle crow caps for beer and with the second one is, the maximum capacity of production of bottle crow caps for soft drink.

Subsequently, with the results taken of the graphics, we will make an analysis of the percentage of using of machines and bottlenecks that exists in the process.

**Key words: process, machine, capacity, bottle cap, maximum flow**

## RESUMEN

En este documento se presentará una aplicación de la teoría de redes, específicamente el problema de flujo máximo. El problema se basa en la necesidad de conocer la máxima capacidad de producción por turno de trabajo de la empresa, la cual se dedica a la producción de tapas corona para botellas, pero tiene como política priorizar la producción del primer tipo de tapas. Actualmente, el mercado cervecero ha experimentado un crecimiento y con él la demanda de tapas corona también ha aumentado. **PACKAGING PRODUCTS** desea satisfacer la mayor cantidad de demanda posible, sin embargo debe tener en cuenta no aceptar todos los contratos que se le presenten, pues podría incumplirlos si sobrepasa su capacidad de producción, por esta razón se desea saber cuál es su máximo nivel de producción. Primero se trabajó agotando la capacidad de producción de las máquinas en el procesamiento de tapas de cerveza y luego con la capacidad de máquinas restante producir tapas para envases de gaseosa, la solución del problema se planteó mediante el esquema de 2 grafos de flujo máximo, uno para cada tipo de tapas como se explicó anteriormente, del primero se podrá hallar la capacidad máxima a producir de tapas de cerveza y con el segundo que involucra las capacidad restantes de las máquinas, podremos hallar la máxima capacidad producida de tapas para envases de gaseosa. Posteriormente, con los resultados obtenidos y a partir de los grafos se realiza un análisis del porcentaje de utilización de las máquinas y los cuellos de botella presentes en el proceso.

**Palabras claves: proceso, máquina, capacidad, tapas, flujo máximo.**

## 1. INTRODUCCIÓN

The Conference Proceedings will be produced directly from the camera-ready manuscripts received from authors. Therefore the authors should try to produce their paper, as closely as possible to this model paper.

La empresa Packaging Products se dedica a la elaboración de tapas corona de metal y envases metálicos para el mercado nacional y en algunos casos extranjeros, países fronterizos como Ecuador y Bolivia. El producto estrella y que se trabajará en el presente documento, es la tapa corona, la que comúnmente se utiliza para el embotellado en envases de vidrio. Las tapas de tipo corona se dividen en dos grupos, los cuales son:

**Tapas para gaseosas:** Estas se caracterizan por tener un espesor de 0.23mm, es decir son las tapas convencionales.

**Tapas para cervezas (Low Gauge):** Estas se caracterizan por tener un espesor de 0.17mm, la venta de este tipo de tapa genera mucha mayor ganancia que la primera, y el poder de negociación del cliente es mayor.

Para la fabricación de tapas, Packaging Products cuenta con cuatro áreas de producción diferenciadas entre sí por el aporte que cada una genera en el producto final. En cada etapa del proceso hay distintos tipos de máquinas que pueden realizar una operación o dos; cada una con capacidades de producción y requerimientos diferentes. En este momento la empresa selecciona las máquinas que van a usarse en un determinado proceso de acuerdo a la disponibilidad de las mismas, es decir sin tomar en cuenta que posteriormente esto podría representarle cuellos de botella y por ende bajas en la producción de tapas. El proceso de producción de tapas que sigue la empresa es el siguiente:

### • Corte de bobina en cizalla

El corte de bobina inicia con la llegada de bobinas de 5 a 10 toneladas en container, estas son exportadas de China y Alemania. El grosor de las planchas de la bobina ya vienen definidas (0.17 y 0.22 mm de espesor). La bobina es levantada con una grúa puente desde su ubicación alrededor de las líneas de corte y colocada en un eje que gira y va desenrollando la plancha. Esta conforme se desenrolla, es cortada por una cizalla de 1.5 m. de longitud y colocadas en pacas (de 1500 a 1700 láminas). Estas pacas son las que se usa para la producción de tapas.

