
Calculation of productive capacity: From theory to practice

Carlos Chavarría Hidalgo

carlos.chavarria@uh.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-6311-0678>

Universidad Hispanoamericana de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Industrial

Costa Rica

ABSTRACT

This article suggests and conceptualizes a methodology for calculating capacity in production processes, applicable to both the manufacturing industry and service companies. Its relevance lies in the fact that a correct dimensioning of the productive capacities of a company is a fundamental aspect, not only for its operations department, but also for the rest of the functional areas of the organization. The study begins with a reflection of the main concepts associated with measuring the capacity of production processes; where the main activities of the methodology stand out: description of the process, time study, capacity calculation and planning; in addition to the concepts of bottleneck and profitability. And it ends with the application of the step-by-step methodology on a case raised about a venture about the sale of fresh sugar cane juice on weekends at a farmer market. In short, it is important to mention that the article also aims to serve as a tool to contribute to the development of the Know-How competencies of future industrial engineers given its importance recognized by the employers sector (Ramírez-Mora, 2023). And, that it serves as an instrument to facilitate the study of students during their hours of independent work in their study plans. (Ramírez-Mora, 2023).

Keywords: calculation of productive capacity and capacity planning, bottleneck, profitability, competencies

The authors declare no conflict of interest.

The Editor and the Reviewers declared no conflict of interest.

License: 

Cálculo de capacidad productiva: De la teoría a la práctica

RESUMEN

El presente artículo sugiere y conceptualiza una metodología de cálculo de la capacidad en los procesos productivos, aplicable tanto para la industria manufacturera como a las empresas de servicios. Su relevancia radica en que un correcto dimensionamiento de las capacidades productivas de una empresa es un aspecto fundamental, no solo para su departamento de operaciones, sino también para el resto de las áreas funcionales de la organización. El estudio inicia con una reflexión de los principales conceptos asociados a la medición de la capacidad de los procesos productivos; donde destacan las principales actividades de la metodología: descripción del proceso, estudio de tiempos, cálculo de la capacidad y la planeación; además de los conceptos de cuello de botella y rentabilidad. Y finaliza con la aplicación de la metodología paso por paso sobre un caso planteado acerca de un emprendimiento sobre la venta del jugo de caña fresco los fines de semana en un campo ferial. En definitiva, es importante mencionar que el artículo tiene también como objetivo el de servir como una herramienta para contribuir en el desarrollo de las competencias del Saber Hacer de los futuros ingenieros industriales dada su importancia reconocida por el sector empleador (Mora et al., 2023). Y, que sirva como instrumento para facilitar el estudio de los estudiantes en sus horas de trabajo independiente en sus planes de estudio. (Ramírez-Mora, 2023).

Palabras claves: cálculo de capacidad productiva y planeación de la capacidad, cuello de botella, rentabilidad, competencias

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.
El Editor y los Revisores declararon no tener conflicto de intereses.

Licencia: 



INTRODUCCIÓN

En la industria el estudio de la capacidad es considerada como una variable crítica dentro de su sistema de producción, puesto que una inadecuada previsión de esta puede ocasionar excesos o subutilización de los recursos, lo que incrementa costos de almacenamiento, oportunidad, distribución y gastos de administración. Estos elementos dificultarán el cumplimiento de los objetivos de las organizaciones (Orejuela, Salcedo y Giraldo, 2016)

Asimismo, conocer la capacidad del sistema de producción permite y facilita la toma de decisiones en el corto y largo plazo. Cuando una organización conoce cuáles son las variables de dicho sistema, puede decidir con contundencia si realiza o no inversiones, las cuales permiten mejoras en sus medidas de desempeño (Orejuela, Salcedo y Giraldo, 2016).

Por lo tanto, la capacidad productiva determina gran parte de los costos fijos; así como si las instalaciones y equipos estarán inactivos o tendrán adecuadas utilizaciones. Si lo instalado supera la demanda, la infraestructura inactiva añade costes a la producción existente. Por el contrario, si la demanda supera lo instalado, quizás se pierdan pedidos o clientes. Lograr una escala productiva de tamaño adecuado garantizará una utilización de los recursos que optimizará el rendimiento de la inversión.

