

**Determinación de los costos comprimidos en la
producción y envasado de agua: caso empresa agua
Purissima**

**Determination of compressed costs in the
production and packaging of water: Purissima
water company case**

Bryan Stalin Espinoza-Lara

Universidad Técnica de Machala - Ecuador
bsepinosa_est@utmachala.edu.ec

Jefferson David Logroño-Jimenez

Universidad Técnica de Machala - Ecuador
jlogrono2@utmachala.edu.ec

Wilton Eduardo Romero-Black

Universidad Técnica de Machala - Ecuador
weromero@utmacfhala.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2021.6.751

RESUMEN

En el mundo actual de gran competencia empresarial es de gran relevancia como empresa contar con ventajas competitivas que permitan destacar de toda la competencia existente en el mercado, una de estas ventajas puede ser un tiempo de producción óptimo; las estrategias o medios convencionales con las que una empresa puede reducir el tiempo de sus actividades o aumentar su producción por lo general pueden ocasionar un sobre costo, para lo cual es muy importante que las empresas realicen una buena gestión de sus recursos optimizando procedimientos. Es por ello que el presente estudio de caso está enfocado en disminuir los tiempos en la producción de agua purificada en la empresa Agua Purissima mediante la aplicación de costos comprimidos con la herramienta PERT/CPM en la producción de agua envasada. Para ello se identificó y se desarrolló la ruta crítica, para representar gráficamente la misma tanto para el tiempo-costo normal; como para tiempo-costo comprimido. Como resultado esto permitido disminuir el tiempo de producción un 33.08% a cambio de aumentar un 28.78% sus costos y generando así un aumento en su productividad un 42.27%.

Palabras clave: costos comprimidos; ruta crítica; cuello de botella; caso de estudio; PERT; CPM

Cómo citar este artículo:

APA:

Espinoza-Lara, B., & Logroño-Jimenez, J., & Romero-Black, W., (2021). Determinación de los costos comprimidos en la producción y envasado de agua: caso empresa agua Purissima. 593 Digital Publisher CEIT, 6(6), 251-264. <https://doi.org/10.33386/593dp.2021.6.751>

Descargar para Mendeley y Zotero

ABSTRACT

In today's world of great business competition, important for a company to have competitive advantages that allow it to stand out from the existing competition in the market. One of these advantages may be an optimal production time; the strategies or conventional methods that companies use to reduce the time of its activities or increase its production can generally cause an extra cost, therefore it is very important that companies carry out a good management of their resources by optimizing procedures. That is why this study case is focused on reducing the times in the production of purified water in the company Agua Purissima by applying compressed costs with the PERT / CPM tool in the production of bottled water. For this, the critical path was identified and developed, in order to graphically represent both, normal time-cost and compressed time-cost. As a result, this allowed to reduce the production time by 33.08% in exchange for increasing costs by 28.78% and thus generating an increase in productivity by 42.27%.

Key words: compressed costs; critical path; bottleneck; case study; PERT; CPM

Introducción

En el mundo la competencia empresarial es cada vez más grande debido a la globalización y a plataformas virtuales que facilitan la importación de productos a costos incluso más bajos que productos locales, para lo cual es de suma importancia que las empresas realicen una buena gestión de sus recursos optimizando procedimientos, para Gómez & Orobio (2015) realizar una buena gestión de estos procedimientos es importante para reducir impactos sobre el alcance, costo, tiempo y calidad. Obteniendo así un margen razonable de tiempo y costo con el cual competir ante otras empresas en el mundo actual.

Las estrategias o medios convencionales con las que una empresa puede reducir el tiempo de sus actividades o aumentar su producción por lo general pueden ocasionar un sobre costo como lo son: modificar la metodología de trabajo, aumentar el recurso humano y/o de maquinaria, aumentar las jornadas de trabajo u ofrecer bonos de productividad, etc. Por lo que para evitar este sobre costo antes de decidir realizar usar cualquiera de estas estrategias es necesario analizar las actividades realizadas para determinar cuáles de esas actividades no están siendo realizadas de manera eficiente buscando reducir los tiempos en la producción (Solís-Carcaño & González-Fajardo, 2017)

Como indica Gómez (2012), la productividad se basa en la producción eficiente de la empresa por medio de un buen uso de los recursos humanos, materiales, financieros y naturales; cuando se habla de que una empresa tenga una buena gestión administrativa hace referencia a que se debe de tener una planificación sobre todas las actividades de producción; es decir, que se debe de tomar en cuenta el tiempo que demora cada actividad productiva y que cantidad de materia prima se utiliza, con la finalidad de que no existan pérdidas para la organización.

La empresa Agua Purificada y Envasada Purissima Vital surge en noviembre del 2016 de la mano del Dr. Bioquímico Luis h. Nagua en

la ciudad de Machala, ubicándose en las calles Pedro Maridueña entre 18 y 19va Oeste. La empresa se ha mantenido en crecimiento hasta la actualidad en la que cuenta con 6 trabajadores, sin embargo, han surgido inconvenientes en la comercialización del producto al tener que competir con una marca extranjera que cuenta con mayores capacidades de inversión, publicidad y producción, lo cual ocasiona que una gran parte de los clientes tengan preferencia por aquella marca extranjera que abarca mejor la cantidad de agua demandada en la ciudad de Machala.

