

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE
AGUA TRATADA PARA LA PREPARACIÓN DE
PRODUCTO EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS
APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL Y TEORÍA DE
COLAS**

Trabajo de Graduación presentado por Manuel Eduardo Cetino
Moscoso para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Industrial

Guatemala
2013

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE
AGUA TRATADA PARA LA PREPARACIÓN DE
PRODUCTO EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS
APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL Y TEORÍA DE
COLAS**

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE
AGUA TRATADA PARA LA PREPARACIÓN DE
PRODUCTO EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS
APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL Y TEORÍA DE
COLAS**

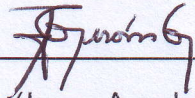
Trabajo de Graduación presentado por Manuel Eduardo Cetino
Moscoso para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Industrial

Guatemala

2013

Vo. Bo. :

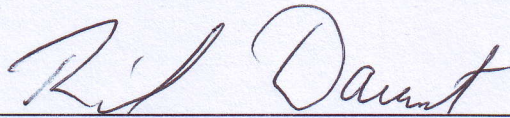
(f)



(Ing. Axel Girón)

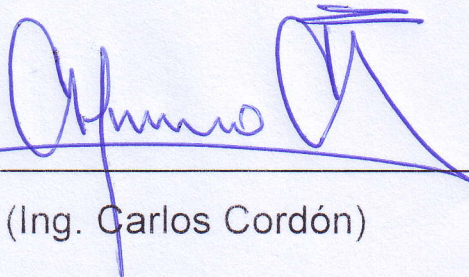
Tribunal Examinador

(f)



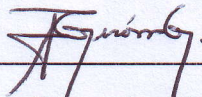
(Lic. Raúl Dacaret)

(f)



(Ing. Carlos Córdón)

(f)



(Ing. Axel Girón)

Fecha de aprobación: Guatemala, 11 de enero de 2013

A mis padres Manuel de Jesús y Luz Angélica, por el gran esfuerzo realizado a lo largo de mi vida.

PREFACIO

En primer lugar agradecer a Dios Padre por haberme bendecido y haberme dado la oportunidad de culminar mis estudios. A mis padres, hermanos, por su apoyo y mi a novia en especial por su compañía en todo momento.

Al Ing. Áxel Girón que me asesoró excelentemente para poder culminar este estudio.

Este estudio analiza el sistema de suministro de agua tratada que es utilizada para la preparación de producto en una planta de alimentos, el que puede ser mejorado.

El estudio se limita a analizar únicamente el sistema de abastecimiento desde el tanque de agua tratada hasta el momento donde ésta llega al tanque de preparación.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE GRÁFICAS.....	xiii
LISTA DE DIAGRAMAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
V. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA.....	17
VI. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	26
VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL.....	29
VIII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN UTILIZANDO TEORÍA DE COLAS	43
IX. ANÁLISIS FINANCIERO	54
X. CONCLUSIONES.....	56
XI. RECOMENDACIONES	58
XII. BIBLIOGRAFÍA	59
XIII. ANEXOS	60
XIV. GLOSARIO	64

LISTA DE TABLAS

Tablas	Página
1. Características del pozo.....	17
2. Bombas del sistema de suministro de agua purificada.....	22
3. Producción de líneas (Cajas).....	24
4. Prioridad de líneas.....	24
5. Costo de producción por línea.....	25
6. Caudales instantáneos de cada línea de producción.....	27
7. Presiones máxima / mínima.....	28
8. Programación de producción según utilización de línea.....	30
9. Promedio de tiempo transcurrido entre caídas de presión (> 5 min).....	31
10. Resultados de la combinación 1 en Solver	38
11. Resultados de la combinación 2 en Solver.....	39
12. Resultados de la combinación 3 3n Solver	41
13. Resumen de resultados de tres combinaciones de líneas de producción.....	42
14. Tiempo promedio de llegadas (minutos).....	44
15. Tiempo promedio de servicio (minutos).....	45
16. Resumen de resultados con 1, 2 y 3 bombas.....	49
17. Jornadas de trabajo.....	50
18. Costos y precio de venta.....	50
19. Costos de no producción con 1 bomba en el sistema	51
20. Costos de no producción con 2 bombas en el sistema.....	51
21. Costos de no producción con 3 bombas en el sistema	52
22. Total de Flujo de Caja de la Inversión.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Estructura básica de los modelos de colas.....	7
2. Sistema de colas.....	10
3. Distribución Poisson.....	11
4. Distribución Exponencial.....	11
5. Modelo de Colas con un servidor.....	12
6. Partes de una bomba centrífuga	15
7. Esquema unifilar del área de estudio 1.....	18
8. Esquema unifilar del área de estudio 2.....	19
9. Instalación de tuberías de agua purificada	22
10. Celdas cambiantes.....	33
11. Celdas de función objetivo	34
12. Celdas de restricciones.....	34
13. Parámetros de Solver	35
14. Agregar restricciones.....	35
15. Opciones de Solver.....	36
16. Resultados de Solver.....	36
17. Diagrama de Flujo de Caja de la Inversión de 2 bombas.....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica	Página
1. Toma de Presiones	28
2. Toma de tiempos entre llegadas.....	44
3. Tiempo de servicio.....	46

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama	Página
1. Diagrama de flujo de procedimiento de purificación de agua.....	21

RESUMEN

Actualmente el Sistema de abastecimiento de agua tratada de una fábrica de alimentos (bebidas y frijoles) está operando de forma ineficaz, debido a que el sistema colapsa, cayéndose la presión en los momentos en que la demanda de agua (horas pico) rebasa la capacidad actualmente instalada en el sistema. Esto tiene un impacto en la producción, causando pérdidas de tiempo en la preparación de los productos, ya que cuando esto sucede, es necesario restablecer el sistema y en ocasiones los fallos, son tan severos que se necesitan de largas reparaciones. Lo que conlleva a pérdidas económicas.

Por medio de una consolidación de las demandas obtenidas a lo largo del año 2011 se determina el nivel de prioridad que tiene cada línea según la producción realizada.

El propósito de este estudio es conocer la secuencia de abastecimiento de agua a las líneas de producción, es decir, en un momento de mayor consumo sabremos qué líneas deben esperar o dejar de funcionar para utilizar eficientemente dicho recurso, ya que la mayor parte del tiempo la demanda se mantiene estable y no rebaza la capacidad actualmente instalada.

I. INTRODUCCIÓN

La empresa objeto de estudio se dedica al procesamiento de alimentos y bebidas, especializados en la fabricación de jugos, néctares y productos de tomate.

Con este estudio se optimizará tanto la secuencia de operación de los tanques de preparación como la capacidad de caudal instantáneo de agua tratada que es necesaria para abastecer la demanda de las áreas de preparación.

Se analizarán los caudales instantáneos y las presiones en las horas pico de las operaciones, tomando únicamente tres combinaciones posibles de las que se pueden dar en la programación de la producción de las diferentes líneas. También el tiempo de espera que se tiene en la producción al caerse la presión debido a que la demanda sobrepasa la capacidad de las bombas hidráulicas instaladas actualmente.

Esto con el propósito de optimizar el sistema de suministro de agua tratada. Finalmente se concluirá si es el sistema actual es suficiente o no para las operaciones que se tienen actualmente en la empresa.

II. JUSTIFICACIÓN

Debido a que el agua es un recurso importante para el funcionamiento de las líneas de producción en dicha Fábrica de Alimentos, es esencial tomar medidas con el fin utilizar el agua conscientemente y eficientemente. Esto no solo con el fin de evitar un impacto en el medio ambiente por el uso desmedido y reducir los costos que se incurren al hacer uso inadecuado del mismo.

Dado que la mayoría de productos de alimentos y bebidas están hechos en su gran mayoría a base de agua, por lo tanto se debe de cuidar y emplear de manera óptima este valioso recurso.

Debido a la mejora de los procesos, búsqueda de excelencia y mejor calidad de los productos, al conocer que líneas puede funcionar en conjunto con otras y cuales son las que representan mayor beneficio. Esto ayudará a los gerentes de línea a mejorar la planeación de la producción enfocandose en las líneas de mayor importancia.

III. OBJETIVOS

A. Generales:

- Optimizar la capacidad actualmente instalada sistema de distribución de agua tratada, hacia las líneas de producción en la Fábrica de Alimentos estudiada, disminuyendo los costos de no producción que se generan por una operación ineficaz.

B. Específicos:

- Alcanzar el 90% de uso de la capacidad del Sistema de Suministro de Agua tratada actual, en el momento de mayor consumo.
- Determinar e incorporar el orden de distribución de agua a cada línea de producción según la prioridad que representa para la fábrica en función de la demanda.
- Medir el impacto de pérdida de tiempo en la preparación de las líneas que tendrían que esperar en la cola, de acuerdo al orden de prioridad que se establezca.
- Plantear las ecuaciones y restricciones matemáticas necesarias, para incorporar las fórmulas resultantes del estudio, dentro de un autómata programable (PLC) que le permita a los Ingenieros del departamento técnico de la fábrica en estudio, implementarlo en el sistema de automatización que controla hoy dicho sistema.
- Plantear soluciones alternas que permitan observar crecimientos de la demanda e inversiones futuras.
- Disminuir los costos de no producción generados por una operación ineficaz del sistema en un 10%.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A. Programación Lineal

La Programación Lineal tuvo su origen ante la necesidad de programar las actividades de las empresas. Han sido parte importante de la administración de las empresas y es utilizado como método de optimización de procesos. Pretende maximizar utilidades de las empresas o bien minimizar los costos de producción y funcionamiento.

Es un modelo determinístico que sirve para la toma de decisiones, en el cual el objetivo es seleccionar la mejor alternativa entre muchas posibles alternativas de decisión. Utiliza un modelo matemático para describir y formular el problema.

B. Características de los problemas de Programación Lineal

Programación Lineal no incluye probabilidades. Contiene dos factores indispensables. La forma matemática del objetivo; ésta es llamada función objetivo y va acompañada de la acción de maximizar o minimizar la medida de interés del objetivo. También se encuentran las restricciones que son un conjunto de desigualdades lineales que se deben satisfacer; por ejemplo, restricción de disponibilidad de recursos, disponibilidad de mano de obra, de materiales, en fin son todos los requerimientos o condiciones que se le imponen al problema.

Los supuestos de Programación Lineal son linealidad, determinismo y una sola función objetivo. La primera expresa que todas las variables de decisión deben ser lineales. Los coeficientes en la función objetivo y en las restricciones deben de ser constantes.

Determinismo implica que el comportamiento de todas las variables y todos los coeficientes es conocido, es decir, que no hay incertidumbre ni riesgo asociado a las variables.

C. Componentes de los problemas de Programación Lineal

Un problema de PL consta tres componentes en su estructura:

1. **Una función lineal:** Llamada función objetivo de las variables de decisión $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ la cual debemos maximizar o minimizar.

2. **Un conjunto de restricciones:** Pueden ser ecuaciones o desigualdades lineales que restringen los valores para las variables de decisión; por ejemplo, restricción de disponibilidad de recursos, disponibilidad de mano de obra, de materiales, en fin son todos los requerimientos o condiciones que se le imponen al problema.

3. **Las restricciones de no negatividad:** Estas exigen que cada variable de decisión debe ser no negativa $x_i \geq 0$ puesto que no se pueden producir cantidades negativas de productos.