METODOLOGÍA

La capacidad de un proceso mide cuántos ítems (productos, clientes, servicios) puede procesar un sistema por unidad de tiempo; es decir, cuánto dinero va a generar el sistema de operaciones (Lago, Moscoso y Sachon, 2010). Además, este término se refiere a la producción o número de unidades que pueden gestionarse, recibirse, almacenarse o producirse en una instalación, en un determinado de tiempo.

Otra manera de introducir el concepto es definiendo la capacidad como la cantidad de producción que un sistema puede conseguir durante un período específico, en donde los

administradores de operaciones deben tomar en cuenta las entradas de recursos y las salidas de productos. La gestión de las capacidades de los procesos tiene como fin determinar y aplicar las acciones que garanticen poner la magnitud y utilización de estas al nivel que requiere la demanda de los clientes con la máxima eficiencia posible (Chariguamán y Real, 2022). A continuación, en la **Figura 1** se detallan las etapas que conllevan el cálculo de capacidad y planeación de incrementos de capacidad.

Figura 1 Etapas para el cálculo de la capacidad



Con respecto a la **descripción del proceso**, las actividades asociadas a un proceso con frecuencia se afectan mutuamente, por lo cual es importante considerar el desempeño simultáneo de una serie de actividades que operan todas al mismo tiempo. Una forma aconsejable de comenzar a analizar un proceso es creando un diagrama que muestre los elementos básicos del mismo, por lo general, las tareas, los flujos y las zonas de almacenamiento (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009).

Las tareas o actividades se representan tradicionalmente en forma de rectángulos, los flujos como flechas y el almacenamiento como triángulos invertidos. Los puntos de decisión se representan como un diamante con diferentes flujos que salen de las puntas del diamante. Es recomendable tener en cuenta algunas clasificaciones de los procesos, las cuales tienen particularidades y detalles que se deben considerar al calcular la capacidad productiva. A continuación, se presentan algunas clasificaciones de procesos:

- Proceso de una etapa.
- Proceso de varias etapas.
- Proceso que opera en paralelo.
- Proceso según el tipo: proyecto, lote, línea de ensamblaje y masivo.

Para calcular la capacidad se requiere de una descripción detallada del proceso en cuestión.

Por lo general, se recomienda detallar todas las actividades por separado, sin fusionarlas.

Asimismo, para la descripción del proceso, se debe detallar en cada actividad lo siguiente:

- Si la actividad es manual, automatizada, o ambas.
- El tipo de máquina utilizada (manual, semiautomática o automática).
- Accesorios o equipos periféricos utilizados.

En lo respectivo al **estudio de tiempos**, el insumo principal de un estudio de capacidad productiva es contar con los tiempos promedios de las actividades productivas involucradas.

Según, Niebel y Freivalds, 2009, se deben seguir los siguientes pasos: seleccionar al operario, analizar el trabajo y desglosarlo en sus elementos, registrar los valores elementales de los tiempos transcurridos, calificar el desempeño del operario, asignar los suplementos u holguras adecuadas y llevar a cabo el estudio. En seguida, se muestra una descripción de los pasos mencionados anteriormente.

En primer lugar, para seleccionar el operario que se quiere estudiar y se debe contar con la ayuda del supervisor. En general, un operario seccionado debe: (Niebel y Freivalds, 2009):

- Tener un desempeño promedio o ligeramente por arriba del promedio, lo cual proporcionará un estudio más satisfactorio que uno menos calificado o que uno con habilidades superiores. El trabajador promedio suele desempeñar su trabajo en forma consistente y sistemático.

- Estar completamente capacitado en el método; le debe gustar el trabajo y debe demostrar interés en hacerlo bien.
- Estar familiarizado con los procedimientos y prácticas del estudio de tiempos y tener confianza tanto en los métodos del estudio de tiempos como del analista del estudio de tiempos.
- Ser suficientemente cooperativo como para estar dispuesto a seguir las sugerencias hechas tanto por el supervisor como por el analista del estudio de tiempos.

En segundo lugar, el analista debe registrar las máquinas, herramientas manuales, soportes, condiciones de trabajo, materiales, operaciones, nombre y número del operario, departamento, fecha del estudio y nombre del observador. El espacio para esos detalles se proporcionará bajo el título de Observaciones en la forma del estudio de tiempos (Niebel y Freivalds, 2009). En tercer lugar, la operación debe dividirse en grupos de movimientos conocidos como elementos. Es recomendable:

- Mantener separado los elementos manuales y los de máquinas
- Separar los elementos constantes (aquellos elementos para los que el tiempo no se desvía dentro de un intervalo especificado de trabajo) de los elementos variables (los elementos para los que el tiempo varía dentro de un intervalo de trabajo especificado) (Niebel y Freivalds, 2009).