### • Pintado y barnizado en litografía

Las láminas ya cortadas son llevadas con montacargas hasta la zona de litografía, allí son colocadas, con ayuda de palancas, son colocadas e instaladas en la entrada de la máquina de litografiado. Las láminas son pintadas con uno a más colores dependiendo de la especificación del producto; luego sigue un mismo proceso de barnizado en la misma línea (el tiempo que demora es realmente corto). La mayor parte de este proceso lo abarca el horneado de las láminas (ya pintadas y barnizadas) en un horno eléctrico.

### • Troquelado en prensas

Después de que las láminas salen del horno (en pacas), son llevadas con montacargas hasta el alimentador del troquel. Allí inicia el proceso de prensado de las tapas. Este proceso tiene un gasto excesivo en mantenimiento debido a que la mayoría de errores ocurren aquí, por ejemplo: diámetro, altura y profundidad del anillo fuera del rango admisible.

### • Ensamble de tapa con Liner

Una vez troqueladas las tapas, son llevadas en carro, por distancia de 1m., a las líneas en donde serán transportadas en fajas transportadoras en todo el proceso de ensamble. En este proceso se pega el adhiere el liner (el cual se encuentra dentro de una pequeña tolva en la línea de ensamble). El fin de la línea de ensamble termina en la caja donde será transportado al cliente.

### • Control de Calidad

El control de calidad que se da en la elaboración de tapas de tipo corona empieza con un control de materias primas en todos los niveles de los procesos involucrados en la elaboración y que ya fueron mencionados anteriormente. En este control se verifica que la materia prima esté dentro de los lineamientos establecidos con el proveedor. Si la materia prima no cumple con los lineamientos, se rechaza todo el lote y se pide que el proveedor vuelva a traer uno que sí cumpla con lo pactado en el contrato.

Actualmente, el crecimiento del mercado cervecero ha producido un incremento en la demanda de las tapas corona para este tipo de bebida. Teniendo en cuenta que la ganancia por la venta de este tipo de tapas genera mayor utilidad, la empresa tiene como política priorizar la producción de tapas para cerveza y produce tapas para gaseosa en menor proporción.

Es importante recalcar que aunque el mercado cervecero muestre gran crecimiento, la empresa no podrá satisfacer toda la demanda por si sola pues se ve limitada por su capacidad de planta, y si ignorara esta restricción podría aceptar pedidos los cuales no podrán ser satisfechos y por los cuales pagará multas. Bajo este contexto se desea conocer la máxima capacidad de producción de los tipos de tapas, teniendo como prioridad la elaboración de tapas de cerveza.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Como se mencionó antes la empresa **PACKAGING PRODUCTS DEL PERÚ** es una empresa dedicada a la producción de tapas tipo corona para envases de vidrio de gaseosa y cerveza, siendo la producción de estas últimas la más importante para la empresa, pues la comercialización de estas le genera mayor margen de ganancia. Además, el consumo per cápita de cerveza ha aumentado y por lo tanto la demanda y pedidos de tapas para este tipo de bebidas también.

La empresa desea conocer cuál es su máxima capacidad de producción teniendo como prioridad la producción de tapas para botellas de cerveza, esto le permitirá conocer el cual es el pedido máximo de tapas que puede aceptar para evitar el pago de multas por incumplimientos de entrega. Enfocaremos este tema como un problema de flujo máximo el cual podrá ser resuelto mediante el método de la trayectoria en aumento con ligeros ajustes. El procedimiento heurístico se detalla a continuación.

Para iniciar el desarrollo del problema se ha trazado un grafo en el cual se pueden ver nodos ligeramente agrupados por columnas de tal manera que cada una de ellas represente las etapas del proceso de producción. En cada etapa, los nodos representan las diversas máquinas como opciones para realizar cada parte del proceso, mientras que en cada uno de los arcos se asignan valores que representan las máximas capacidades que estas pueden producir y que son distintas debido a que la longevidad y marcas de las máquinas varían.