El coeficiente de cada variable en la función objetivo representa la contribución a la utilidad que tiene cada variable. Si el objetivo es maximizar la utilidad z y se representa a la función lineal objetivo:

$$\text{Max } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto al sistema de restricciones lineales:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \leq b_3$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3 \text{ (no negatividad)}$$

D. Modelos de Teoría de Colas

En el mundo actual las filas de espera (cuando la demanda por un servicio llega a ser demasiado grande para la capacidad de prestación del servicio, se forma una cola) son cosa de todos los días y a menudo están formadas por elementos, personas, maquinas o sucesos que “hacen cola” esperando servicio. Algunos de los ejemplos clásicos de filas de espera pueden encontrarse vinculados con la industria del transporte, la interferencia de máquinas, el diseño de sistemas y la utilización de instalaciones. En la industria del transporte se encuentra a menudo que: hay aviones que dan vueltas sobre los aeropuertos debido a congestiones de tráfico, por tal razón, se ven forzados a esperar en fila su turno para aterrizar; los buques y las embarcaciones en general forman colas esperando servicio en los muelles de embarque, y los automóviles lo hacen en puentes, túneles, etc.

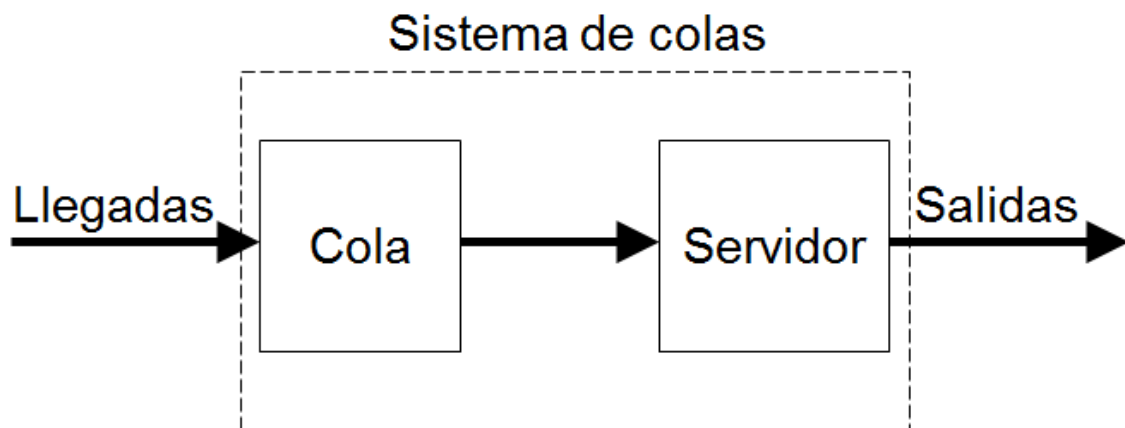
Llámesese teoría de las colas al estudio matemático de las filas de espera. Mediante este estudio es posible aislar factores tales como: promedio de longitud de las filas de espera (cuántos hacen cola); promedio de tiempo que un elemento, persona, máquina, suceso o molécula debe esperar en la cola antes de ser atendido; número de elementos que se calcula al sistema total; tiempo que se calcula que un elemento esté afectado al sistema total; y muchas otras características. Al determinar este tipo de conocimiento, se puede modificar el proceso de la toma de decisiones con respecto a las filas de espera, de cualitativo a cuantitativo, y con ello mejorar las perspectivas de que la decisión sea acertada.

E. Proceso Básico de colas (aplicado al caso de estudio)

En el proceso de suministro de agua, la estructura está formada por la fuente de entrada, que son las líneas de producción que requieren agua para la preparación de los productos correspondientes. Los clientes son las líneas de producción. La cola es la que hace una segunda o tercera línea que solicita agua para preparación, teniendo que esperar para que se le pueda suministrar. Para finalizar cada línea sigue el proceso de preparación.

Figura No. 1

Estructura de básica de los modelos de colas



F. Características de la población en busca del servicio

Un sistema de colas tiene tres características que se tratarán a continuación, así:

1. **Tamaño de la población con acceso:** La población con acceso puede ser finita o infinita. Ejemplo de poblaciones con acceso prácticamente infinitas incluyen carros que llegan a una caseta de peaje, pacientes que llegan a una sala de urgencias de un gran hospital, y 20,000 estudiantes haciendo cola el día de matriculación. Éstas son en realidad poblaciones finitas, pero muy grandes, y por conveniencia matemática se tratan como infinitas. Cuando las poblaciones con acceso son infinitas, es mucho más fácil aplicar técnicas cuantitativas en su análisis. ¿Cómo diferenciar entre las poblaciones con acceso finito o infinito? Generalmente, si la probabilidad de una llegada es cambiada grandemente, cuando un miembro de **la población con acceso está recibiendo servicio, se considera que la población es finita.**

Dado lo anterior, siendo las líneas de producción (8 en total) las que recibirían el servicio de la bomba, en este caso el abastecimiento de agua purificada, se tomarán como una población Infinita por lo siguiente:

- La probabilidad de llegada no cambia de gran manera cuando la bomba abastece a una línea de producción porque en primer lugar la producción de la fábrica de alimentos es corrida, es decir de 24 horas, lo cual indica que al terminar la programación de producción en cualquier momento podría volver a requerir el servicio la línea abastecida en un principio. En segundo lugar porque los productos a menos que suceda algún inconveniente de fuerza mayor se descontinuaría pero de lo contrario éstos tienen producción ilimitada en día.

Esto sería caso contrario si la producción de una línea se hiciera una vez y no se volviera a realizar en mucho tiempo, en este caso estaríamos hablando de algún producto estacional, es decir, que solamente en ciertas temporadas se produce.

2. Características de llegada de la población de acceso. Los miembros de la población con acceso llegan a la estación de servicio, en algún patrón organizado o en un orden aleatorio. Cuando las llegadas son aleatorias, se tiene que conocer la distribución de probabilidad que describe las llegadas, específicamente el tiempo entre llegadas. Los científicos de la administración han demostrado que “las llegadas aleatorias son a menudo descritas mejor con la distribución de Poisson”.

La programación diaria de producción se determina según la demanda de cada producto pero el orden actualmente en el que cada línea solicita agua purificada para preparación de producto es aleatoria.

3. Conducta de la población de acceso. Las poblaciones con acceso y sus miembros individuales, tiene diferentes actitudes sobre “cómo encontrar a la línea”.

La mayoría rutinariamente por ejemplo si al llegar a una gasolinera se ve que la mayoría de bombas están ocupadas (en la teoría de colas esto se conoce rehusar). Ya sea que esté dispuesto a esperar o no, la mayoría de los modelos de colas supone que la población con acceso tiene bastante paciencia y acepta esperar. En nuestro estudio esto se muestra de la manera en que las órdenes de producción sin importar lo que pase deben de realizarse por lo que las líneas esperaran hasta ser abastecidas sin importar que la presión se caiga.

a) Características de las colas (líneas de espera: Es práctica común describir las características de la cola en términos de la longitud máxima a la que la cola puede crecer. Esta longitud se clasifica como limitada o ilimitada. Las longitudes de cola limitada son generalmente causadas por la falta de espacio (en una noche muy fría, la línea de espera para un restaurante puede estar limitada al número de personas que puede amontonarse en el vestíbulo), o por la actitud de los miembros de la población con acceso (a algunas personas simplemente no les gusta esperar en filas). En nuestro estudio la longitud máxima de la cola es ilimitada dado que en todo momento se las 8 líneas pueden estar esperando ser abastecidas.

b) La disciplina de la cola. Este aspecto se refiere a cuál unidad de la población de servicio recibe el servicio. Se usan dos clasificaciones: 1) prioridad y 2) primero en llegar, primero en recibir servicio. La prioridad le permita al miembro de la población con acceso que interrumpa a los miembros que ya están recibiendo servicio.

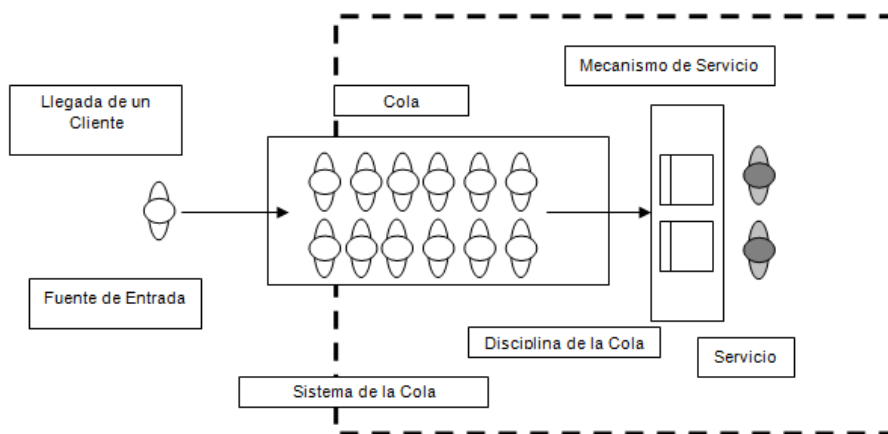
En la disciplina de cola, el primero en llegar es el primero en recibir servicio; no asignan prioridades y se sirve a miembro de la cola que llegó primero. Las combinaciones de estas disciplinas de cola son mucho más evidentes. Aplicado al

presente estudio la disciplina de la cola es según la regla de prioridad más común (PEPS), es en la que se atiende al que llegó primero y es el primero que sale del sistema.

c) Mecanismo de servicio: Consiste en que el sistema de colas tiene una o más estaciones de servicio, cada una de ellas con uno o más canales de servicio paralelos, llamados servidores.

Figura No. 2

Sistema de colas

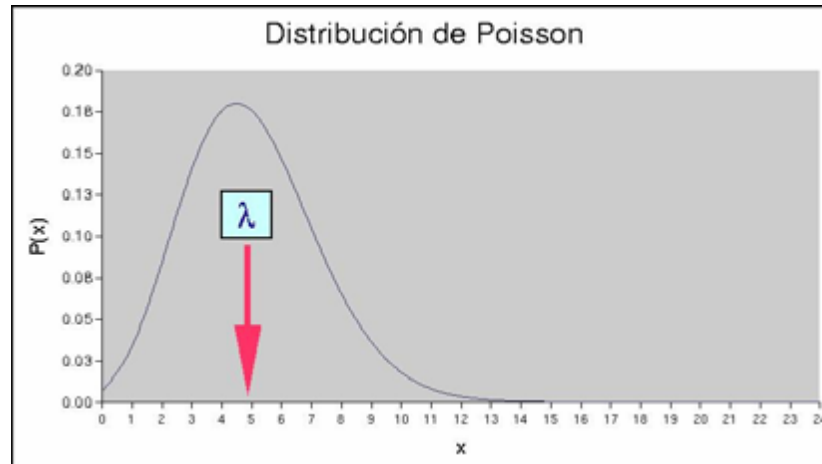


G. Distribuciones de Probabilidad Exponencial y de Poisson en la Teoría de Colas

1. Distribución probabilística de llegadas. Las empresas de servicio tienen un comportamiento de distribución de Poisson para la llegada de clientes que requieren de sus servicios, ya que aumenta al principio del servicio de llegadas, luego tiene un punto pico donde es mayor la llegada para después disminuir al final del servicio.