Para finalizar, se debe establecer el tamaño de muestra de la cantidad de ciclos que se van a estudiar. Se necesita suponer que las observaciones del estudio se explican con una distribución t al ser muestras pequeñas, asumiendo que tanto la media y varianza poblacional son desconocidas. Asimismo, se crea un plan piloto tomando algunas mediciones de tiempo, para tal efecto se establece un tamaño de muestra a convenir por el analista. De este plan piloto se determina una media muestral \bar{x} y la desviación estándar muestral s . El margen de

error deseado se define mediante la fórmula que a continuación se detalla, antes se debe determinar un valor asociado a un nivel de confianza definido (Sharpe, De Veaux y Velleman, 2015).

$$Me = \underline{x} + t * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

Me= margen de error definido por el analista

\underline{x} = media de muestra

t = valor t asociado al nivel de confianza definido para la toma de tiempos

s = desviación estándar muestral

n = tamaño de muestra según plan piloto

Despejando el tamaño de la muestra (n) de la fórmula anterior se obtiene:

$$n = \left(\frac{t * s}{Me * \underline{x}} \right)^2$$

Para ilustrar las fórmulas anteriores se puede considerar un plan piloto para la toma de tiempos de una actividad productiva, se define un tamaño de muestra preliminar de n=20 tomas, obteniendo una media muestral (\underline{x}) de 10,5 min/ciclo con una desviación estándar (s) de 0,95 min/ciclo. Si se asume un margen de error (Me) de 0,01 y un nivel de confianza del 90%, con este nivel de confianza se obtiene un valor t igual a 1,725.

$$n = \left(\frac{1,725 * 0,95}{0,01 * 10,5} \right)^2 = 244$$

En este ejemplo, se requiere tomar 244 tiempos de la actividad en estudio. El estudio tendría un margen de error de 0,01 con un nivel de confianza de 90%. A mayor es el nivel de significancia, asimismo, el valor t será mayor y por lo tanto también será el tamaño de la muestra calculado. A mayor la desviación estándar de la muestra mayor será el tamaño de

la muestra calculada. A mayor el margen de error definido por el analista y mayor la media muestral menor será el tamaño de muestra calculado.

Por otro lado, se debe definir con claridad el sujeto del estudio de tiempos. Este podría ser, por ejemplo: unidades individuales, una docena de unidades, una caja con 24 unidades o bien una tarima con 500 unidades embaladas. Además de definir la unidad de estudio, se debe ser consistente con la medición de tiempos en cada etapa productiva. La medición de tiempos entre todas las actividades debe unificarse en un único sujeto de estudio. Más adelante, en el caso del emprendedor de producción y venta de jugo de caña, se definió el sujeto de estudio como un litro de jugo de caña de azúcar y, para las etapas productivas iniciales, se estableció el sujeto de estudio equivalente en materia prima como un metro de caña de azúcar.

Del estudio de tiempo se podrán obtener dos tiempos fundamentales para el cálculo de capacidad: **el tiempo de ciclo y el tiempo de procesamiento**. El tiempo de ciclo de un proceso es el tiempo promedio entre la finalización de unidades sucesivas. El tiempo de ciclo responde a la pregunta de qué tan frecuentemente una unidad completa el proceso. El tiempo de ciclo puede definirse en actividades productivas individuales o en una porción del proceso (Gray y Leonard, 2016). Un concepto muy importante para el cálculo de capacidad es el cuello de botella, que se define como la actividad productiva con el mayor tiempo de ciclo o la menor capacidad individual (Lago, Moscoso y Sachon, 2010). El tiempo de procesamiento se refiere al tiempo que tarda una unidad en completar todo el proceso. Es el tiempo desde el inicio hasta el final del proceso, el tiempo punta a punta del proceso. El tiempo de procesamiento, la mayoría de las veces es la suma de los tiempos de ciclo de todas las actividades involucradas.