Tal como expresa Torres Navarro et al. (2017) el entorno competitivo en un mundo globalizado y con rápido surgimiento de tecnología empuja cada vez más a las empresas a conocer mejor los costos que intervienen en sus cadenas productivas, para así poder ajustar estos costos al resultado más óptimo posible. La empresa Agua Purificada y Envasada Purissima no cuenta con la rentabilidad deseada, además de no contar con un nivel de producción competitivo para las demás empresas en su mismo mercado, su costo de producción es de 0.55 centavos por botellón de agua, mientras que su ciclo de producción es de 4.80 minutos por botellón y el precio de venta al público es de \$ 1.50, cifras con las que la empresa no se encuentra conforme. Por ende, surge la pregunta a la presente problemática de: ¿Cómo optimizar los procesos y los costos de producción en la empresa Agua Purificada y Envasada Purissima?

Dada la problemática planteada en la presente investigación se planteó como objetivo "Disminuir los tiempos en la producción de agua purificada de la empresa "Agua Purificada Purissima" **mediante la aplicación de costos comprimidos en la producción de agua envasada**"; como también se plantea con objetivos específicos identificar la ruta crítica en el proceso de producción de agua potable en la empresa y también esquematizar la disminución del tiempo de producción y sus costos.

Tomando como referencia se analizó un estudio sobre la Determinación de la ruta crítica y la aplicación de costos comprimidos para la minimización de tiempos en Cirquimax

Electronics, por Loja Moreno (2019) quien manifiesta que la aplicación de los costos comprimidos se realizó en dos etapas, primero calculando los tiempos de ocurrencia más tempranos y luego los tiempos de culminación más tardías para identificar la ruta crítica, posteriormente se asignaron recursos y se contrastó con los costos requeridos para determinar cuánto le cuesta a la empresa comprimir el tiempo de duración del proyecto. Mientras que los resultados que obtuvo fue que la empresa muestra una demora de 38 horas en culminar la instalación de una estructura de video vigilancia a un costo de \$582.00 y se ha concluido que a través de la aplicación de los costos comprimidos se puede reducir la duración del tiempo a través de la asignación de más recursos, en el caso de la empresa se ha reducido la demora total del proyecto a 24 horas invirtiendo \$121 más en recursos.

Además de ello la investigación desarrollada por Gómez y Orobio (2015) en el caso de estudio fue la rehabilitación de un tramo de la vía Jamundí – Timba, en el Departamento del Valle del Cauca, Colombia obra que se ejecutó con un costo total de \$2.036.546 en una programación de 150 días que se extendió a 194 días. En el cual a partir de la sensibilidad del modelo de programación CPM se reflejó los efectos de la incertidumbre en las estimaciones hechas para cada actividad en el costo y la duración final del proyecto; permitiendo identificar actividades cuyas desviaciones en ejecución, respecto a lo programado, tienen mayor incidencia en el resultado final del proyecto. Al finalizar la simulación se obtuvo que aplicando CPM el proyecto se reducía a un valor total de \$1.769.571, y el tiempo del proyecto ejecutado de manera eficiente pudo haber tenido una duración de casi 161 días (muy alejado de los 150 días planeados y bastante reducido a los 194 días reales), mientras que un mal desempeño en la ejecución de esta actividad podría haber incrementado la duración hasta cerca de 261 días. Haciendo muy evidente que el buen desempeño en la ejecución de un proyecto tiene efectos importantes en los tiempos y costos de este, por lo que se decide aplicar estas

mismas herramientas para reducir los tiempos de producción en el presente caso de estudio.

Costos comprimidos

Tal como señalan Ridha y Mustika (2018) los Costos Comprimidos son un instrumento que tiene como objetivo acortar el tiempo de finalización y costo de un proyecto encontrando un cronograma óptimo, mayormente usado en obras, actividades o proyectos que presentan retrasos en su ejecución, con la finalidad de recuperar tiempo perdido con un camino óptimo en tiempo, costos directos, costos indirectos y costos totales del proyecto.

En cuanto al origen de los Costos comprimidos dos son las herramientas que permitieron su aplicación; la herramienta de CPM (Critical Path Method) de la cual Sainz, et. al. (2019) sustentan que CPM es creada en 1957 por los ingenieros R. Walter y E. Nelly de las empresas Du Pont y Remington Rand respectivamente, buscando estimar los tiempos de duración de una serie de actividades de un proyecto, para así determinar cuál de toda esa serie de actividades era la más crítica (falta de holguras) o importante en la terminación del proyecto y la herramienta PERT (Program Evaluation Research Task) originada en el mismo año de 1957 por la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada de los EEUU buscando acelerar los tiempos de fabricación de los misiles Polaris (Carrasco, 2017).