Figura No. 3

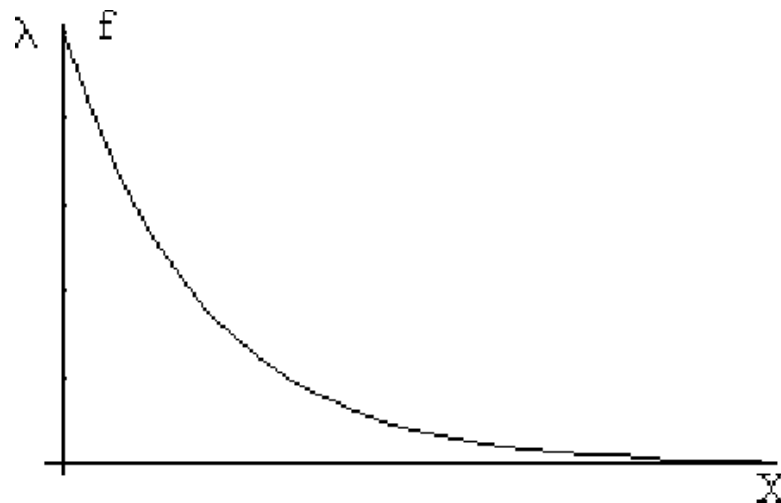
Distribución de Poisson



2. **Distribución probabilística de los servicios.** El comportamiento de las empresas de servicios tiene una distribución exponencial; esto significa que al principio aumenta la tasa de servicios, pero conforme pasa el tiempo, el cansancio y la fatiga hacen que este servicio disminuya.

Figura No. 4

Distribución exponencial



H. Modelos de líneas de espera especializadas de Poisson

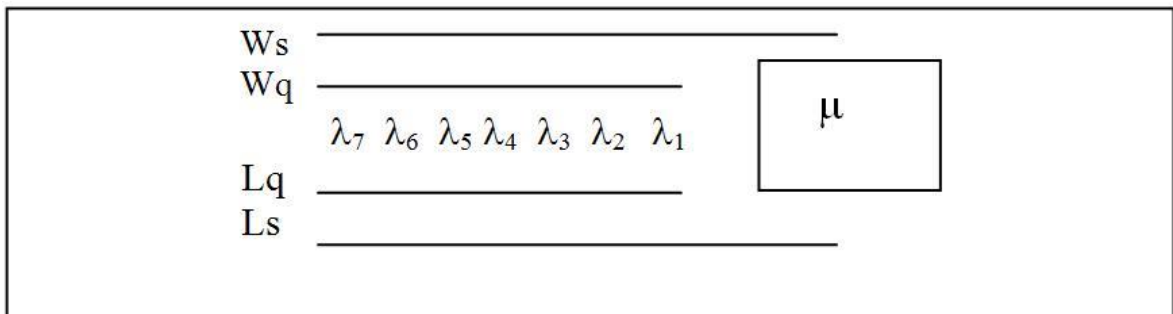
La mayoría de sistemas de servicio están ideados de tal manera que el promedio de capacidad de servicio es mayor que el promedio de llegadas para servicio. Pero aún con este exceso de capacidad de servicio, se forman colas. Si entre llegada y llegada hubiese una separación en el espacio o en el tiempo que siempre fuese igual, podría asegurarse un ritmo de circulación para cualquier periodo de tiempo, pero desafortunadamente esto no sucede.

Cuando las llegadas no siguen un ritmo constante en el espacio o el tiempo, habrá intervalos de tiempos en los cuales el número de llegadas será menor que la capacidad de servicio, o igual o mayor a ella. Por lo tanto, si las proporciones de prestación de servicio son mayores que las proporciones de llegadas, quedarán eliminadas las colas.

Es un modelo de servidor único sin límite en la capacidad del sistema. Se supone que las tasas de llegadas son independientes del número en el sistema, o sea para toda n . Se supone que el servidor único completa el servicio a una tasa constante, es decir, que la bomba abastece a las líneas de manera constante.

Figura No. 5

Modelo de colas con un servidor



Fórmulas del modelo

Tasa de llegada = Lamda (λ) = Número de clientes / unidad de tiempo

Tasa o Ritmo de servicio = Mu (μ) = Número de clientes servidos / unidad de tiempo

$1 / \mu$ = Tiempo promedio del servicio.

$1 / \lambda$ = Tiempo promedio entre llegadas

L_s = Número de clientes promedio en el sistema

L_q = Número de clientes promedio en cola

W_s = Tiempo promedio de permanencia en el sistema

W_q = Tiempo promedio de permanencia en cola

$W_s - W_q$ = Tiempo de operación

P_0 = Probabilidad que no exista ningún cliente en el sistema

P_n = Probabilidad de que haya exactamente n unidades en el sistema.

P_w = Probabilidad de esperar en línea.

n = número de unidades en el sistema

$\rho = \lambda / \mu$ = Factor de utilización (% de tiempo que el servidor permanece ocupado)

Costo Total = L_s * Costo Improductivo + otros costos

Fórmulas generales

$$1. P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

$$2. P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)$$

3. $L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$
4. $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$ (largo de la fila de espera sin incluir los que están atendiéndose).
5. $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$
6. $W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$
7. $\rho = \frac{\lambda}{K * \mu}$ (donde: $k * \mu$ debe ser $> \lambda$)

I. Teoría de Restricciones

Es una filosofía administrativa que se compone de un conjunto de métodos sustentados en el sentido común y orientados hacia la mejora continua. Una restricción se refiere a cualquier elemento que le impide a un sistema alcanzar su meta. En nuestro caso sería la capacidad de la bomba que envía agua hacia los tanques de preparación. Existen restricciones de mercado, de conocimientos, de materiales, de capacidades (nuestro caso), logísticas, de políticas, administrativas, entre otras.

J. Fundamentos de los fluidos

1. **Caudal:** Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

2. **Medición de caudal:** La medida de caudal en conducciones cerradas, consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo. El método utilizado para esta acción fue conocer el volumen de agua que se vertía en los tanques de preparación en cierta cantidad de tiempo. Esto apoyado de un cronómetro convencional.

3. **Presión:** Fuerza de un fluido por unidad de área, generalmente se expresa en unidades de libra por pulgada cuadrada (lb/pulg²).

4. **Viscosidad:** La viscosidad es la medida de la resistencia de un fluido para fluir a una temperatura determinada. Un fluido que fluye fácilmente tiene una viscosidad baja. Un fluido que no fluye fácilmente tiene una viscosidad alta.

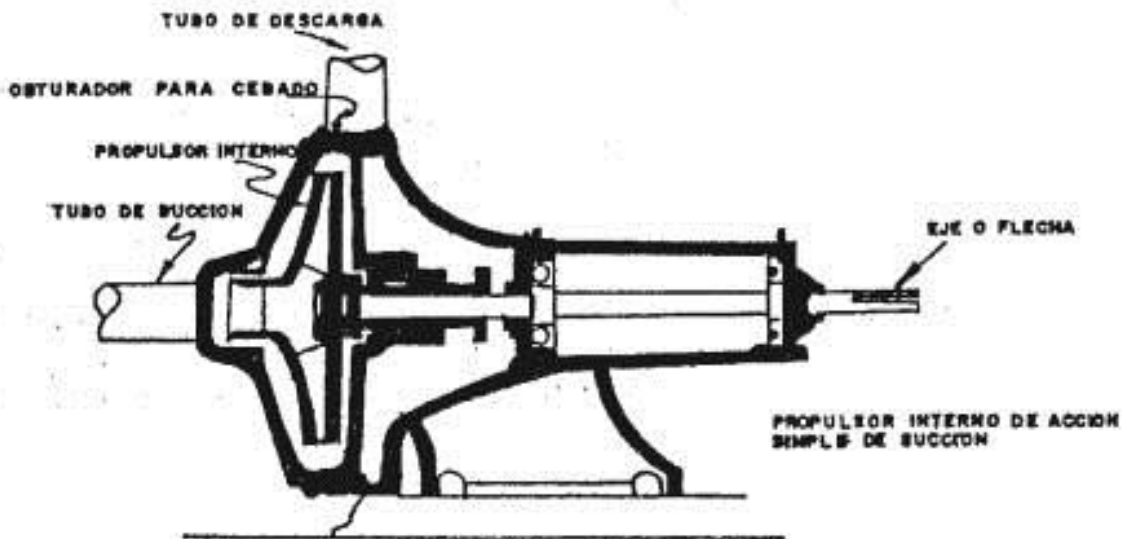
5. **Bomba hidráulica:** Una bomba hidráulica de clasificación centrífuga es un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica, de manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas.

Los elementos principales de toda bomba centrífuga son:

- 1) Un elemento estático conformado por chumaceras, estopero y cubierta.
- 2) Un elemento dinámico-giratorio conformado por un impulsor y una flecha.

Figura No. 6

Partes de una bomba centrífuga



K. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) consiste en encontrar las diferencias entre el valor actualizado de los flujos de beneficio y el valor, también actualizado, de las inversiones y otros egresos de efectivo. La tasa que se utiliza para descontar los flujos es el rendimiento mínimo aceptable de empresa, por debajo del cual los proyectos no deben aceptados. El VAN de una propuesta de inversión se representa así:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_e}{(1+i)^t}$$

Donde,

I_0 = Inversión inicial

F_e = Flujos de efectivo por periodo

i = rendimiento mínimo aceptable (costo de recursos)

n = periodos

Si el valor actual (VAN) de un proyecto es positivo, la inversión deberá realizarse y si es negativo, deberá rechazarse. Las inversiones con valores actuales netos incrementan el valor de la empresa, puesto que tienen un rendimiento mayor que el mínimo aceptable.

El VAN de proyectos variará en función de la tasa mínima atractiva de corte utilizada, es decir que la deseabilidad referente a los diferentes proyectos cambiará, si cambia la tasa de rendimiento mínimo aceptable por la empresa.

V. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA

A. Sistema de purificación

La planta de purificación de agua que posee actualmente la Fábrica de Alimentos toma el agua de un pozo propio de 1,400 pies de profundidad que se distribuye posteriormente en tres tanques de almacenamiento con capacidad de 25,000 galones cada uno. De los tanques por medio de tres bombas centrífugas de función automática en conjunto tienen la capacidad de trasladar 1,950 Galones / hora.

Tabla No. 1

Características del pozo

Características del pozo	
Profundidad	1400`
Producción actual	600 GPM
Motor eléctrico	200 hp
Capacidad bomba	650 GPM

El agua de lo pozo es dirigida a tres puntos diferentes de los cuales se profundizará por medio de este estudio a la parte donde se realiza la preparación de productos alimenticios.

Los tres puntos donde se dirige el agua son:

- a. Suavizadores de agua de calderas y pasteurizadores
- b. Duchas, servicios sanitarios, jardines y sanitización.
- c. Producción de líneas de bebidas y alimentos.