Para el **cálculo de capacidad productiva** a veces es complejo debido a que la capacidad se puede expresar en términos de productos ("outputs") o en términos de entradas ("inputs"). El

cálculo de capacidad tendrá sus particularidades según la clasificación del proceso que se está analizando. Por ejemplo, el cálculo de capacidad será más sencillo en un proceso de producción masiva (producción de cemento) y bastante más complejo en un proceso tipo proyecto (restauración de un automóvil antiguo). La base para el cálculo de una tasa de capacidad es el tiempo de ciclo. La fórmula fundamental de capacidad es:

$$Capacida\ productiva = \left(\frac{1}{Tiempo\ de\ ciclo} \right)$$

La capacidad productiva de una actividad es el inverso de su tiempo de ciclo. La unidad de medida de la capacidad productiva es la unidad de producto o del servicio prestado /unidad de tiempo. Esta medida del tiempo de ciclo es el resultado de la unidad de tiempo entre la del producto o del servicio prestado. Es importante hacer notar la relación que existe entre la capacidad productiva y el tiempo de ciclo (**Figura 2**). Una función recíproca explica el comportamiento de la capacidad productiva respecto al tiempo de ciclo.

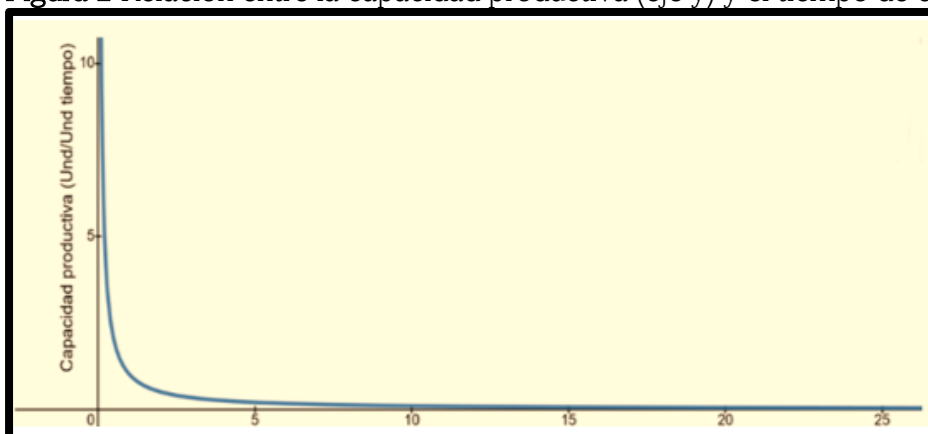
$$f(x) = (x)^{-1}$$

Donde:

$f(x)$ =y es la variable dependiente, capacidad productiva

x =es la variable independiente, tiempo de ciclo. El dominio se define para valores mayores a cero $x > 0$ y el condominio R^+ .

Figura 2 Relación entre la capacidad productiva (eje y) y el tiempo de ciclo (eje x)



La variable independiente o el tiempo de ciclo está influenciada por la productividad de los recursos, el nivel tecnológico, los métodos de trabajo, condiciones laborales, configuración productiva; entre otros aspectos. Y la variable dependiente está definida de manera inversa por el tiempo de ciclo. Las características de la curva que relacionan el tiempo de ciclo y la capacidad de producción son:

- Es decreciente
- Cuenta con asíntotas horizontal y vertical en los ejes y
- Es cóncava hacia arriba.

Las características antes mencionadas tienen una implicación importante en el campo de la gestión de operaciones. Es importante resaltar el hecho de que, si se logra disminuir el tiempo de ciclo de una actividad, habrá un aumento proporcional en la capacidad productiva. Es decir, si se logra disminuir, por ejemplo, un 10% el tiempo de ciclo de una actividad, la capacidad productiva de dicha actividad aumentará en más de un 10%; específicamente aumentará en 11,11%; además, las disminuciones en los tiempos de ciclos provocan aumentos amplificados en la capacidad productiva. Una manera correcta de abordar el cálculo de capacidad productiva es mediante la **planeación**, específicamente de dos maneras genéricas en el cálculo de la capacidad con base en:

- El tiempo de Procesamiento
- El mayor tiempo de ciclo (Cuello de Botella).

Para realizar los cálculos de capacidad, el presente artículo se basa en un emprendimiento hipotético de producción y venta de jugo de caña en un campo ferial, el cual será detallado más adelante. Los supuestos de este emprendimiento se cambiarán con el fin de explicar diferentes variantes de cálculos de capacidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El emprendimiento de la producción y venta de jugo de caña de azúcar tiene un proceso lineal, secuencial y manual. En este tipo de configuración productiva el tiempo de procesamiento es la base para el cálculo de capacidad. A continuación, se presenta la **Figura 3** y **Tabla 1** con el resumen del proceso para la fabricación del jugo de caña de azúcar.