CPM

De acuerdo con Sánchez & Cuadros (2014) el CPM se la conoce como una herramienta red para la programación de proyectos se centra en las actividades necesarias y afines que permiten llevar a cabo un proyecto teniendo en cuenta el tiempo, costos y disponibilidad de recursos acorde a lo planificado y desarrollado durante la producción; esto debido a que este método utiliza una función tiempo-costos para cada actividad, pudiendo acortar el tiempo del proyecto aumentando su costo. Así mismo (Hernández et al, 2017) señalan que la relación precio-costos se expresa en cuatro cifras para

cada tarea: tiempo normal, costo normal, tiempo y costo comprimidos. Existen dos pasos sobre los cálculos de la ruta crítica: el primero trata sobre el tiempo que se llevara a cabo los eventos, mientras que el segunda hace referencia a los tiempos que demoraran en realizarse ciertos eventos tardíos.

PERT

De acuerdo con Paredes, Torres, & Gómez, (2020) el método PERT es una herramienta de programación de proyectos basada en redes que permite administrar un proyecto en su totalidad requiriendo de tres estimaciones de tiempo: tiempo optimista, tiempo más probable y tiempo pesimista con la finalidad de calcular la probabilidad de terminación del proyecto en cualquier sea la fecha estimada junto con el tiempo estándar de inicio y fin de cada actividad, permitiendo así reducir cualquier posibilidad de complicaciones, como también poder informar el cumplimiento que se va desarrollando a la administración de acuerdo a lo planificado, logrando una gran coordinación y planificación de todos los procesos operativos.

PERT / CPM

Tanto Lermen et. al. (2016) como Ramos A. y Flores B (2016) coinciden que las herramientas de PERT y CPM en si son bastante similares a pesar de ser desarrollado de manera independiente, su diferencia principal esta que la herramienta de CPM se basa en estimaciones determinísticas para la duración de las actividades, mientras que la herramienta de PERT se basa en estimaciones de probabilidad para esas duraciones de las actividades. Esta herramienta PERT / CPM se basa en un diagrama de red y una planificación de red la cual puede ayudar al gerente a monitorear y controlar proyectos.

Ruta crítica

Atin y Lubis, (2019) expresan que la ruta crítica permite conocer cuáles serán las actividades que tendrán mayor énfasis en la ejecución de un proyecto de tal manera que las mejorías que se hagan en la producción serán de manera óptima y permitirán dar un valor agregado. Para llevar a cabo el proceso de la ruta crítica se debe de tomar en cuenta los siguientes pasos según indican Pupo et al. (2018): Definir el proyecto y adecuar la estructura de desglose del trabajo. Desarrollar las relaciones entre las actividades. Decidir qué actividad debe anteceder y cuál debe seguir a otras. Dibujar la red que conecta todas las actividades. Asignar valores de lapso y costo a cada actividad. Calcular el tiempo de la ruta más larga a través de la red. Posterior a la elaboración de los pasos planteados, es necesario representar de manera gráfica la ruta y tiempos que difieren en cada proceso dentro de la producción.

Actividades antecesoras y sucesores

Robert y Chase (2014) mencionan que las actividades en Administración de Proyectos pueden definirse como las partes del trabajo para culminar un proyecto las cuales consumen tiempo. Estas actividades deben de estar definidas señalando desde el inicio hasta el fin del proyecto; además de ello se debe de definir cuáles son las actividades antecesoras y sucesoras de cada una de las actividades, siendo las primeras aquellas actividades que deben de terminarse para poder iniciar otra actividad y las sucesoras aquellas actividades que inician luego de haber terminado una actividad. En ciertas actividades de un proyecto puede existir un margen entre su inicio o su terminación siendo esto llamado holgura de tiempo de una actividad.

Tabla 1

Datos del caso de estudio

ACTIVIDAD	DETALLE	ACTIVIDAD ANTECESORA	ACTIVIDAD SUCESORA
A	Preparación y adecuación de equipos	-	B
B	Prelavado, desinfección y etiquetado de botellones	A	K
C	Desinfección del agua con químicos	A	D
D	Filtro de arena 66 LTS/MIN	C	E
E	Filtro de carbón 66 LTS/MIN	D	F
F	Filtro ablandador 66 LTS/MIN	E	G
G	Filtro Pulidor 30 LPM	F	H
H	Osmosis inversa 13250 GPD	G	I
I	Desinfección ultravioleta 200 GPM	H	J
J	Ozonización 5.000MG/H	I	M
K	Lavado de botellones	B, J	L
L	Revisión mediante vista y olfato del estado del botellón	K	M
M	Llenado de botellones 4400L	L	N
N	Tapado de botellones 4400L en 60 min	M	O
O	Colocación de bandas de seguridad termosensibles	N	P
P	Embarcación de botellones al camión	O	-

Cuellos de botella

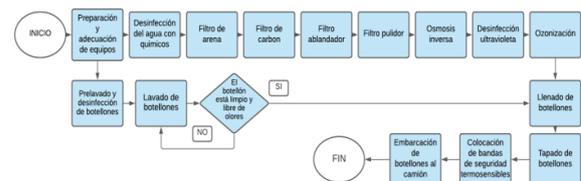
De acuerdo con Hein y Min (2018) y Araszkiwicz (2017), la presencia de un cuello de botella en una empresa hace referencia a la elaboración de producto que suele ser más tardío o que su producción es más elaborada por ende tendría como consecuencia retraso en la producción y ejecución del producto, provocando un alza de precios productivos por la disminución de producción (Avendaño Cardenas & Silva Guerra, 2018). Debido al cuello de botella algunas fases de producción hacen que se trabaje por debajo de su capacidad productiva provocando que algunos productos que ya han sido elaboración no culminen su etapa de producción.