Figura No. 7

Esquema unifilar del área de estudio: Conexión de líneas de producción con tanque de agua purificada parte 1

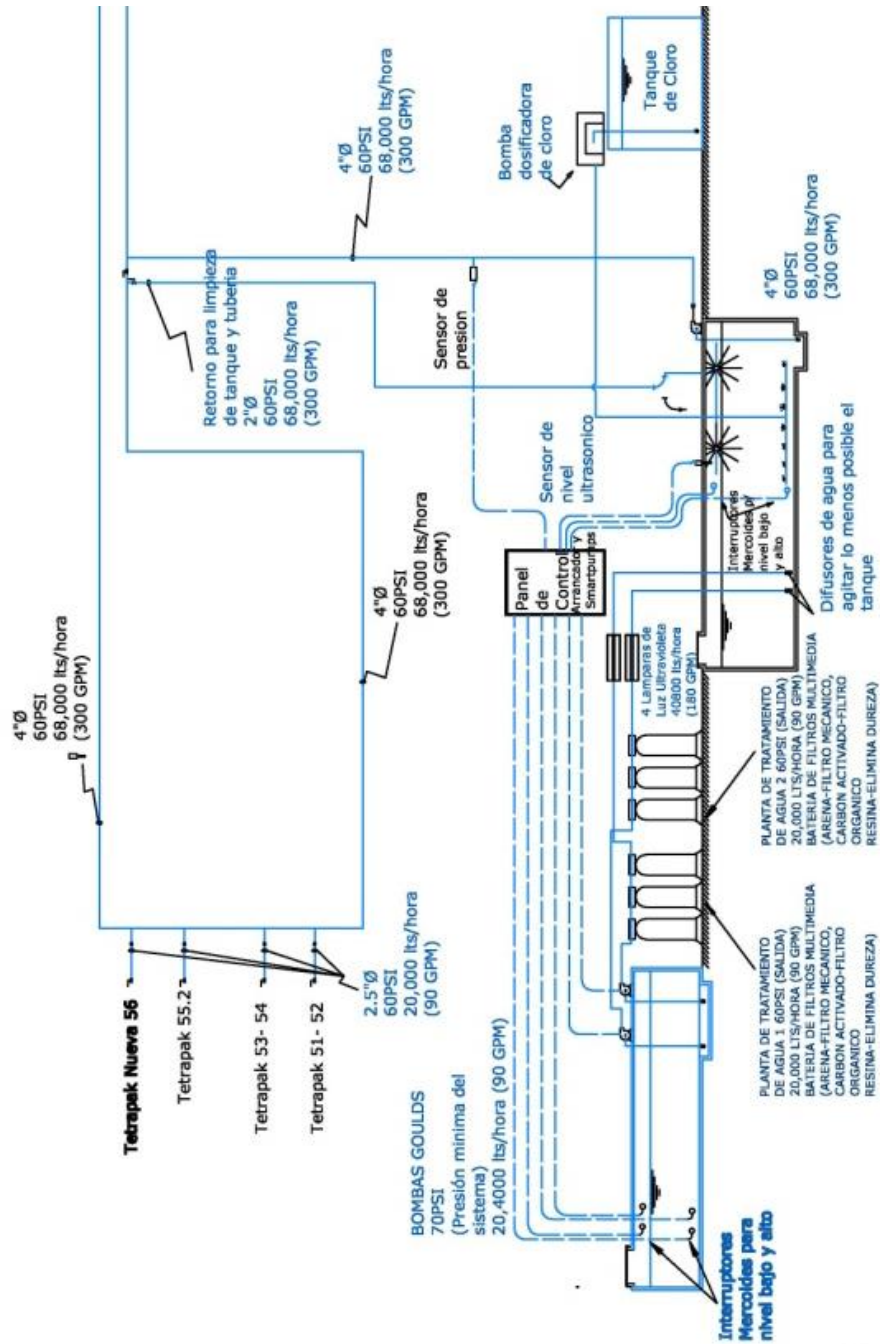
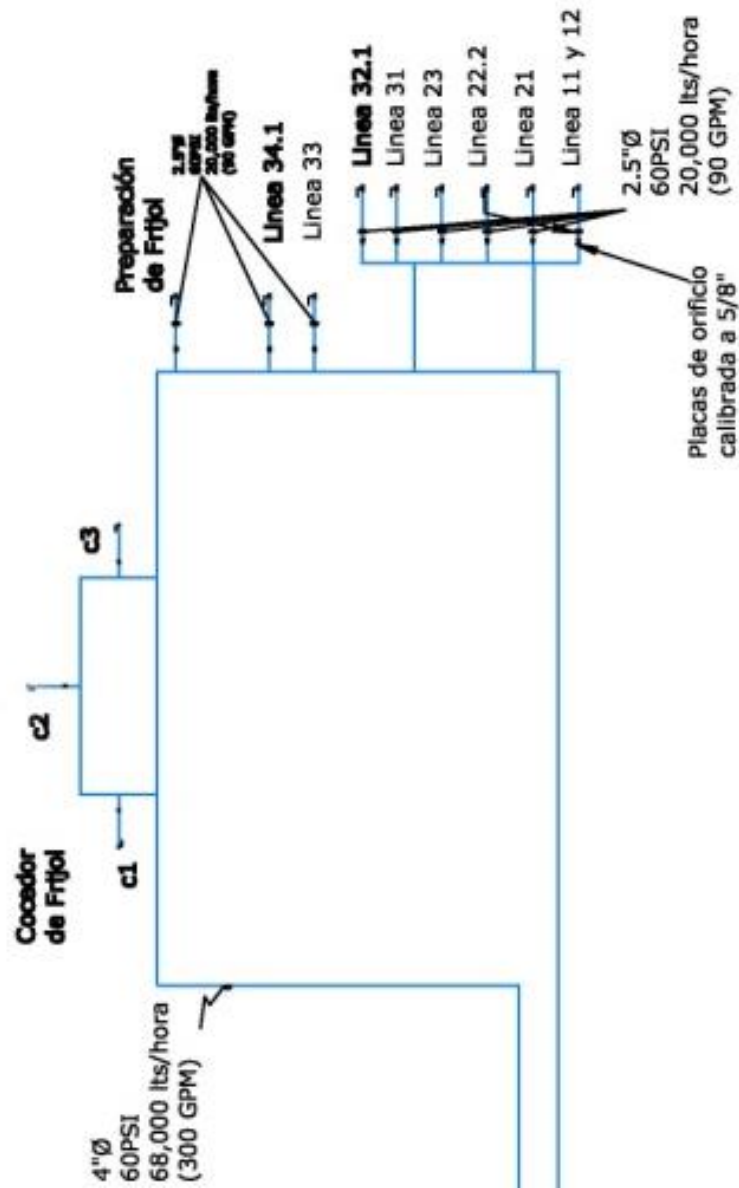


Figura No. 8

Esquema unifilar del área de estudio: Conexión de líneas de producción con tanque de agua purificada parte 2



B. Descripción del proceso

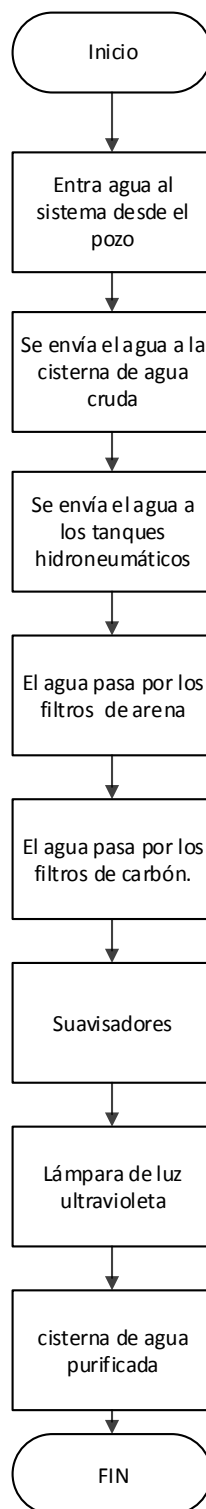
A continuación se explicará brevemente el procedimiento de purificación de agua. Al inicio del proceso llega el agua proveniente del pozo de agua cruda a una cisterna con capacidad de 2, 450 Galones de la cual parten dos redes. La red 1 por medio de dos bombas impulsoras de 7.5 hp c/u, con capacidad de enviar 90 Galones/minuto, traslada el agua a los tanques hidro- neumáticos para luego hacerla pasar por los filtros de arena (elimina sólidos), los filtros de carbón (elimina olores), los suavizadores (elimina dureza) y lámparas Ultra Violeta (elimina bacterias y hongos). Por último llega al tanque de agua purificada que tiene capacidad para 12, 833 Galones.

La red 2 utiliza una bomba impulsora de 15 hp con una capacidad de 90 galones / minuto. Luego sigue el mismo proceso que la red 1 para finalizar en el tanque de agua purificada.

1. Diagrama de Flujo

Diagrama No. 1

Diagrama de flujo de procedimiento de purificación de agua



C. Maquinaria

Las capacidades de las bombas.

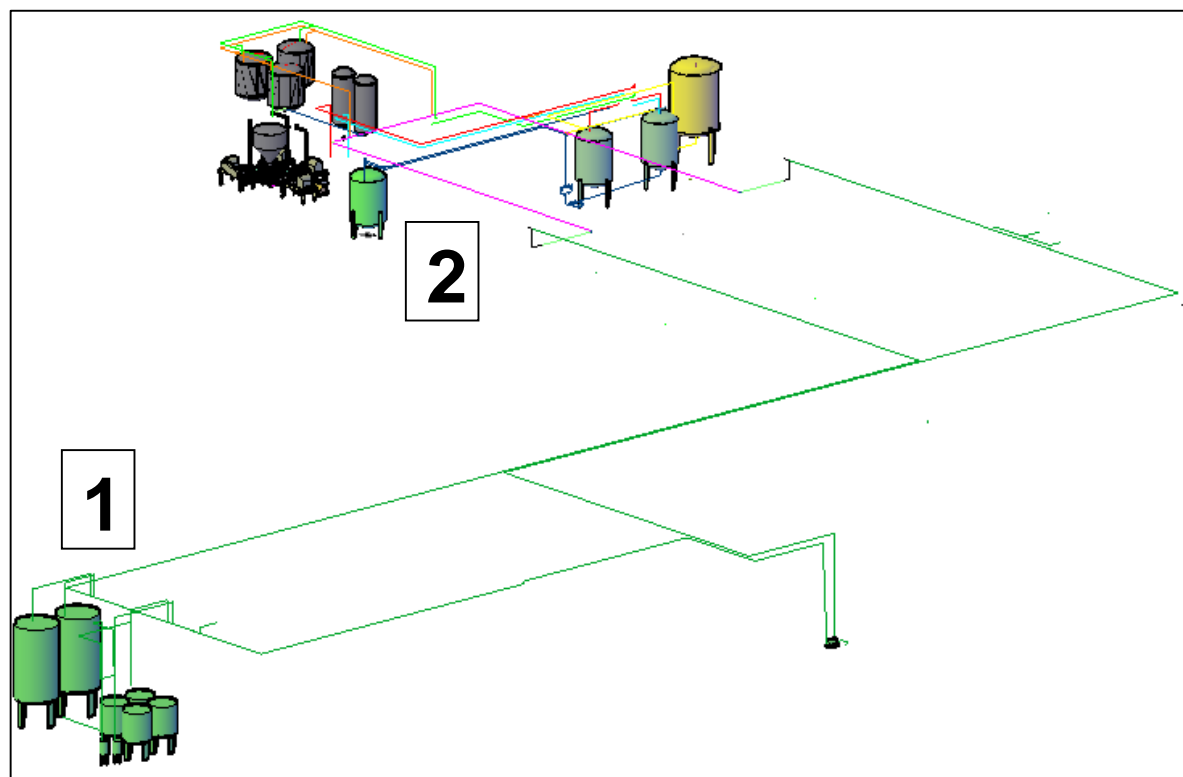
Tabla No. 2

Bombas del sistema de suministro de agua purificada

Bomba	
1	30 hp
2	25 hp
3	30 hp

Figura No. 9

Instalación de tuberías de agua purificada



D. Situación actual de las áreas de preparación

La producción en las 8 líneas de producción se realiza de forma continua durante toda la semana, descansando solamente el día domingo, trabajando las 24 horas con tres turnos según la programación que se planifique. El primer turno de 7:00am a 16:00pm, el segundo turno, 16:00pm a 23:00pm y el tercer turno de 23:00pm a 6:00am.