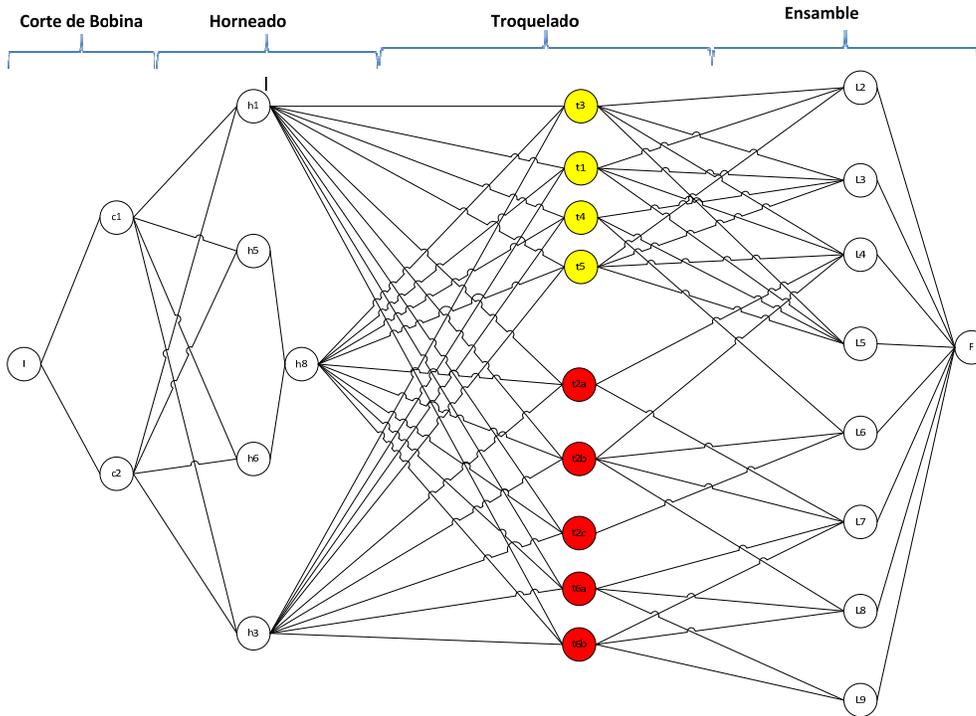
Para hallar las capacidades de producción real de cada máquina se debe considerar la capacidad real experimental por turno, el número de pasadas que tiene que seguir el producto en proceso para poder pasar a la siguiente etapa, el tiempo de mantenimiento de las máquinas, el cual fue calculado mediante un estudio de tiempos y la eficiencia, la cual se calculó experimentalmente como 70%.

En el siguiente cuadro se muestra las capacidades de producción reales obtenidas para cada máquina:

**Tabla 1. Tabla de capacidades de producción de cada máquina**

	Capacidad de maquinas	Acciones			Capacidad Real experimental por turno	Numero de pasadas	Capacidad por turno	capacidad por turno despues de mantenimiento
Corte de bobina	cortadora 1(C1)	Corte	-	-	22797	1	22797	19377
	cortadora 2(C2)	Corte	-	-	26095	1	26095	22180
Litografiado	Horno 1	Pintado	Barnizado	horneado	24971	2	12485.5	8740
	Horno 3	Pintado	Barnizado	horneado	24971	2	12485.5	8740
	Horno 8	-	Barnizado	horneado	24589	1	24589	17212
	Horno 6	Pintado	-	horneado	25517	2	12758.5	8930
	Horno 5	Pintado	-	horneado	25517	2	12758.5	8930
Troquelado	Troquel 1	Troquelado	-	-	4050	1	4050	4050
	Troquel 2A	Troquelado	-	-	3500	1	3500	2274
	Troquel 2B	Troquelado	-	-	3500	1	3500	2448
	Troquel 2C	Troquelado	-	-	3500	1	3500	2100
	Troquel 3	Troquelado	-	-	4150	1	4150	4149
	Troquel 4	Troquelado	-	-	5100	1	5100	5100
	Troquel 5	Troquelado	-	-	5100	1	5100	5100
	Troquel 6A	Troquelado	-	-	5900	1	5900	4425
Troquel 6B	Troquelado	-	-	5900	1	5900	4425	
Ensamble	Linea 2	ensamble	-	-	2500	1	2500	2499
	Linea 3	ensamble	-	-	2500	1	2500	2500
	Linea 4	ensamble	-	-	2500	1	2500	1950
	Linea 5	ensamble	-	-	3200	1	3200	2500
	Linea 6	ensamble	-	-	2500	1	2500	1950
	Linea 7	ensamble	-	-	6550	1	6550	5108
	Linea 8	ensamble	-	-	6550	1	6550	5109
	Linea 9	ensamble	-	-	12500	1	12500	9750