Procesos de producción

Ruiz y Pupo (2017) expresan, que el buen manejo de los procesos de producción tiene una gran incidencia en la productividad de la empresa, como, por ejemplo: poner énfasis en plantear estrategias que influyan en el desarrollo de las actividades y siendo de mucha importancia implementar nuevas herramientas o métodos que ayuden a cumplir los objetivos que se planteó la organización. Por otra parte, Burbano et al. (2015), expresan que dentro de la empresa existen varias funciones principales que tiene que aplicar el gerente, una de las más importantes es la programación de la producción, la cual sería un pilar fundamental para alcanzar la eficiencia en los procesos de producción.

Figura 1

Diagrama de flujo de la producción de agua



Método

En la presente investigación se tuvo como punto de partida un análisis de varios artículos científicos referentes al tema, para así obtener una base de información confiable que corrobore la elección de las herramientas seleccionadas para resolver la problemática del objeto de estudio, así como que respalde su efectividad; proporcione fiabilidad y claridad al contenido empleado; en cuanto a la metodología de investigación existen varios tipos dependiendo del grado de indagación entre estos tenemos la investigación cualitativa, la investigación cuantitativa y la investigación mixta (Díaz, 2014), siendo nuestro caso una investigación con enfoque cuantitativo.

La metodología empleada fue desarrollada en base a la aplicación de los costos comprimidos e implementación de los métodos PERT y CPM, además de ello, tal como redacta Prieto (2018) en la aplicación del método inductivo-deductivo realizada, la investigación parte de la observación o experimentación de hechos particulares en la cadena de producción de la empresa para así registrarlos y analizarlos con la respectiva fundamentación teórica general. De acuerdo con (Castejón, Santos Pastor, & Cañadas, 2018) recomiendan que terminando la parte inductiva se debería de pasar a la deductiva de la metodología; iniciando desde el análisis realizado con los principios generales en la documentación teórica para así aplicarlos y llegar a una conclusión o explicación de los hechos particulares.

Díaz-Narváez y Calzadilla Núñez (2016) la investigación exploratoria y de campo es aplicada principalmente para indagar en el entorno identificado. Visitar las instalaciones de la empresa “Agua Purissima” permitió la relación directa con el objeto de estudio pudiendo así inquirir en las posibles actividades a mejorar en el proceso de producción de la empresa apoyados de la entrevista y la observación para indagar con el objeto de estudio.

De acuerdo con Granda-Ayabaca, Jaramillo-Alba, & Espinoza-Freire, (2018) la investigación descriptiva se tomó como metodología para recabar los datos cuantitativos aplicables en el caso de estudio, como indican también (Lafuente & Marín, 2008) que se necesita obtener datos a través de la observación y medición de los tiempos de cada actividad en la cadena de producción de agua purificada de la empresa para luego proceder a usar los datos recabados con la herramienta PERT/ CPM y así obtener datos cuantitativos sobre el desempeño en la ruta de producción de la empresa.

Se utilizaron como herramientas de investigación la ficha de observación, ficha de procesos, entrevista, además de la ficha de estudio de métodos y tiempos; de las cuales como indican Pulido (2015), Rekalde et. al. (2014) y Navarro (2013) las herramientas de investigación son instrumentos que facilitan al investigador observar, recabar y analizar particularidades del objeto de estudio detallando características obtenidas mediante procesos ya establecidos por cada herramienta de investigación otorgando una significativa eficiencia y eficacia a la hora de realizar una investigación.

Ficha de observación

La ficha de observación en la búsqueda o exploración visual y eficaz que necesita tener el ser humano para poder obtener resultados precisos, concisos y reales de una investigación (Campos & Lule, 2012). Este instrumento fue aplicado en la planta envasadora de agua para poder identificar el inicio y fin de cada proceso, además de sus actividades según los datos observados y recabados en la visita a la empresa junto a datos relevantes de la entrevista.

Ficha de procesos

La ficha de proceso es un instrumento utilizado e implementado para conocer el control que lleva la empresa, permitiendo estar al tanto del desempeño y desarrollo eficaz que tiene la compañía (García et al, 2017). Este mismo permitió identificar cuáles son los elementos de entrada, salida y las variables de control en cada

una de las actividades para la producción de agua potable en la empresa.

Entrevista

La entrevista como la mencionan Díaz-Bravo et al. (2013) es considerada una técnica de suma utilidad para recolectar datos en investigaciones cualitativas, siendo esta una conversación entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas a las interrogantes planteadas en el problema propuesto sobre todo en las fases de exploración, asegurando respuestas precisas y útiles para la investigación. Este método se le aplico al Dr. Luis Nagua, Gerente de la empresa, para conocer todos los procesos que están inmersos en el área productiva de la planta envasadora de agua Purissima, identificando los tiempos y los costos que se usan y analizar los cuellos de botella que están presentes.