El estudio se realizó en las dos áreas de preparación existentes en la empresa. En cada turno los operarios que tienen a cargo realizar las mezclas según recetas en los tanques de preparación son tres, por lo que en total en 24 horas los operarios que laboran en el área de preparación son 9.

En la empresa se tienen dos áreas de preparación:

1. La primera posee:

a. 2 tanques de 2,640 galones, abastece a las línea 5

b. 4 tanques de 1,400 galones, abastece a la línea 3 y 4.

2. La segunda llamada "Área de preparación nueva" posee:

a. 7 tanques de 2,500 galones, abastece a las líneas 1, 2, 6, 7 y 8.

E. Líneas de producción:

En la Fábrica de Alimentos se tienen 8 líneas de producción las cuales se utilizará para realizar el estudio. Existen dos áreas de preparación que es donde se realizan las respectivas mezclas de los diferentes ingredientes que necesita el producto.

- a. Línea 1: Bebidas en Aluminio.
- b. Línea 2: Bebidas en Hojalata
- c. Línea 3: Bebidas en tetra pack tamaño 250 ml.
- d. Línea 4: Bebidas en tetra pack tamaño 200 ml.
- e. Línea 5: Bebidas en tetra pack tamaño litro.
- f. Línea 6: Alimentos en empaque flexible.

- g. Línea 7: Alimentos en envase PET y vidrio.
- h. Línea 8: Alimentos en envase flexible pequeño.

F. Prioridad de líneas de producción

Las ocho líneas de producción tienen distinto nivel de importancia para la empresa según la ganancia que reciben de su venta, no necesariamente de la producción sino la constancia y margen de utilidad que se maneja a los productos. A continuación la producción (cajas) anuales tomados del año 2011.

Tabla No. 3

Producción de líneas (cajas)

	Producción anual	Producción semanal	Producción diaria
Línea 1	4,932,502.41	94,855.82	17,246.51
Línea 2	1,118,838.20	21,516.12	3,912.02
Línea 3	1,340,664.05	25,782.00	4,687.64
Línea 4	2,874,745.62	55,283.57	10,051.56
Línea 5	3,445,030.79	66,250.59	12,045.56
Línea 6	193,803.47	3,726.99	677.63
Línea 7	615,532.27	11,837.16	2,152.21
Línea 8	72,864.33	1,401.24	254.77
Totales	14,593,981.14	280,653.48	51,027.91

Por lo tanto el orden de prioridad que la empresa le otorga a cada línea queda de la siguiente manera:

Tabla No. 4

Prioridad de líneas

Orden	Línea
1	Línea 1
2	Línea 5
3	Línea 4
4	Línea 3
5	Línea 2
6	Línea 7
7	Línea 6
8	Línea 8

G. Costo de producción de cada línea

Los costos que a continuación se presentarán son de una caja completa de productos, estos fueron calculados con base al precio de venta del 2011 menos 17% de ganancia.

Tabla No. 5

Costo de producción por línea

Línea	Costo	Venta (17% Margen)
Línea 1	Q72.00	Q84.24
Línea 2	Q60.00	Q70.20
Línea 3	Q48.00	Q56.16
Línea 4	Q48.00	Q56.16
Línea 5	Q48.00	Q56.16
Línea 6	Q54.00	Q63.18
Línea 7	Q120.00	Q140.40
Línea 8	Q30.00	Q35.10

VI. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

El sistema de suministro de agua se estudiará partiendo de desde cuando el agua se encuentra almacenada en la cisterna de agua purificada dado que el problema que se tiene es la caída de presión a razón de que la demanda de agua purificada sobrepasa la capacidad del sistema (300GPM) según se va demandando en las diferentes áreas de preparación así será enviada por medio de una bomba.

A. Caudales instantáneos

El caudal instantáneo fue tomado por medio de tres tomas de datos de campo sobre los galones y tiempo en cada línea de producción, calculando el promedio para cada línea de producción. Teniendo a las líneas 3 y 4 como las que representan el mayor uso de agua purificada con 26.44 % y 26.90% respectivamente. (Ver Tabla No. 6)

Los porcentajes se obtuvieron de al dividir el número de galones utilizados de agua purificada sobre el tiempo que le llevó a la bomba abastecerlos.

$$\text{Caudal Instantáneo Línea 3} = \frac{\text{Volumen promedio (Gal)}}{\text{Tiempo promedio (Min)}} = \frac{656.50 \text{ gal}}{2.34 \text{ min}} = 280 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Tabla No. 6

Caudales instantáneos de cada línea de producción

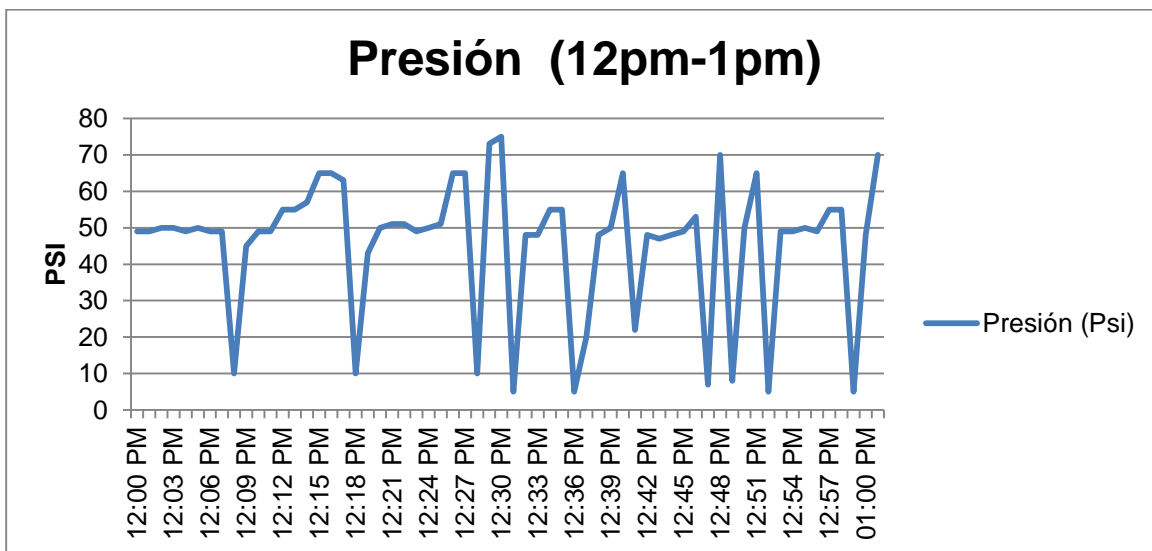
No. Línea	Caudal (Gal/Min)	Consumo
7	99.48	9.39%
1	78.24	7.39%
2	94.25	8.90%
6	38.09	3.60%
8	37.18	3.51%
3	280.16	26.44%
4	285.01	26.90%
5	147.06	13.88%
TOTAL	1,059.47	100.00%

B. Caída de presión

Este problema se analizó tomando las presiones que indicaba el Manómetro en cada minuto de la hora seleccionada (12:00 pm) donde según Gerentes de Área se presentaba con más frecuencia. Se realizó un muestreo durante una semana (5 días) a la misma hora obteniendo aproximadamente 10 caídas de presión en dicho lapso de tiempo. Obteniendo la siguiente gráfica:

Gráfica No. 1

Toma de presiones



También se obtuvieron estos datos de presiones:

Tabla No. 7

Presiones Máxima / Mínima

	Presión
MAX	75 psi
MIN	5 psi
PROMEDIO	46 psi

Con esto se hace notar del problema que sucede cuando varias líneas de producción están funcionando al mismo tiempo ocasionando que según el estudio realizado el mínimo de presión fue 5 psi lo que sin lugar a dudas hace que el proceso de preparación de cada producto tome más tiempo.

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL

El presente problema tiene las características necesarias para ser resuelto por medio del Método de Programación Lineal, dado que posee un recurso limitado (el agua purificada), el enfoque que se le dará a la función objetivo será maximizar el uso de galones en las diferentes líneas de producción buscando conocer la variable (x), el número de tanques, ideal de cada línea para que se evite la caída de presión durante el proceso de preparación. La restricción utilizada es el tiempo (minutos) que necesita cada línea para llenar su respectivo tanque de preparación con agua purificada, la suma total de los tiempos de cada línea debe ser menor o igual a 8.2 minutos que es el promedio de tiempo que en el estudio de presiones el sistema operó sin caída de presión, es decir, aproximadamente cada 8.2 minutos se caía la presión en el sistema.

El análisis se realizó bajo el supuesto que los caudales instantáneos son constantes, los cuales se utilizaron como coeficientes. La Tabla No. 5 muestra la programación de líneas de la primera semana de cada mes del año 2011. Se obtuvo como resulta que en promedio se programa la producción en 6 líneas al día dejando dos libres. Por lo que en 1 hora funcionan 5 líneas al mismo tiempo siendo esto más de la mitad de la cantidad total de líneas que en conjunto sobrepasan la capacidad de presión del sistema. Se tomarán 5 como número total de líneas como referencia para realizar tres combinaciones posibles de las 8 líneas.

Se eligieron las siguientes combinaciones (3) tomando en cuenta que son tres las líneas las que representan mayor consumo de caudal significando que estas no podrían entrar juntas a pedir agua dado que simplemente podrían entrar separadas. En este caso serían la línea 3, 4, 5. Se buscó principalmente que no aparecieran dos de ellas en una misma programación de producción para que existiera el campo de que ingresara otra.

Tabla No. 8

Programación de producción según utilización de línea

Promedio	6
-----------------	---

LINEA	Programación de producción (Basado en primera semana de cada mes)											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Línea 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Línea 2	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
Línea 3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Línea 4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Línea 5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Línea 6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Línea 7	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1
Línea 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	7	6	5	5	6	7	3	6	7	6	6	6

La restricción que se tomará para la resolución del problema será el tiempo que según la toma de presiones transcurre entre cada caída de presión, de estos tiempos se obtuvo el promedio siendo este 8.2 minutos entre cada caída de presión con la condición que fuera mayor a 5 minutos dicho lapso de tiempo.

Tabla No. 9

Promedio de tiempo transcurrido entre caída de presión (> 5 min)

Tabla de presiones (Horario crítico)		
Hora	Presión (Psi)	Tiempo
12:00 p. m.	49	8
12:01 p. m.	49	
12:02 p. m.	50	
12:03 p. m.	50	
12:04 p. m.	49	
12:05 p. m.	50	
12:06 p. m.	49	
12:07 p. m.	49	
12:08 p. m.	10	
12:09 p. m.	45	9
12:10 p. m.	49	
12:11 p. m.	49	
12:12 p. m.	55	
12:13 p. m.	55	
12:14 p. m.	57	
12:15 p. m.	65	
12:16 p. m.	65	
12:17 p. m.	63	
12:18 p. m.	10	
12:19 p. m.	43	8
12:20 p. m.	50	
12:21 p. m.	51	
12:22 p. m.	51	
12:23 p. m.	49	
12:24 p. m.	50	
12:25 p. m.	51	
12:26 p. m.	65	
12:27 p. m.	65	

Continuación de Tabla 9

Tabla de presiones (Horario crítico)		
Hora	Presión (Psi)	Tiempo
12:28 p. m.	10	
12:29 p. m.	73	
12:30 p. m.	75	
12:31 p. m.	5	
12:32 p. m.	48	
12:33 p. m.	48	
12:34 p. m.	55	
12:35 p. m.	55	
12:36 p. m.	5	
12:37 p. m.	20	
12:38 p. m.	48	
12:39 p. m.	50	
12:40 p. m.	65	
12:41 p. m.	22	
12:42 p. m.	48	10
12:43 p. m.	47	
12:44 p. m.	48	
12:45 p. m.	49	
12:46 p. m.	53	
12:47 p. m.	7	
12:48 p. m.	70	
12:49 p. m.	8	
12:50 p. m.	50	
12:51 p. m.	65	
12:52 p. m.	5	
12:53 p. m.	49	
12:54 p. m.	49	6
12:55 p. m.	50	
12:56 p. m.	49	
12:57 p. m.	55	
12:58 p. m.	55	
12:59 p. m.	5	
01:00 p. m.	48	
01:01 p. m.	70	
	8.2	Promedio

A. Uso de Solver

El software utilizado para la resolución del problema fue Microsoft Excel por medio de un instrumento relacionado con la optimización llamado Solver. A continuación se explicará brevemente el procedimiento para utilizar esta herramienta:

1. Paso 1: Se definen las celdas cambiantes, es decir, las celdas que se utilizarán para las variables de la decisión del problema. Aplicado nuestro análisis se refiere a la fila 3. Las celdas cambiantes se les coloca el numero 2 dado que es aconsejable no usar cero para que esto facilite la comprobación que los cálculos están correctos (se puede colocar cualquier otro número).