Figura 3 Resumen del proceso para la fabricación y venta del jugo de caña



Tabla 1 Enunciado del Caso: Proceso de fabricación y venta del jugo de caña
Enunciado del Caso: PROCESO Y VENTA DEL JUGO DE CAÑA

Supongamos que un emprendimiento consiste en producir y vender jugo de caña fresco los fines de semana en un campo ferial. El sabor del jugo recién exprimido es un rasgo que caracteriza a este negocio. Las actividades productivas de este emprendimiento son:

Etapas#1: Limpiar cada caña de azúcar (0,65 min/1 metro caña).

Etapa#2: Se parte la caña de azúcar en trozos de 1 metro (aproximadamente). Un metro de caña produce un litro de jugo (0,25 min / 1 metro de caña).

Etapa#3: Extraer el jugo por medio de una máquina. Esta máquina es eléctrica y se alimenta manualmente (0,72 minuto/litro de jugo). Además, por cada hora de funcionamiento. a la máquina hay que limpiarla y aceitarla. La duración de este tiempo de alistamiento (set-up) es de 6 minutos por cada hora de funcionamiento.

Etapa#4: El jugo es colado para eliminar cualquier impureza (0,25 minuto/litro de jugo).

Etapa#5: Se cobra al cliente (0,75 minuto/litro de jugo) y se sirve el litro el jugo terminado en un envase plástico (0,25 minuto/litro de jugo).

Las características de este sistema productivo son un proceso en varias etapas, lineal y secuencial. Con el fin de garantizar la frescura del producto, se presupone que no hay inventarios de caña precortada. En este sentido, cada vez que se desea servir un litro de jugo, se llevarán a cabo las cinco etapas. Si existen inventarios suficientes para abastecer un día de ventas en el campo ferial, que incluyen caña de azúcar y envases plásticos de un litro.

El **sujeto de estudio** es un litro de jugo de caña de azúcar, en promedio cada cliente llevará un litro de jugo de caña.

Los **recursos involucrados**:

- Un operario (dueño-emprendedor)
- Limpiones y agua potable para limpiar la caña de azúcar
- Machete para cortar los trozos.
- Una máquina extractora del jugo de caña. Es eléctrica y de alimentación manual.
- Envases plásticos de un litro limpios.

Se realizó un **estudio de tiempos** tomando en consideración:

- Se tomaron tiempos en condiciones normales,
 - El encargado de tomar los tiempos guardó la distancia suficiente para que el emprendedor no alterará su ritmo normal de trabajo,
 - Se determinó una muestra de manera estadística. En la descripción de cada etapa productiva se detallan los tiempos promedios obtenidos del estudio de tiempos.
-

Cálculo de la capacidad del escenario inicial. Según se definió, el tiempo de procesamiento consiste en la sumatoria de los tiempos de ciclo de todas las actividades implicadas. En este caso, el tiempo de procesamiento totalizando el tiempo de las cinco actividades es de 2,949 minutos/litro de jugo; es decir, son los minutos en que se tarda en preparar un litro de jugo, sin considerar el tiempo de espera (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 2 Resumen del cálculo de la capacidad

Recurso	Tiempos de ciclo (min / litro)						Capacid	Capacid	Tasa de
	TC	TC#	TC#	TC#	TC#	Tota	ad	ad	utilizació
	1	2	3	4	5	1 TC	litro/ hora	litro / día	n
Emprended	0,6	0,25	0,799	0,25	1,00	2,94	20,35	162,80	100%
or	5		9			9			

Antes de calcular la capacidad es importante destacar:

- El sujeto de estudio es un litro de jugo o su equivalente. Para las dos primeras etapas el sujeto de estudio es un metro de caña de azúcar. Se parte que un metro de materia prima, equivale a un litro del producto terminado.
- Para el caso de la actividad # 3, su tiempo de ciclo está compuesto por: un tiempo de ejecución (run time) y un tiempo de alistamiento (“Set-up time”). El tiempo de ciclo de

la actividad # 3 es la suma del tiempo de ejecución de la extracción del jugo más el proporcional del set-up. Este tiempo de set-up prorrateado para una hora y expresado en minutos por litro de jugo, es de aproximadamente 0,079 minutos/litro de jugo, por lo tanto, el tiempo de ciclo de la actividad # 3 es de $0,72 + 0,079 = 0,799$ minuto/litro de jugo.