Resultados

Para lograr medir los tiempos en cada una de las actividades de producción para obtener el producto de agua purificada en un bidón en la empresa Agua Purissima, se utilizó el estudio de métodos y tiempos, el cual permitió a través de la observación, entrevista, ficha de proceso y el diagrama O.T.I.D.A. graficar el proceso para purificar y embotellar agua potable. En base a las actividades descritas en la tabla 2 se pudo establecer que el tiempo promedio para producir 220 bidones de agua es de 1055 minutos.

Tabla 2

Ficha de estudio de métodos y tiempos en la producción de agua

Acti- vidad	Actividades	○	D	◇	→	□	▽	Tiem- po Nor- mal
A	Preparación y adecuación de equipos	•						30
B	Prelavado y desinfección de botellones	•						120
C	Desinfección del agua con químicos	•						60
D	Filtro de arena		•					67
E	Filtro de carbón		•					67
F	Filtro ablandador		•					67
G	Filtro Pulidor		•					146
H	Osmosis inversa		•					120
I	Desinfección ultravioleta		•					6
J	Ozonización		•					52
K	Lavado de botellones	•						55
L	Revisión mediante vista y olfato del estado del botellón					•		60
M	Llenado de botellones	•						55
N	Tapado de botellones	•						60
O	Colocacion de bandas de seguridad termosensibles	•						60
P	Embarcación de botellones al camión				•			30
Total								1055 m
Simbología: ○ Operación D Demora ◇ Decisión → Transporte □ Inspección ▽ Almacenamiento								

Una vez conocido el proceso y tiempo de producción de agua potable se establecen las actividades antecesoras, sucesoras, además de desglosar los costos normales para realizar cada actividad.

Tabla 3

Tiempos y costos normales

ACTIVIDAD	ACTIVIDAD ANTECESORA	ACTIVIDAD SUCESORA	TIEMPO NORMAL (minutos)	COSTO NORMAL
A	-	B	30	\$30.79
B	A	K	120	\$19.96
C	A	D	60	\$ 6.00
D	C	E	67	\$4.25
E	D	F	67	\$ 3.40
F	E	G	67	\$4.50
G	F	H	146	\$ 5.00
H	G	I	120	\$ 15.15
I	H	J	6	\$ 0.47
J	I	M	52	\$ 13.30
K	B, J	L	55	\$ 4.49
L	K	M	60	\$ 1.66
M	L	N	55	\$5.31
N	M	O	60	\$1.66
O	N	P	60	\$2.13
P	O	-	30	\$ 2.45
TOTAL			1055 minutos	\$120.52

Al tener tanto las actividades antecesoras, sucesoras, tiempo normal y costos comprimidos se procede a armar la tabla de tiempos y costos comprimidos mediante el método PERT / CPM.

Tabla 4

Tiempos y costos comprimidos

ACTIVIDAD	ACTIVIDAD ANTECESORA	ACTIVIDAD SUCESORA	TIEMPO COMPRI-MIDO (minutos)	COSTO COMPRI-MIDO
A	-	B	23	\$ 40.00
B	A	K	96	\$ 25.00
C	A	D	60	\$6.00
D	C	E	67	\$4.25
E	D	F	67	\$3.40
F	E	G	67	\$4.50
G	F	H	73	\$10.00
H	G	I	70	\$25.80
I	H	J	6	\$0.47
J	I	M	29	\$23.50
K	B, J	L	30	\$8.00
L	K	M	30	\$7.00

M	L	N	30	\$3.32
N	M	O	30	\$4.26
O	N	-	30	\$3.26
TOTAL			706 minutos	\$168.76

Para la compresión del tiempo se decide aumentar el personal en las actividades A, B, N, O y P; además de eliminar la actividad L por considerarse innecesaria en la cadena de producción, debido a que previo a la desinfección continua de los botellones (agua caliente 80°C, cloro 0,2 mg/l) se realiza un análisis microbiológico de las partículas de agua post desinfección dando como resultado la esterilización de los bidones; en el caso de las actividades G, H, J, K y M se decidió implementar nuevos equipos que reduzcan el tiempo de producción.

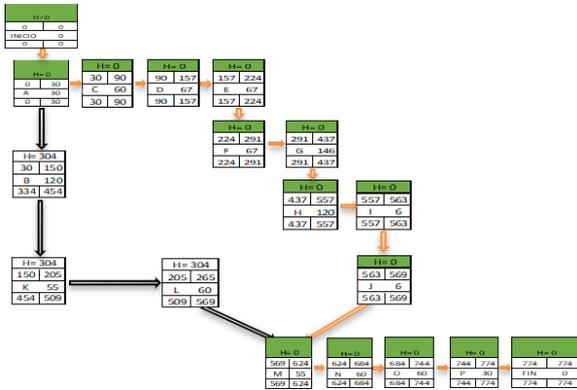
Tabla 5

Determinación de la ruta crítica (costos normales)

Actividad	ES (Inicio anticipado)	EF (Finalización anticipada)	LS (Inicio último)	LF (Terminación última)	Holgura libre
INI-CIO - A	0	30	0	30	0
A - C	30	90	30	90	0
C - D	90	157	90	157	0
D - E	157	224	157	224	0
E - F	224	291	224	291	0
F - G	291	437	291	437	0
G - H	437	557	437	557	0
H - I	557	563	557	563	0
I - J	563	569	563	569	0
J - L	569	624	569	624	0
L - M	624	684	624	684	0
M - N	684	744	684	744	0
N - O	744	774	744	774	0
O - FIN	774	774	774	774	0
A - B	30	150	334	454	304
B - K	150	205	454	509	304
K - L	205	265	509	569	304