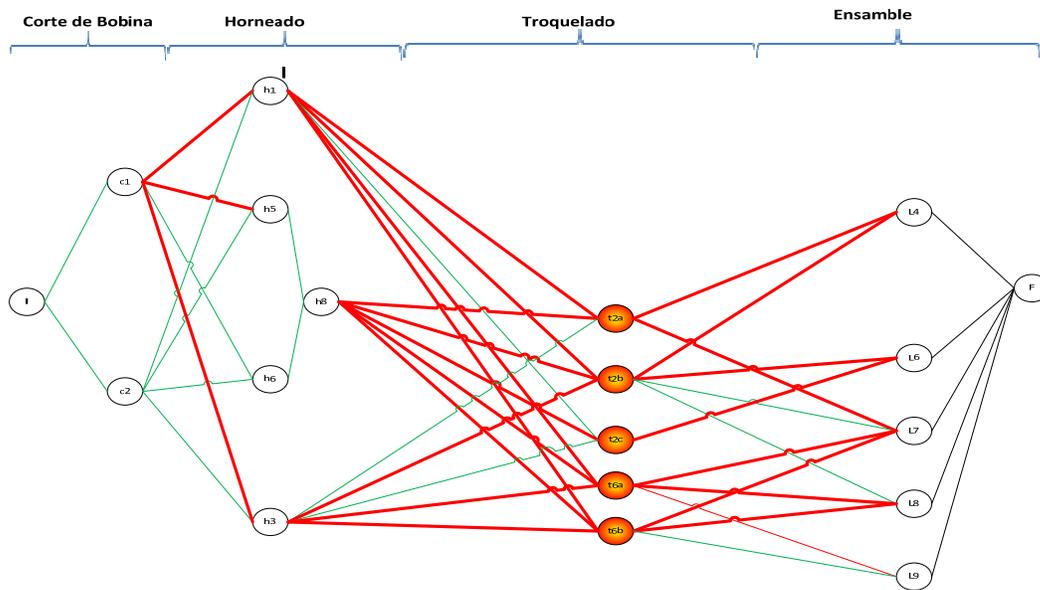
Tras calcular las capacidades reales por turno considerando los factores antes mencionados y dado que a un mismo nodo pueden llegar varios arcos, se consideró distribuir uniformemente la capacidad de cada máquina entre los arcos que pertenezcan al mismo nodo, por ejemplo si la máquina T2C, tiene capacidad de 2100 láminas por cada turno de 12 horas y a ella llegan 3 arcos, entonces su capacidad por arco será  $(2100/3)$  igual a **700** láminas (de una lámina se obtienen 10 000 tapas) por turno de trabajo. En el primer árbol observamos la totalidad de las máquinas que se utilizan para la producción general de los dos tipos de tapas, aún sin priorizar la producción de las tapas corona para cerveza.



**Figura1: Grafo que muestra las posibles opciones de máquinas para la realización de cada etapa del proceso de producción.**