- Con base en el tiempo de procesamiento, se procede a realizar el cálculo de la capacidad obteniendo que el proceso productivo tiene una capacidad de 20,35 litros de jugo/hora, equivalentemente se produce como máximo 162,8 litros de jugo/día laboral.

A continuación, el cálculo de la capacidad productiva emprendedor:

$$\text{Capacidad productiva emprendedor} = \frac{1 \text{ litro jugo}}{2,949 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$\text{Capacidad productiva emprendedor} = \frac{20,35 \text{ litro jugo}}{\text{hr}} * \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$\text{Capacidad productiva emprendedor} = \frac{162,8 \text{ litro jugo}}{\text{día}}$$

Algunas observaciones sobre este cálculo de capacidad:

- El tiempo de procesamiento es relevante para calcular la capacidad. Siendo el recurso humano, el emprendedor, el que limita la producción; es decir el determinante de la capacidad.
- Es fundamental comprender que la actividad # 5 a pesar de ser la que requiere de más tiempo, 1 minuto/litro de jugo, no limita la producción; no es la actividad cuello de botella.
- La capacidad productiva aumentaría ante disminuciones en el tiempo de procesamiento. Disminuciones en el tiempo de ciclo de cualquiera de las cinco actividades provocará que disminuya el tiempo de procesamiento, por ende, aumentaría

la capacidad productiva. Nótese que aun disminuyendo los tiempos de ciclos de las actividades que menos tardan, aun así, aumentaría la capacidad productiva.

Una medida de la capacidad es la tasa de utilización de los recursos. La tasa de uso se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de utilización } i = \frac{\text{Capacidad del sistema}}{\text{Capacidad máxima productiva } i}$$

Donde i es cada actividad productiva involucrada en el proceso. Cuando el tiempo de procesamiento es quien define la capacidad productiva, y un único recurso es quien define la capacidad del sistema tendrá una tasa de utilización por definición del 100%.

Cálculo de capacidad escenario con un ayudante. En este momento se evaluará el escenario de un incremento en las ventas de jugo de caña, notándose que hay momentos del día donde el arribo de clientes es más alto, enfrentándose a picos en la demanda. Por lo tanto, el emprendedor decidió contratar un ayudante, y distribuir las cargas de trabajo de la siguiente manera (Tabla 3):

El emprendedor ejecutará las actividades: Etapa#2, Etapa#3, Etapa#4 y de la Etapa#5 solo vierte el jugo de caña en el litro. Totalizando un tiempo de ciclo del emprendedor de 1,549 min/litro, con una capacidad de 309,84 litro de jugo / día.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad productiva emprendedor} &= \frac{1 \text{ litro jugo}}{1,549 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \\ \text{Capacidad productiva emprendedor} &= \frac{38,73 \text{ litro jugo}}{\text{hr}} * \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \\ \text{Capacidad productiva emprendedor} &= \frac{309,84 \text{ litro jugo}}{\text{día}} \end{aligned}$$

El ayudante ejecutará las actividades: Etapa#1 y de la Etapa#5 solo cobro a clientes. Totalizando un tiempo de ciclo del ayudante de 1,4 min/litro, con una capacidad de 342,88 litros de jugo / día.

$$\text{Capacidad productiva ayudante} = \frac{1 \text{ litro jugo}}{1,400 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$\text{Capacidad productiva ayudante} = \frac{42,86 \text{ litro jugo}}{\text{hr}} * \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$\text{Capacidad productiva ayudante} = \frac{342,88 \text{ litro jugo}}{\text{día}}$$

Tabla 3 Resumen del cálculo de la capacidad con el ayudante

Recurso	Tiempos de ciclo (min / litro)						Capacidad	Capacidad	Tasa de utilización
	TC 1	TC# 2	TC# 3	TC# 4	TC# 5	Total TC	litro/hora	litro / día	n
Emprendedor		0,25	0,799	0,25	0,25	1,54	38,73	309,84	100%
			9			9			
Ayudante	0,6				0,75	1,40	42,86	342,88	90,36%
	5					0			
						2,94	Cuello de botella	309,84	95,18%
						9			