Figura No. 10
Celdas cambiantes

	Linea 1	Linea 2	Linea 4	Linea 6	Linea 8	Total	
Número de Tanques	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Galones por minuto	78.24	94.25	285.01	38.09	37.18	1,065.55	
	Linea 1	Linea 2	Linea 4	Linea 6	Linea 8	Tiempo de uso continuo	Tiempo Limite
Tiempo (minutos)	9.77	8.87	2.72	3.95	3.98	58.58	<= 8.2

2. Paso 2: Se definen las celdas donde estará la función objetivo que se calcula multiplicando el número de tanques por el número de galones / minuto necesarios de cada línea. Esto en la fila 4.

Figura No. 11

Celdas de función objetivo

	Linea 1	Linea 2	Linea 4	Linea 6	Linea 8	Total	
Número de Tanques	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Galones por minuto	78.24	94.25	285.01	38.09	37.18	1,065.55	
	Linea 1	Linea 2	Linea 4	Linea 6	Linea 8	Tiempo de uso continuo	Tiempo Limite
Tiempo (minutos)	9.77	8.87	2.72	3.95	3.98	58.58	<= 8.2

3. Paso 3: Se establecen las restricciones que tienen los elementos en estudio, que en este caso es el tiempo necesario que requiere cada línea para lograr abastecerse de la cantidad necesaria de agua purificada. Esto se ve en la línea 8.

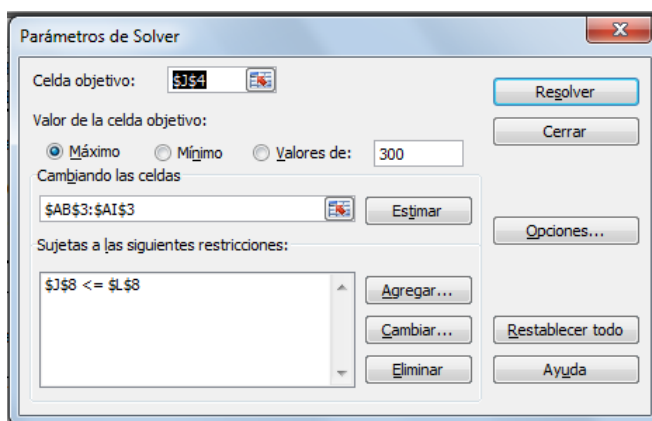
Figura No. 12

Celdas de restricciones

	Linea 1	Linea 2	Linea 4	Linea 6	Linea 8	Total	
Número de Tanques	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Galones por minuto	78.24	94.25	285.01	38.09	37.18	1,065.55	
	Linea 1	Linea 2	Linea 4	Linea 6	Linea 8	Tiempo de uso continuo	Tiempo Limite
Tiempo (minutos)	9.77	8.87	2.72	3.95	3.98	58.58	<= 8.2

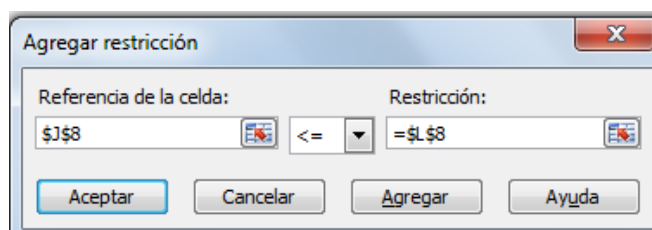
4. Paso 4: En la barra de datos de Excel se debe seleccionar la opción Solver.
 - a. La celda objetivo: se selecciona la ubicación donde se calculará el valor que se desea optimizar. Este es el número de galones utilizados en la J4.
 - b. Valor de la celda Objetivo: Se selecciona máximo porque el objetivo es maximizar el número de galones / minuto a utilizar.
 - c. Celdas cambiantes: son las celdas que Solver puede cambiar para maximizar los galones/min. En el problema, las celdas van de la B3 a I3.

Figura No. 13
Parámetros de Solver



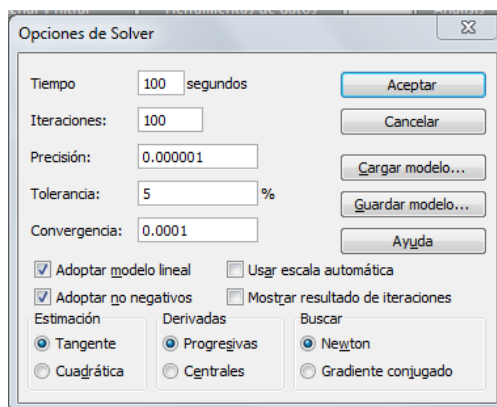
- d. Sujetas a las siguientes restricciones: corresponde al tiempo necesario para abastecer las líneas. Se hace clic en Agregar y se indica que el total utilizado de un recurso (tiempo) es menor o igual al tiempo disponible.

Figura No. 14
Agregar restricciones



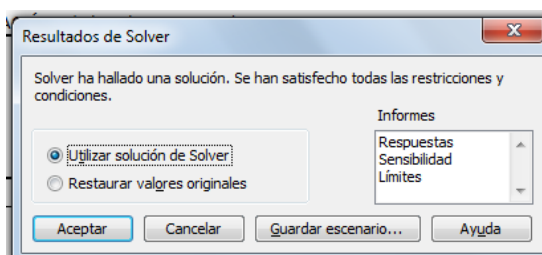
- e. En el botón de Opciones se le indica a Solver qué tipo de problema se desea resolver y cómo se desea solucionar. Solver tiene muchas opciones, pero aquí solo se usarán unas cuantas. A continuación se muestra la pantalla:

Figura No. 15
Opciones de Solver



5. Paso 5: Se hace clic en resolver, luego se presenta un reconocimiento de Resultados de Solver como el que se presenta a continuación:

Figura No. 16
Resultados de Solver



Solver reconoce que se encontró una solución que parece la óptima. Es posible que Solver indique que no existe una solución óptima al problema, indicando esto en el anterior cuadro de diálogo.

B. Número de combinaciones

Dado que existen 8 líneas de las cuales se puede obtener distintas combinaciones se determinó número de combinaciones posibles que se pueden dar en la realidad. Se toma n como el número de líneas que existen en el estudio y como r el número de líneas que trabajarán al mismo tiempo en la siguiente fórmula de número de combinaciones:

$$C_r^n = \frac{n!}{r!(n-r)!} = \frac{8!}{5!(8-5)!} = \frac{40,320}{120(6)} = 56 \text{ combinaciones}$$

Obtenemos 56 combinaciones por lo que únicamente en el presente estudio se realizarán 3 combinaciones. Se eligieron estas dos primeras combinaciones buscando que estuviera no la 3, 4 ó 5 juntas dado su alto consumo de caudal, por lo que se buscó tener programaciones distintas para cada una. Las combinaciones son:

1. Combinación 1

Líneas:

- Línea 1 (A) con caudal instantáneo de 78.24 GPM.
- Línea 2 (B) con caudal instantáneo de 94.25 GPM.
- Línea 4 (D) con caudal instantáneo de 285.01 GPM.
- Línea 6 (F) con caudal instantáneo de 38.09 GPM.
- Línea 8 (H) con caudal instantáneo de 37.18 GPM.

Planteamiento del problema en términos matemáticos.

La función objetivo:

$$\text{Max No. GPM} = 78.24 A + 94.25 B + 285.01 D + 38.09 F + 37.18 H$$

La maximización estará sujeta a las restricciones siguientes:

$$9.77 A + 8.87 B + 2.72 D + 3.95 F + 3.98 H \leq 8.2$$

$$A, B, D, F, H \geq 0$$

Después de introducir los datos en el Solver se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla No. 10

Resultados de la combinación 1 en Solver

COMBINACIÓN 1 (1 bomba = 300GPM)						
	Línea 1	Línea 2	Línea 4	Línea 6	Línea 8	Total
Numero de Tanques	0.00	0.00	3.01	0.00	0.00	3.01
Galones por minuto	78.24	94.25	285.01	38.09	37.18	859.22

	Línea 1	Línea 2	Línea 4	Línea 6	Línea 8	Tiempo de uso continuo	Tiempo o Limite
Tiempo (minutos)	9.77	8.87	2.72	3.95	3.98	8.20	<= 8.2

El total de GPM utilizados en la combinación 1 de líneas cumpliendo con el tiempo de uso continuo de restricción es de 859.22 GPM lo cual nos indica que sobrepasa 65% la capacidad actual del sistema. El número de tanques que se podrían hacer en esa hora sin que la presión se cayera serían 3 de la línea 4.

2. Combinación 2

Líneas:

- Línea 1 (A) con caudal instantáneo de 78.24 GPM.
- Línea 3 (C) con caudal instantáneo de 280.16 GPM.
- Línea 5 (E) con caudal instantáneo de 147.06 GPM.
- Línea 6 (F) con caudal instantáneo de 38.09 GPM.
- Línea 8 (H) con caudal instantáneo de 37.18 GPM.

Planteamiento del problema en términos matemáticos.

La función objetivo:

$$\text{Max No. GPM} = 78.24 A + 280.16 C + 147.06 E + 38.09 F + 37.18 H$$

La maximización estará sujeta a las siguientes restricciones:

$$9.77 A + 2.34 C + 8.23 E + 3.95 F + 3.98 H \leq 8.2$$

$$A, C, E, F, H \geq 0$$

Después de introducir los datos en el Solver se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla No. 11

Resultados de la combinación 2 en Solver

COMBINACIÓN 2 (1 bomba=300GPM)							
	Línea 1	Línea 3	Línea 5	Línea 6	Línea 8	Total	
Número de Tanques	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00	3.50	
Galones por minuto	78.24	280.16	147.06	38.09	37.18	981.74	
	Línea 1	Línea 3	Línea 5	Línea 6	Línea 8	Tiempo de uso continuo	Tiempo Limite
Tiempo	9.77	2.34	8.23	3.95	3.98	8.20	<= 8.2

El total de GPM utilizados en la combinación 2 de líneas cumpliendo con el tiempo de uso continuo de restricción es de 981.74 GPM lo cual nos indica que sobrepasa 69% la capacidad actual del sistema. El número de tanques que se podrían hacer en esa hora sin que la presión se cayera serían 3 de la línea 3.