Figura 2

Representación gráfica de la ruta crítica costos normales



Ruta Critica= A, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P

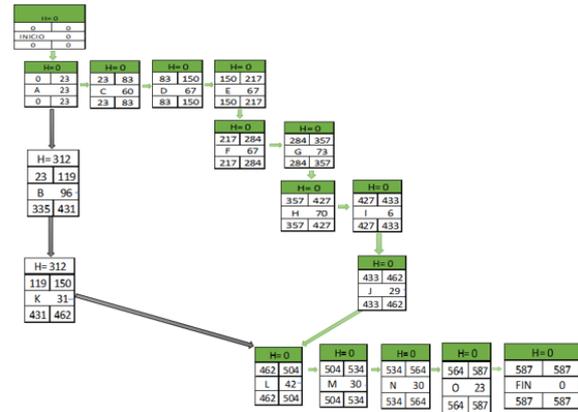
Tabla 6

Determinación de la ruta crítica (costos comprimidos)

Actividad	ES (Inicio anticipado)	EF (Finalización anticipada)	LS (Inicio ultimo)	LF (Terminación ultima)	Hol-gura libre
INI-CIO - A	0	23	0	23	0
A - C	23	83	23	83	0
C - D	83	150	83	150	0
D - E	150	217	150	217	0
E - F	217	284	217	284	0
F - G	284	357	284	357	0
G - H	357	427	357	427	0
H - I	427	433	427	433	0
I - J	433	462	433	462	0
J - L	462	504	462	504	0
L - M	504	534	504	534	0
M - N	534	564	534	564	0
N - O	564	587	564	587	0
O - FIN	587	587	587	587	0
A - B	23	119	335	431	312
B - K	119	150	431	462	312

Figura 3

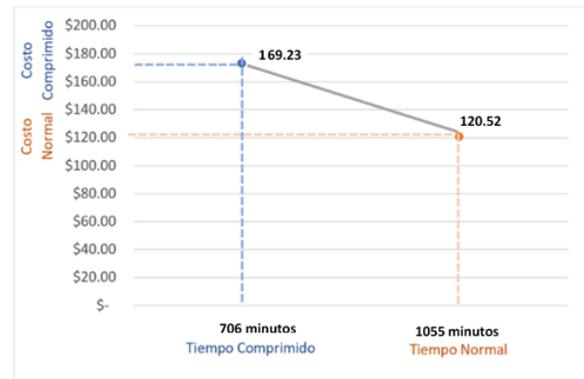
Representación gráfica de la ruta crítica costos comprimidos



Ruta Critica= A, C, D, E, F, G, H, I, J, L, M, N, O

Figura 4

Relación tiempo – costo



El tiempo comprimido de la producción de 220 bidones de agua purificada en la empresa Agua Purissima es de 706 minutos con un costo de \$169.23. Con los datos obtenidos en la tabla 3 y la Tabla 4, se efectúa los cálculos para el método de los costos comprimidos aplicados a las actividades del proceso de elaboración de agua potable por minutos mediante la fórmula:

$$\text{Costo de la actividad (días)} \\ = \frac{\text{Costo comprimido \$} - \text{Costo normal \$}}{\text{días normales} - \text{días comprimidos}}$$

$$\text{A} = \frac{\$40 - \$30.79}{30 - 23} = \$1.32 \text{ dólare}$$

$$\text{B} = \frac{\$25 - \$19.96}{120 - 96} = \$0.21 \text{ dólare}$$

$$\text{C} = \frac{\$6 - \$6}{60 - 60} = \$0 \text{ dólares}$$

$$\text{D} = \frac{\$4.25 - \$4.25}{67 - 67} = \$0 \text{ dólares}$$

$$\text{E} = \frac{\$3.40 - \$3.40}{67 - 67} = \$0 \text{ dólares}$$

$$\text{F} = \frac{\$4.50 - \$4.50}{67 - 67} = \$0 \text{ dólares}$$

$$\text{G} = \frac{\$10 - \$5}{146 - 73} = \$0.07 \text{ dólare}$$

$$\text{H} = \frac{\$25.80 - \$15.1}{120 - 70} = \$0.21 \text{ dólare}$$

$$\text{I} = \frac{\$0.94 - \$0.47}{6 - 3} = \$0.15 \text{ dólare}$$

$$\text{J} = \frac{\$23.50 - \$13.3}{52 - 29} = \$0.44 \text{ dólare}$$

$$\text{K} = \frac{\$8 - \$4.49}{55 - 31} = \$0.15 \text{ dólare}$$

$$\text{L} = \frac{0 - \$1.66}{60 - 0} = \$0.03 \text{ dólare}$$

$$\text{M} = \frac{\$7 - \$5.31}{55 - 42} = \$0.13 \text{ dólare}$$

$$\text{N} = \frac{\$3.32 - \$1.66}{60 - 30} = \$0.06 \text{ dólare}$$

$$\text{O} = \frac{\$4.26 - \$2.16}{60 - 30} = \$0.07 \text{ dólare}$$

$$\text{P} = \frac{\$3.26 - \$2.45}{30 - 23} = \$0.07 \text{ dólare}$$

Para reducir el tiempo en las actividades de producción de 220 botellones y así el tiempo comprimido sea de 706 minutos, la empresa Agua Purissima incrementara sus costos un total de \$48.71 adicional al costo normal de \$120.52, dando un total de \$169.23 para la producción de 220 botellones en 706 minutos.