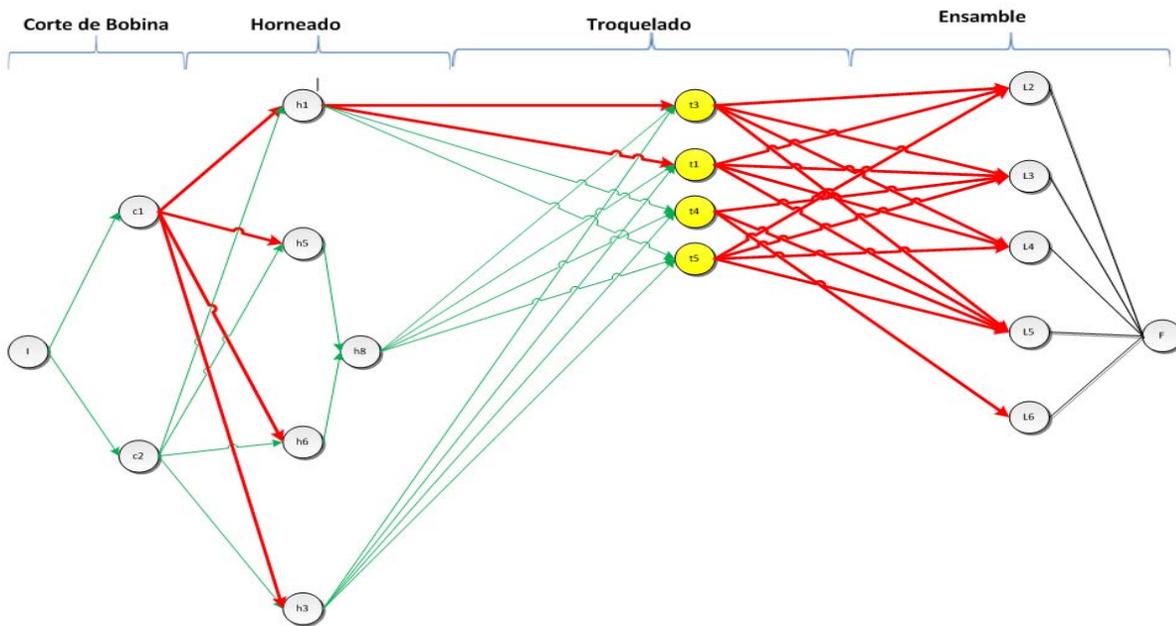
Tomando en cuenta la política de producción de la empresa, priorizar la producción de tapas coronas para cerveza, se hallará el flujo máximo de tapas mediante el algoritmo de la trayectoria en aumento, pero primero se tratará de agotar la capacidad de producción de las máquinas que participan exclusivamente en la elaboración de tapas para envases de cerveza y con la capacidad restante se hallará el máximo flujo de producción de tapas para botellas de gaseosa.

La solución se plantea mediante dos grafos los cuales parten del primer grafo (Figura1). En el grafo dos, mostrado en la Figura2, los nodos representan las máquinas que participan de la elaboración de tapas para botellas de cerveza según la secuencia de operación descrita en la tabla de capacidades. En cada arco del grafo debe ir la capacidad disponible de las máquinas, la cual fue calculada por el procedimiento ya descrito y teniendo en cuenta diversos factores como eficiencias, horas de mantenimiento necesarias, etc. En este grafo se muestran arcos de dos colores, los cuales fueron asignados así luego de resolver el flujo máximo, el color verde representa los procesos en los cuales no se ha utilizado el 100% de la capacidad de las máquinas, mientras que los arcos de color rojo significan que la máquina utilizada en ese proceso utilizó su máxima capacidad de producción.



**Figura2. Red de flujo máximo para la producción de tapas corona para envases de cerveza.**

Finalmente, y luego de obtener las capacidades restantes en las máquinas utilizadas en el proceso anterior colocamos estas en los arcos de nuestro nuevo diagrama (Figura3) para así hallar la capacidad máxima de producción de tapas corona para gaseosa. Consideramos también, nuevas máquinas para el proceso de troquelado las cuales se usan únicamente para este tipo de tapas.