Algunas observaciones sobre este cálculo de capacidad:

- Bajo la configuración productiva con dos operarios, el recurso con el mayor de tiempo de ciclo es el determinante de la capacidad del sistema. El recurso con el mayor tiempo de ciclo, el recurso “emprendedor”, se denomina cuello de botella. La capacidad del sistema es 309,84 litro/día y es determinado por el recurso cuello de botella, el emprendedor.
- El cuello de botella es definido por el recurso humano, y no por las etapas o actividades productivas. Lo anterior es debido a que el tiempo de ciclo de los recursos es la sumatoria de los correspondientes del ciclo de las etapas.
- De la situación con dos recursos humanos, la capacidad productiva solo podría aumentar si disminuye el tiempo de ciclo del recurso emprendedor. Solo si disminuyen los tiempos de las: Etapa#2, Etapa#3, Etapa#4 y de la Etapa#5 solo el vertido de jugo

de caña en el litro aumentaría la capacidad del recurso emprendedor y con ello aumentaría la capacidad del sistema.

- Disminuciones en los tiempos de ciclos de las actividades asignadas al ayudante no mejorarían la capacidad del sistema, dado que el recurso ayudante no es el cuello de botella.
- La tasa de utilización del recurso cuello de botella siempre es del 100%, por definición. La tasa de utilización del recurso ayudante es igual a la capacidad del sistema (cuello de botella) dividida entre la capacidad máxima del recurso ayudante.

$$Tasa\ de\ utilización\ ayudante = \frac{309,84}{342,88} * 100 = 90,36\%$$

- La eficiencia operativa del sistema es el promedio simple de las tasas de utilización de los recursos involucrados, en este caso la eficiencia operativa es de 95,18%. Entre más alto sea la eficiencia operativa de un sistema:
 - más balanceado se encuentra en el sistema de productivo.
 - mejor están siendo utilizados los recursos de la empresa, y las inversiones utilizadas en el proceso son rentables.
- A pesar de que se duplicó la cantidad de recursos humanos, la capacidad del sistema no se duplicó, solo aumentó un 90,32%. Si el tiempo de procesamiento se hubiera podido asignar en partes iguales entre ambos recursos, la capacidad del sistema aumentaría al doble y la eficiencia operativa hubiera sido 100%.
- El aumento de la capacidad es pues un proceso continuo, basado en ir “eliminando” gradualmente cuellos de botella (Lago, Moscoso y Sachon, 2010). La siguiente sección presenta estrategias de planeación de aumentos de la capacidad, condicionado a lo transitorio o permanente del aumento en la demanda.

Planeación de incrementos de capacidad. El tamaño futuro de la capacidad instalada de una organización una empresa, depende en buena medida de las expectativas de crecimiento del nicho de mercado que se está sirviendo (**Tabla 4**).

Tabla 4 Planeación de la capacidad: según escenarios de la demanda futura

Largo plazo (más de 1 año)		
Mediano Plazo (3 meses a 1 año)		
Transitorio (3 meses)		
	Modificación de la capacidad	Uso intensivo capacidad actual

Según Jacobs, Robert y Chase, Richard, la planificación de la capacidad puede analizarse en tres horizontes temporales. Dependiendo de lo transitorio o permanente que sea el aumento de la demanda por los productos o servicios prestados, así será la planificación del nuevo tamaño de escala requerido.

Aumento de la demanda con carácter transitorio. Si se espera un aumento transitorio en las ventas, como podría ser el caso de una mayor demanda estacional que se prolongue por un máximo de tres meses, se debe utilizar de manera más intensiva la escala productiva actual.

El uso más intensivo de la capacidad sugiere:

- Aumentar la contratación de horas extras.
- Contratar personal por tiempo definido.
- Minimizar los tiempos de alistamiento de las máquinas (set-up) mediante una mejor planificación de las corridas de producción.
- Aumentar el tamaño del lote de producción.

- Lograr un mayor balance de la línea mediante una asignación más eficiente de tareas.