3. Combinación 3

Líneas:

- Línea 1 (A) con caudal instantáneo de 78.24 GPM.
- Línea 5 (E) con caudal instantáneo de 147.06 GPM.
- Línea 6 (F) con caudal instantáneo de 38.09 GPM.
- Línea 7 (G) con caudal instantáneo de 99.48 GPM.
- Línea 8 (H) con caudal instantáneo de 37.18 GPM.

Planteamiento del problema en términos matemáticos.

La función objetivo:

$$\text{Max No. GPM} = 78.24 A + 147.06 E + 38.09 F + 99.48 G + 37.18 H$$

La maximización estará sujeta a las siguientes restricciones:

$$9.77 A + 8.23 E + 3.95 F + 2.03 G + 3.98 H \leq 8.2$$

$$A, E, F, G, H \geq 0$$

Después de introducir los datos en el Solver se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla No. 12

Resultados de la combinación 3 en Solver

COMBINACIÓN 3 (1 bomba=300 GPM)

	Línea 1	Línea 5	Línea 6	Línea 7	Línea 8	Total		
Número de tanques	0.00	0.00	0.00	4.04	0.00	4.04		
Galones por minuto	78.24	147.06	38.09	99.48	37.18	401.84		
	Línea 1	Línea 5	Línea 6	Línea 7	Línea 8	Tiempo de uso continuo		Tiempo Límite
Tiempo	9.77	8.23	3.95	2.03	3.98	8.20	< =	8.2

El total de GPM utilizados en la combinación 3 de líneas cumpliendo con el tiempo de uso continuo de restricción es de 401.84 GPM lo cual nos indica que sobrepasa 25% la capacidad actual del sistema. El número de tanques que se podrían hacer en esa hora sin que la presión se cayera serían 4 de la línea 7.

Tabla No. 13

Resumen de resultados de tres combinaciones de líneas de producción.

	GPM	No. Tanques Óptimo	Línea	% de Capacidad Actual	% de Capacidad Excedente
Combinación 1	859	3	4	35%	65%
Combinación 2	982	3	3	31%	69%
Combinación 3	402	4	7	75%	25%

En la tabla anterior se observa que en cualquier combinación de líneas la capacidad actual es insuficiente por lo se recomienda adquirir 2 bombas más para resolver el problema de caídas de presión, con esto el nuevo sistema contaría con una capacidad de envío de agua de 900 GPM que tendría como resultado el abastecimiento de agua a los tanques de preparación.

VIII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN UTILIZANDO TEORÍA DE COLAS

La situación analizada anteriormente con desde el punto de vista de Programación Lineal también puede ser analizada con Teoría de Colas partiendo del supuesto que el proceso que se está estudiando es constante y que nuestro servidor abastece de agua a una línea a la vez. En términos generales en nuestro caso de estudio se busca ponderar el costo adicional de brindar un servicio más rápido o suficiente contra el costo inherente de la espera o también de las pérdidas que se provocan gracias a la no producción.

El sistema a considerar no está compuesto por personas sino que por una bomba hidráulica (el servidor) y 8 líneas de producción (cola) que buscan ser atendidas en el momento que se va a preparar un producto. A continuación se presentará cada elemento y característica de nuestro sistema de colas a considerar.

A. Estructura básica

1. **Tamaño de población:** Debido a que la producción es las 24 horas la probabilidad de llegada no cambia notablemente cuando la bomba abastece a un línea de producción (termina el servicio) por lo que se considera la población como infinita.

2. **Distribución de las llegadas:** En este caso de estudio la distribución de las llegadas es Poisson en la cual interesa el número de llegadas dentro de un periodo T . En otras palabras en cierto momento del tiempo la demanda del servicio tiene un pico que es donde se tiene la caída de presión, luego ésta disminuye al final del servicio. Tomando $n = 5$ líneas de producción (este es el promedio de líneas que pueden llegar a trabajar al mismo tiempo según las programaciones evaluadas) y se pondrá como ejemplo $T = 3$ min. La siguiente fórmula muestra la probabilidad de que haya exactamente n llegadas en el tiempo T . La tasa de servicio es de 5.24 min (promedio de tiempo que se necesita para abastecer las diferentes líneas).

$$P_T(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!}$$

$$P_T(5) = \frac{(5.24 \times 3)^5 e^{-5.24 \times 3}}{5!} = \frac{15.72^5 e^{-15.72}}{5!} = \frac{959,981.16 e^{-15.72}}{120} = 7999.84 e^{-15.82} = 1.08e^{-3} = 0.00108 = 0.11 \%$$

Es decir, que hay una probabilidad de 0.11% de que haya cinco solicitudes de agua en un intervalo de 3 minutos.

Tabla No. 14

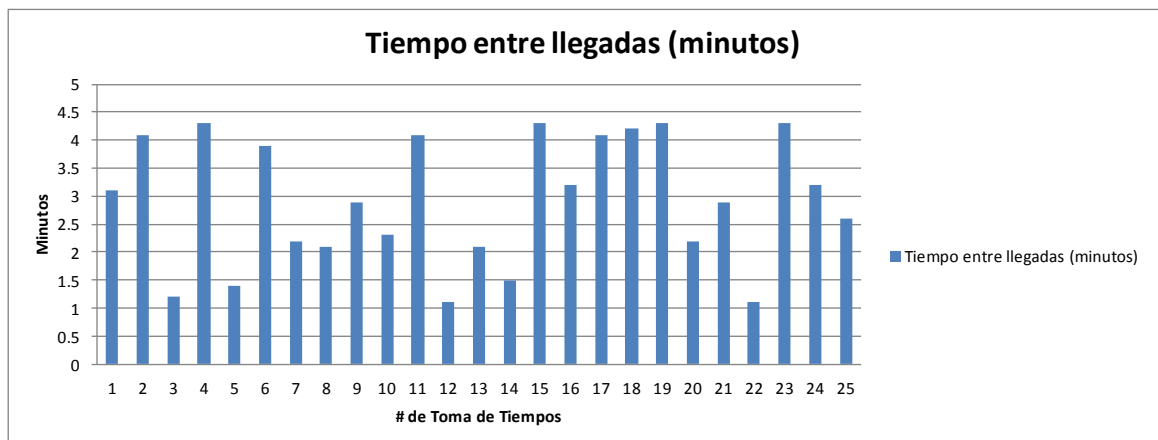
Tiempo promedio entre llegadas (Minutos)

	# Toma de Tiempo																									Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Tiempo entre llegadas (minutos)	3	4	1	4	1	4	2	2	3	2	4	1	2	2	4	3	4	4	4	2	3	1	4	3	3	2.91

La tabla anterior muestra los tiempo tomados entre cada llegada, es decir, el tiempo transcurrido entre cada vez que le llegaba una solicitud de agua purificada, las cuales se grafican a continuación.

Gráfica No. 2

Toma de tiempos entre llegadas



A continuación describe la obtención de la tasa de Llegadas.

$$\text{Tiempo Promedio Entre llegadas} = \frac{1}{\lambda}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1 \text{ línea}}{\text{Tiempo Promedio Entre llegadas}} = \frac{1 \text{ línea}}{2.91 \text{ min}} = 0.34 \frac{\text{líneas}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \\ &= 20.62 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}} \approx 21 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}} \end{aligned}$$

3. Distribución de los servicios: Este es exponencial dado que en un punto del tiempo la bomba hidráulica pierde fuerza ocasionando que la presión se caiga ocasionando que la producción se interfiera.

Tabla No. 15

Tiempo promedio ponderado de servicio (Minutos)

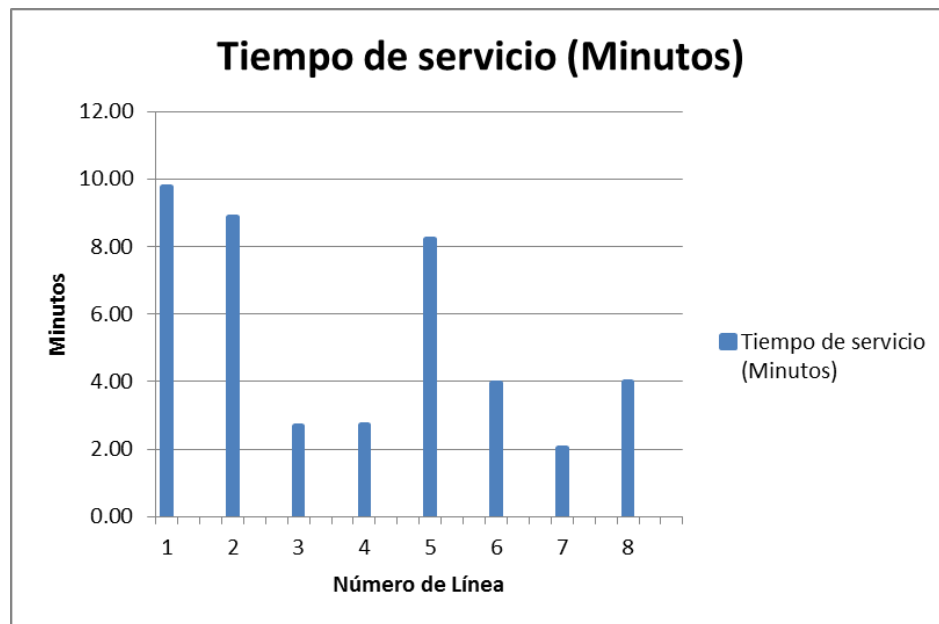
No. Línea	Tiempo de servicio (Minutos)	Nivel de importancia	Valor ponderado	Valor
1	9.77	1	8	78
2	8.87	5	4	35
3	2.67	4	5	13
4	2.72	3	6	16
5	8.23	2	7	58
6	3.95	7	2	8
7	2.03	6	3	6
8	3.98	8	1	4
Total			36	219

Promedio Ponderado	6.08
--------------------	------

La tabla anterior muestra los tiempos que le toma a la bomba abastecer a cada una de las líneas del estudio. Aplicando un promedio ponderado para conocer un valor más preciso en el tiempo que necesita la bomba para servir a cada línea. Se ponderó según la importancia de cada línea que se encuentra en la Tabla No. 4. Se le asignó a la línea más importante el valor más alto (8), a la segunda más importante (7). Así sucesivamente.

Gráfica No. 3

Tiempo de servicio.



A continuación describe la obtención de la tasa de servicio.

$$\text{Tiempo Promedio de servicio} = \frac{1}{\mu}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1 \text{ línea}}{\text{Tiempo Promedio de servicio}} = \frac{1 \text{ línea}}{6.08 \text{ min}} = 0.16 \frac{\text{líneas}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \\ &= 9.87 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}} \approx 10 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}} \end{aligned}$$

B. Característica de la cola

En este punto lo que se busca definir es que si la línea de espera es limitada o ilimitada, siendo en nuestro estudio limitada dado que solo existen 8 líneas de producción, las cuales esperan su respectivo turno.

1. **Número de líneas:** En el estudio existe una única línea de espera dado que la tubería instalada está destinada a que solo tiene una solamente por una vía se puede obtener agua purificada de la bomba.

2. **Disciplina de la fila:** Se refiere al orden en que se brindará el servicio a los clientes en este caso las líneas de producción que esperan en la fila, en nuestro caso se realiza de la manera común que indica que el primero en entrar, el primero en salir (PEPS).

3. **Mecanismo de servicio:** El número de servidores en el estudio es 1, en este caso la bomba que es quien abastece las líneas que solicitan agua purificada para la preparación de producto.