**Figura3. Red de flujo máximo para la producción de tapas para envases de gaseosa.**

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Procesamiento de tapas para envases de cerveza

Luego de resolver el flujo máximo planteado para las tapas de cerveza se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla2. Muestra las rutas seguidas para encontrar el flujo máximo de producción de tapas para envases de cerveza.**

Rutas seguidas expresadas en capacidades						Mínima capacidad
r1	19377	4370	1475	1277	-	1277
r2	18100	3093	198	1703	-	198
r3	17902	2895	758	975	-	758
r4	17144	2137	816	975	-	816
r5	16328	1321	1475	1277	-	1277
r6	15051	44	198	1703	-	44
r7	15007	4465	8606	758	217	217
r8	14790	4248	8389	541	1277	541
r9	14249	3707	7848	1475	1505	1475
r10	12774	2232	6373	816	159	159
r11	12615	2073	6214	657	975	657
r12	11958	1416	5557	1475	1659	1416
r13	10542	4465	8606	59	243	59
r14	10483	4406	8547	700	975	700
r15	9783	4370	758	736	-	736
r16	9047	3634	816	318	-	318
r17	8729	3316	498	1277	-	498
r18	8231	2818	1475	30	-	30
r19	8201	2788	1445	4875	-	1445
r20	6756	1343	700	275	-	275
r21	6481	1068	1475	184	-	184
r22	6297	884	1291	4875	-	884
r23	22180	4370	154	3991	-	154
r24	22026	4370	407	3837	-	407
<b>Total</b>						<b>14525</b>

Analizando el porcentaje de utilización de las máquinas.

**Tabla 3. Muestra el porcentaje de utilización de las máquinas durante el proceso de producción de tapas tipo corona para cerveza.**

Máquina	Capacidad Real	Capacidad Usada	Eficiencia
C1	19377	13964	72%
C2	22180	561	3%
H1	8740	4525	52%
H3	8740	4777	55%
H5	8930	4465	50%
H6	8930	759	8%
H8	17212	5224	30%
T2A	2274	2252	99%
T2B	2448	2448	100%
T2C	2100	975	46%
T6A	4425	4425	100%
T6B	4425	4425	100%
L4	1950	1950	100%
L6	1950	1950	100%
L7	5108	4329	85%
L8	5109	3406	67%
L9	9750	2890	30%

### 3.2 Procesamiento de tapas para envases de gaseosa

Para el desarrollo del flujo máximo de las tapas de gaseosa, se obtuvo los resultados que se muestran a continuación:

**Tabla4: Muestra las rutas seguidas para encontrar el flujo máximo de producción de tapas para gaseosa.**

Rutas seguidas expresadas en capacidades						Capacidad mínima
r1	5413	3706	7847	1350	833	833
r2	4580	2873	7014	517	833	517
r3	4063	2356	6497	1383	833	833
r4	3230	1523	5664	550	625	550
r5	2680	973	5114	1700	625	625
r6	2055	348	4489	1075	625	348
r7	21619	4216	1350	625	-	625
r8	20994	3591	725	625	-	625
r9	20369	2966	1383	75	-	75
r10	20294	2891	1308	625	-	625
r11	19669	2266	1700	277	-	277
r12	19392	1989	1700	316	-	316
r13	19076	1673	1384	625	-	625
r14	18451	1048	759	625	-	625
<b>Total</b>						<b>7499</b>

**Tabla5: Muestra el porcentaje de utilización de las máquinas durante el proceso de producción de tapas tipo corona para gaseosa.**

Máquina	Capacidad Real	Capacidad Usada	Eficiencia
C1	5413	3706	68%
C2	21619	3793	18%
H1	4216	3793	90%
H3	3963	0	0%
H5	4465	0	0%
H6	8171	3706	45%
H8	11988	3706	31%
T1	4050	2690	66%
T3	4149	2083	50%
T4	5100	1250	25%
T5	5100	1566	31%
L2	2499	2499	100%
L3	2500	2500	100%
L5	2500	2500	100%

Según lo visto en las tablas anteriores:

- La producción de tapas para cerveza en un turno de trabajo será de 145250 000 tapas, mientras que 74990000 serán tapas producidas para gaseosa.
- Tras ejecutar el primer flujo, las máquinas que se saturan con la producción de tapas corona para cerveza son las máquinas: T2B, T6A, T6B, L4 Y L6. Esto quiere decir que esa maquinaria no será usada en la producción de tapas para gaseosa.
- El proceso crítico de la producción de tapas de cerveza es la última etapa, en el cual a las tapas se les coloca el liner, se observa que las capacidades de las máquinas L4 y L6 son menores en relación a capacidades de máquina en otros procesos, por lo cual esto produce una saturación de este nodo.
- En el proceso de producción de tapas de cerveza, los menores porcentajes de utilización se presentan en la segunda etapa del proceso, horneado, la razón de esto es que las capacidades de estas máquinas son altas por lo tanto el material al pasar por esta etapa fluye y la restricción de uso del total de la capacidad es la capacidad de las máquinas de la siguiente etapa de producción.
- La disposición actual de la planta no es la adecuada. El flujo óptimo del proceso productivo debe ir acompañado de una correcta disposición de planta con la finalidad de evitar mayores demoras o pérdidas de tiempo en el traslado de productos terminados o en proceso. Observamos cruces en el diagrama de flujo actual del proceso lo cual afecta a la productividad del mismo.
- Las máquinas que poseen mayor eficiencia son las siguientes: T2A, T2B, T6A, T6B, L2, L3, L4, L5 y L6. Todas ellas trabajan al 100% de su capacidad lo cual es beneficioso para la empresa pues no se incurren en tiempos muertos (improductivos); a su vez representan un peligro pues son máquinas críticas dentro del proceso productivo y si dejan de operar representarían grandes pérdidas.
- Las máquinas con menor eficiencia son las C2 y H6. La máquina C2 es parte de la primera etapa de procesamiento de tapas lo cual le representa a la empresa grandes pérdidas actuales por este bajo aprovechamiento de su capacidad.
- Hay máquinas que, como observamos, poseen porcentaje de utilización cero. Eso quiere decir que no son utilizadas en el proceso de producción de tapas corona para gaseosa. Estas máquinas no son utilizadas en el árbol 2 ya que el proceso que continúa a ellas es cuello de botella e impide que el flujo del proceso continúe con normalidad.

#### 4. CONCLUSIONES

- Las máquinas que se saturan rápidamente son las de la última etapa generando así capacidad ociosa en las máquinas de la etapa anterior, por lo tanto para que fluya la producción se debería aumentar la capacidad de producción en la última etapa mediante la implementación de maquinaria nueva.
- La máquina H3 y H5 solo son usadas en el proceso de producción de las tapas para botellas de cerveza, su % de utilización general es prácticamente el 50% de su capacidad total, por lo tanto es suficiente con que solo una de estas dos máquinas opere. De esta forma se podrán reducir costos de mantenimiento y servicios eléctricos.
- Los cuellos de botella son las máquinas de los procesos de troquelado y ensamble. Para solucionar este inconveniente sería ideal disponer de más máquinas que realicen estos procesos con la finalidad de tener un mayor flujo de láminas que da como producto terminado las tapas tipo corona tanto de cerveza como de gaseosa.

- Se debe tomar en cuenta que la capacidad de producción de cada una de las máquinas se ve afectada por las horas de mantenimiento que necesita cada una de ellas, generalmente debido a su longevidad. Por tanto, este factor es primordial al momento de realizar el análisis de capacidades por máquina.
- Es importante tomar en cuenta estos cálculos y resultados de la aplicación del algoritmo de la trayectoria en aumento para la optimización del proceso, ya que al decidir en base a la capacidades de producción halladas adecuadamente se obtendrá mayor cantidad de ambos tipos de tapas evitando así multas por incumpliendo de pedidos y generando mayores ganancias.

## **REFERENCIAS**

Winston, Wayne L. (2005). "Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos" 4 a ed. Capítulo 8.

Modelos de Red

Hiillier, Frederick. (2010) "Introducción a la investigación de operaciones" 9 a ed. Teoría de redes

Shiguihara-Juárez, Pedro, y Valverde-Rebaza, Jorge. (2008). *Aplicación para el Análisis de Tráfico usando Modelos de Optimización de Redes*. Proceedings de IV Congreso Internacional de Matemática Aplicada y Computacional (CIMAC-2008), Perú.

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors; Wilmer Atoche, Gabriela Canal, Jonatán Rojas, Magendie Soto, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*