Discusión

La Ruta crítica de la empresa es: Inicio-A-C-D-E-F-G-H-I-J-L-M-N-O; ya permite identificar cuellos de botella en la cadena de producción; estando ubicados en el filtro pulidor debido a que este filtro posee la mitad de capacidad que los demás filtros anteriores en la cadena de producción aumentando 67 minutos en el tiempo de producción; su solución es mediante la implementación de otro filtro pulidor de mayor capacidad de 60 l/m; sin embargo, en esa misma ruta esta la osmosis inversa la cual produce 34.83 l/m y de igual manera genera otro cuello de botella, para reducir o eliminar la restricción de este proceso es aumentando su capacidad adquiriendo 4 membranas de osmosis inversa de 2400 GPD para una ruta sin cuellos de botella; siempre y cuando la producción a futuro aumente ya que en la actualidad este proceso trabaja a su máxima capacidad 24 horas/día.

En el proceso de investigación se ratificó lo que expresan Ridha y Mustika (2018) que dentro del proceso de producción se evidencia que cada actividad tiene un alto grado de influencia en el costo y el tiempo de cada producto, así mismo indica que la aplicación de costos comprimidos dentro del proceso productivo ayuda a obtener una mejora continua, debido a que la aplicación de este método permitió identificar las dificultades que estaban presentes en la línea de producción de los bidones de agua; reduciendo el tiempo de elaboración aumentando el costo y por ende incrementando la producción de bidones de agua, logrando satisfacer las necesidades de los consumidores. La aplicación de este método resulto de mucha ayuda para identificar las dificultades que estaban presentes en la línea de producción de los bidones de agua.

El fortalecimiento de los cuellos de botella o restricciones genera aumento en los costos de un 28.78% pero se disminuye el tiempo de producción un 33.08% aumentando la ventaja competitiva de producción en el mercado al poder elaborar 313 botellones en el mismo tiempo que antes se generaban 220 botellones; aumentando su productividad un 42.27%. Evidenciando lo dicho por Avendaño Cardenas y Silva Guerra (2018), un cuello de botella tiene como consecuencia retraso en la producción. Además de ello también se evidencia la eficacia de la aplicación de la herramienta PERT/CPM para la optimización de tiempo-costo en un proceso productivo, tal como en los casos de Loja Moreno (2019) y Gómez y Orobio (2015) gracias a que, como señala Lermen et al. (2016), la herramienta permite al gerente a monitorear y controlar las diversas actividades en la producción para así ver cuales actividades pueden ser mejoradas o requieren de una mejora.

Referencias bibliográficas

- Araszkievicz, K. (2017). Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in a Multi-Project Environment: a Case Study. *Procedia Engineering*, 33-41. doi:10.1016/j.proeng.2017.03.108
- Atin, S., & Lubis, R. (2019). Implementation of Critical Path Method in Project Planning and Scheduling. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 1-6. doi:10.1088/1757-899X/662/2/022031
- Avendaño Cardenas, E., & Silva Guerra, H. (2018). Análisis de los cuellos de botella en la logística internacional de las Pymes de confecciones en Colombia. *Telos*, 510-526. doi:1317-0570
- Burbano, D., López, J., & Rojas, O. (2015). Definición de un método para la programación de la producción desde el paradigma de los sistemas holónicos de manufactura. *Ingeniería y Competitividad*, 29-40. doi:0123-3033
- Campos, G., & Lule, N. (2012). La Observación, un método para el estudio de la realidad. *Revista Xihmai*, 45-60. doi:1870-6703
- Carrasco, G. (2017). Misiles y Cronómetros: la instrumentalidad de la arquitectura. *ARQ*, pp 36-47. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962017000200036
- Castejón, F. J., Santos Pastor, M. L., & Cañadas, L. (2018). Desarrollo de Competencias Docentes en la Formación Inicial del Profesorado de Educación Física. Relación con los Instrumentos de Evaluación. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 111-126. doi:0718-0705
- Díaz, S. (2014). Desarrollo de una ficha de observación para el análisis y evaluación de experiencias. *Revista Internacional de Investigación e innovación educativa*, 69-82. doi:2386-4303
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, pp. 162-167. doi:SSN: 2007-865X
- Díaz-Narváez, V. P., & Calzadilla Núñez, A. (2016). Artículos científicos, tipos de investigación y productividad científica en las Ciencias de la Salud. *Revista Ciencias de la Salud*, 115-121. doi:1692-7273
- García, Y., Medina, A., Jaquinet, R., & Frías, R. (2017). Aplicación del diccionario de actividades al proceso de gestión de la inocuidad en servicios gastronómicos. *Revista brasilera de pesquisa en turismo*, 387-412. doi:http://dx.doi.org/10.7784/rbtur.v11i3.1296
- Gómez Niño, O. (2012). La productividad del recurso humano, factor estratégico de costos de producción y calidad del producto: Industria de confecciones de Bucaramanga. *Tecnura*, 102-113. doi:0123-921X
- Gómez, H. D., & Orobio, A. (2015). Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras. *DYNA*, pp. 155-164. doi:0012-7353
- Granda-Ayabaca, D. M., Jaramillo-Alba, J. A., & Espinoza-Freire, E. E. (2018). Estudio de caso: aplicación de Prezi. *EduSol*. doi:1729-8091