Aumento de la demanda a mediano plazo: Cuando la demanda aumenta de manera más sostenida, con incrementos que abarcan hasta un año, los ajustes de capacidad deben combinarse: i) utilizar más intensivamente la escala productiva actual y ii) realizar cambios más permanentes en la escala productiva. Se sugiere para aumentar la capacidad:

- Contratar personal de manera más permanente.
- Minimizar los tiempos de alistamiento de las máquinas (set-up) mediante una mejor planificación de las corridas de producción.
- Aumentar el tamaño del lote de producción.
- Alquilar maquinaria y equipos útiles en el proceso.
- Subcontratar algunos servicios (maquila).
- Aumentar los niveles de inventario.

Aumento de la demanda con permanencia en el largo plazo: Una vez consolidado el aumento de la demanda y volviéndose de carácter permanente (más de un año), se debe modificar la capacidad productiva de una manera más estructural. Se sugiere para realizar esta modificación de capacidad:

- Contratar personal de manera permanente, tanto personal de producción como administrativo.
- Considerar la introducción de turnos adicionales de trabajo.
- Minimizar los tiempos de alistamiento de las máquinas (set-up) mediante una mejor planificación de las corridas de producción.
- Aumentar el tamaño del lote de producción.
- Realizar inversiones en maquinaria y equipos útiles en el proceso.
- Realizar ampliaciones y remodelaciones de la planta física.

- Aumentar los niveles de inventarios y el flujo de efectivo.
- Considerar la eliminación de productos de producción que no estén generando la rentabilidad esperada.

CONCLUSIONES

Medir el desempeño de un proceso debe ser uno de los principales objetivos de la gerencia de operaciones. Medir la capacidad productiva, aunque vital, no siempre es tarea fácil debido principalmente a la falta de una fórmula o algoritmo general de cálculo.

Si hay varias actividades susceptibles de ser cuellos de botella, modificaciones en factores internos o externos al proceso pueden hacer que la capacidad se modifique con el tiempo.

Para optimizar la rentabilidad de las operaciones de una empresa, es fundamental monitorear las tasas de utilización de los recursos involucrados. Los recursos más costosos deben necesariamente operar a altas tasas de utilización.

Es importante que el cuello de botella del proceso trabaje a pleno rendimiento. La máxima indica que una hora perdida en el cuello de botella es una hora perdida para todo el sistema.

Es fundamental "cuidar" al cuello de botella, asegurando en todo momento ciertos buffers de capacidad en las actividades que alimentan el cuello de botella (Lago, Moscoso y Sachon, 2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chariguamán, R y Real, G. Evaluación de la capacidad productiva de una empresa de calzado en Ambato, Ecuador. Ingeniería Industrial Vol. XLIII/No.2. Abril-junio 2022.

Chase, R, Jacobs, F y Aquilano, N. Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros. McGrawHill Educación. Duodécima edición. 2009.

Gray, A y Leonard, J. Process Fundamentals. Harvard Business School HBS No. 675-038. Rev. July, 2016.



- Jacobs, R y Chase, R. Producción y cadena de suministros. McGrawHill (Decimosexta edición). 2022.
- Jaggia,S, Lertwachara, K, Kelly, A y Chen, L. Analítica de Negocios con comunicación con números. McGrawHill (Segunda Edición). 2023.
- Lago, A, Moscoso, P y Sachon, M. Gestión de la capacidad en sistemas de operaciones. Centro Internacional de investigaciones logística. IESE. Enero 2010.
- Mora, H. J. R., Rojas, R. A., & Navarro, E. B. (2023). Diagnóstico de Competencias Requeridas para el Ingeniero Industrial, de Acuerdo con las Expectativas de los Empleadores y del Entorno en el 2021-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), Article 6. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8883
- Niebel, B y Freivalds,A. Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño de trabajo. McGrawHill Educación. Duodécima edición. 2009.
- Orejuela, J.P, Salcedo, M.A.; Giraldo, L.E. Estimación de la capacidad en restaurantes de fabricación masiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19. Enero-junio 2016.
- Ramírez-Mora, H. J. (2023). Brecha existente entre la malla curricular de la carrera Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana respecto dos universidades del TOP5 Latinoamericano que referencian al Washington Accord. *Revista Tecnología en Marcha*, Pág. 34-42. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i8.6925>
- Sharpe, N, De Veaux, R y Velleman, P. Business Statistics. Pearson. 3rd Edition. 2015.

La Revista utiliza códigos para identificar al Revisor y al equipo de PARES REVISORES. Si tiene dudas o consultas, contacte a: contacto@cienciayreflexion.org
Código de Editor: 847
Código de Revisores: 20