- Gutiérrez-Rodríguez, J. D. (2015). Desarrollo de proveedores locales en el sector extractivo colombiano: cuellos de botella, factores de éxito e implicaciones de política pública. *Revista Opera*, 5-25. doi:1657-8651
- Hein, P., & Min, T. (2018). Critical path analysis programming method without network diagram. *MATEC Web Conf.*, 1-4. doi:10.1051/mateconf/201819201027
- Hernández Vergara, W., Tais Teixeira, R., & Suemi Yamanari, J. (2017). Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. *Exacta*, 75-88. doi:1678-5428
- Hernández, W., Tais, R., & Suemi, J. (2017). Análisis de riesgos en proyectos de ingeniería: uso de PERT / CPM con simulación. *Exacta*, 75-88. doi:1678-5428
- Lafuente, C., & Marín, A. (2008). Metodologías de la investigación en las ciencias sociales: Fases, fuentes y selección de técnicas. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, pp. 5-18. doi:ISSN: 0120-8160
- Lermen, F. H., Morais, M. d., Matos, C., & Röder, R. (2016). Optimization of times and costs of project of horizontal laminator. *Independent Journal of Management & Production*, pp. 833-853. doi:2236-269X
- Loja Moreno, D. D. (2019). *Determinación de la ruta crítica y aplicación de costos comprimidos para la minimización de tiempos en Cirquimax Electronics*. Recuperado el 28 de 05 de 2021, de Repositorio Digital de la UTMACH: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14800>
- Navarro Ramírez, D. (2013). El proceso de observación: El caso de la práctica supervisada en inglés en la Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, pp. 54-69. doi:2215-2458
- Paredes, S., Torres, H., & Gómez, R. (2020). Programación de la construcción de tercer abukki de muros anclados de una edificación aplicando el método de líneas de balance. *Investigación & Desarrollo*, 173-192. doi:2518-4431
- Prieto Castellanos, B. J. (2018). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos De Contabilidad*, 46. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umd>
- Pulido Polo, M. (2015). Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica. *Opción*, pp. 1137-1156. doi:1012-1587
- Pupo, J., Ruiz, J., & Pacheco, A. (2018). Aplicación de CPM y costos comprimidos en la producción de cerveza artesanal (Ecuador). Caso de estudio. *Revista Espacios*, 20. doi: 0798 1015
- Ramos A, C., & Flores B, C. (2016). Reducción del tiempo de finalización del proyecto de una planta de conservas de pescado utilizando un modelo de programación lineal. *Anales Científicos*, 110-117. doi:2519-7398
- Rekalde, I., Vizcarra, M. T., & Macazaga, A. M. (2014). La Observación Como Estrategia De Investigación Para Construir Contextos De Aprendizaje Y Fomentar Procesos Participativos. *Educación XXI*, 201-220. doi:1139-613X
- Ridha, M., & Mustika Musakkir, U. (2018). Analisis Anggaran Biaya dan Waktu Optimal dengan Metode Least Cost Sheduling. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, pp 71-78. doi:2407-9200
- Robert Jacobs, F., & Chase, R. (2014). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* (13 ed.). McGRAW-HILL. doi:ISBN: 978-607-15-1004-4
- Rocha Lima Paranhos, F., Garrafa, V., & Leite de Melo, R. (2015). Estudio crítico do princípio de benefício e dano. *Revista Bioética*, 12-19. doi:1943-8042
- Ruiz, J., & Pupo, J. (2017). Mejora del sistema de manufactura en procesadoras de camarón: Análisis caso exportadora MARECUADOR S.A. *revista espacios*, 17. doi:0798 1015

- Sainz Zamora, R. O., Cornejo Martínez, A. R., Morán Castrejón, M., & Torres Castañeda, R. A. (2019). Determinación de los objetivos parciales de un proyecto, aplicando la ruta más larga. *Management Review*, pp 18-32. doi:<https://doi.org/10.18583/umr.v1i2.17>
- Sánchez, J. P., & Cuadros, A. (2014). Análisis de técnicas de seguimiento y control de proyectos. aplicación en la industria de construcción de botes. *Revista Ciencias Estratégicas*, 51-66. doi:1794-8347
- Solís-Carcaño, R., & González-Fajardo, J. A. (2017). Analogía hidráulica para la compresión de redes en la planeación de proyectos. *Ingeniería*, pp. 41-53. doi:1665-529X
- Torres Navarro, C., Saleté Waltrick, M., & Delgado Vizcarra, C. (2017). Costeo de productos en la industria panadera utilizando el método ABC. *Interciencia*, pp. 646-652. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33953313004.pdf>