% Utilización del Sistema:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{21}{10} = 2.10 \times 100 = 210\%$$

Este valor nos indica que el sistema no tiene la capacidad para abastecer a todas las líneas dado que se está sobre utilizando el sistema en un 91%. Esto confirma la necesidad de invertir en más bombas para aumentar la capacidad del sistema. Apoyado en los resultados del estudio de Programación Lineal se aumentará la tasa de servicio dos veces más a la actual logrando así obtener:

$$\mu_{**} = 10 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}} \times 2 \text{ bombas hidráulicas} = 20 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}}$$

$$\mu_{***} = 10 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}} \times 3 \text{ bombas hidráulicas} = 30 \frac{\text{líneas}}{\text{hora}}$$

Nuevos % de Utilización:

$$\rho_{**} = \frac{\lambda}{\mu_{**}} = \frac{21}{20} = 1.05 \times 100 = 105\%$$

$$\rho_{***} = \frac{\lambda}{\mu_{***}} = \frac{21}{30} = 0.70 \times 100 = 70\%$$

Número promedio en la línea de espera:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{21^2}{10(10 - 21)} = -4.01$$

$$L_{q**} = \frac{\lambda^2}{\mu_{**}(\mu_{**} - \lambda)} = \frac{21^2}{20(20 - 21)} = -22.05$$

$$L_{q***} = \frac{\lambda^2}{\mu_{***}(\mu_{***} - \lambda)} = \frac{21^2}{30(30 - 21)} = 1.63 \approx 2 \text{ línea}$$

El signo negativo de la respuesta muestra que la capacidad de la bomba es excedida en comparación a la tasa de llegadas. Por lo que es necesario ampliar el sistema a más bombas.

Número promedio dentro del sistema:

$$L_s = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} = \frac{21}{(10 - 21)} = -1.91$$

$$L_{s**} = \frac{\lambda}{(\mu_{**} - \lambda)} = \frac{21}{(20 - 21)} = -21 \text{ líneas}$$

$$L_{s***} = \frac{\lambda}{(\mu_{***} - \lambda)} = \frac{21}{(30 - 21)} = 2.33 \approx 2 \text{ líneas}$$

El signo negativo de la respuesta muestra que la capacidad de la bomba es excedida en comparación a la tasa de llegadas. Por lo que es necesario ampliar el sistema a más bombas.

Tiempo promedio de la espera:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{-4.01}{21} = -0.19 \text{ horas, } o - 11 \text{ minutos}$$

$$W_{q^{**}} = \frac{L_{q^{**}}}{\lambda} = \frac{-22.05}{21} = -1.05 \text{ horas, } o - 63 \text{ minutos}$$

$$W_{q^{***}} = \frac{L_{q^{***}}}{\lambda} = \frac{1.63}{21} = 0.08 \text{ horas, } o 4.66 \text{ minutos}$$

Tiempo promedio de espera en el sistema:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{-1.91}{21} = -0.10 \text{ horas, } o - 6 \text{ minutos}$$

$$W_{s^{**}} = \frac{L_{s^{**}}}{\lambda} = \frac{-21}{21} = -1 \text{ horas, } o - 60 \text{ minutos}$$

$$W_{s^{***}} = \frac{L_{s^{***}}}{\lambda} = \frac{2.33}{21} = 0.11 \text{ horas, } o 6.55 \text{ minutos}$$

A continuación se detallará el resumen de los resultados que se tiene con la implementación de las una a dos bombas más en el sistema.

Tabla No. 16.

Resumen de resultados con 1, 2 y 3 bombas

	1 Bomba	2 Bombas	3 Bombas
Tasa de servicio	10 Líneas/ hora	20 Líneas/ hora	30 Líneas / hora
% de utilización	210%	105%	70%
# Promedio en línea de espera	-4 Líneas	-22 Líneas	2 Línea
# Promedio dentro del sistema	-1.91 Líneas	-21 Líneas	2 Líneas
Tiempo promedio de la espera	-11 minutos	-63 minutos	4.33 minutos
Tiempo promedio de espera en el sistema	-6 minutos	-60 minutos	6.55 minutos

Los resultados anteriores muestran claramente los beneficios que traería la inversión de dos bombas más para el sistema. Muestra claramente que utilizando el sistema en un 70% es donde tanto el tiempo promedio de espera y el número promedio de líneas en espera es menor evitando así que los costos de no producción se eleven.

Comparación de escenarios en términos de dinero de cuanto se deja de producir tomando como referencia el precio de venta.

Se tomará en cuenta que en la empresa se labora 20 horas al día sin tomar en cuenta la hora de almuerzo de cada jornada según el siguiente cuadro:

Tabla No. 17

Horarios

	Horario	No. Horas
Jornada 1	7:00am a 16:00 pm	8 horas
Jornada 2	16:00pm a 23:00 pm	6 horas
Jornada 3	23:00 a 6:00 pm	6 horas
Total	20 horas	20 horas

A continuación se presenta los costos y precios de ventas de las líneas.

Tabla No. 18

Costos y precio de ventas

Línea	Costo	Venta (17% Margen)
Línea 1	Q72.00	Q84.24
Línea 2	Q60.00	Q70.20
Línea 3	Q48.00	Q56.16
Línea 4	Q48.00	Q56.16
Línea 5	Q48.00	Q56.16
Línea 6	Q54.00	Q63.18
Línea 7	Q120.00	Q140.40
Línea 8	Q30.00	Q35.10

A continuación están los distintos escenarios que muestran a cuánto asciende la cantidad no producida por sus respectivos retrasos.

Tabla No. 19

Costos de no producción con 1 bomba en el sistema

Línea	Producción diaria	Producción /Hora	Tiempo promedio de espera 1 Bomba (Horas)	Producción no realizada por espera	Venta (17% Margen)	Cantidad en (Q) no producida
Línea 1	17,247	862	0.19	164	Q84.24	Q13,802.04
Línea 2	3,912	196	0.19	37	Q70.20	Q2,608.93
Línea 3	4,688	234	0.19	45	Q56.16	Q2,500.95
Línea 4	10,052	503	0.19	95	Q56.16	Q5,362.71
Línea 5	12,046	602	0.19	114	Q56.16	Q6,426.55
Línea 6	678	34	0.19	6	Q63.18	Q406.72
Línea 7	2,152	108	0.19	20	Q140.40	Q2,870.62
Línea 8	255	13	0.19	2	Q35.10	Q84.95
Total						Q34,063.46

Tabla No. 20

Costos de no producción con 2 bombas en el sistema

Línea	Producción diaria	Producción /Hora	Tiempo promedio de espera 2 bomba (Horas)	Producción no realizada por espera	Venta (17% Margen)	Cantidad en (Q) no producida
Línea 1	17,247	862	1.05	905	Q84.24	Q76,274.42
Línea 2	3,912	196	1.05	205	Q70.20	Q14,417.76
Línea 3	4,688	234	1.05	246	Q56.16	Q13,821.03
Línea 4	10,052	503	1.05	528	Q56.16	Q29,636.01
Línea 5	12,046	602	1.05	632	Q56.16	Q35,515.14
Línea 6	678	34	1.05	36	Q63.18	Q2,247.68
Línea 7	2,152	108	1.05	113	Q140.40	Q15,863.95
Línea 8	255	13	1.05	13	Q35.10	Q469.48
Total						Q188,245.46

Tabla No. 21

Costos de no producción con 3 bombas en el sistema

Línea	Producción diaria	Producción /Hora	Tiempo promedio de espera 3 Bomba (Horas)	Producción no realizada por espera	Venta (17% Margen)	Cantidad en (Q) no producida
Línea 1	17,247	862	0.08	69	Q84.24	Q5,811.38
Línea 2	3,912	196	0.08	16	Q70.20	Q1,098.50
Línea 3	4,688	234	0.08	19	Q56.16	Q1,053.03
Línea 4	10,052	503	0.08	40	Q56.16	Q2,257.98
Línea 5	12,046	602	0.08	48	Q56.16	Q2,705.92
Línea 6	678	34	0.08	3	Q63.18	Q171.25
Línea 7	2,152	108	0.08	9	Q140.40	Q1,208.68
Línea 8	255	13	0.08	1	Q35.10	Q35.77
Total						Q14,342.51

Nuevamente se puede observar que donde se incurre en menos costos de no producción esto es en el escenario 3 donde la cantidad asciende a Q. 14,342.51.

Partiendo de que actualmente se tienen costos de no producción por un Q. 34,063.46 pero al instalar la 2 bombas adicionales se estaría disminuyendo a Q. 14,342.51 lo cual significa que se disminuirían los costos en un 42 %.

$$\% \text{ de Disminución de Costos de No Producción} = \frac{Q. 14,342.51}{Q. 34,063.46} = 0.42 * 100$$

$$= 42\%$$

IX. ANÁLISIS FINANCIERO

Después de determinar que es necesario el uso de tres bombas para lograr abastecer la demanda de por medio de Programación Lineal y luego verificar que es más conveniente invertir en dos bombas y tener un 70 % de utilización del sistema que tener una bomba más y tener un 105% de utilización debido a la larga espera que tendría que hacer cada línea para ser abastecida.

A. Análisis de Valor Actual Neto

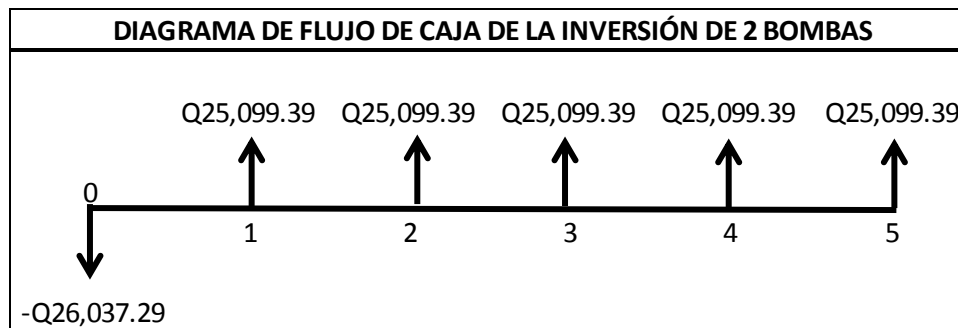
A continuación por medio de la técnica de evaluación económica de inversiones Valor Actual Neto (VAN) se determinará si es conveniente o no realizar la inversión. Las indicaciones de gerencia fueron que el nivel de rendimiento de la inversión debe de ser mayor al 25% dado el margen de rendimiento que se maneja en la empresa 20% - 30%.

El análisis se realizará tomando en cuenta 5 periodos. La inversión inicial asciende a Q 5,000.00 de instalación más el costo de dos bombas de iguales características a Q 5,494.10 cada una. Los costos de importación son Q 10,049.10. El total de la inversión es de Q 15, 988.19.

El ingreso a recibir a lo largo de los 5 años sería la diferencia de los costos de no producción que se tienen con una bomba y con tres bombas dado que esto ya no sería una perdida sino una ganancia. Es decir Q25, 099.39.

Figura No. 17

Diagrama de flujo de caja de la inversión de 2 bombas



Los cálculos se detallan a continuación:

$$\begin{aligned}
 VAN &= -Q26,037.29 + \frac{Q.25,099.39}{(1+.25)^1} + \frac{Q.25,099.39}{(1+.25)^2} + \frac{Q.25,099.39}{(1+.25)^3} + \frac{Q.25,099.39}{(1+.25)^4} \\
 &\quad + \frac{Q.25,099.39}{(1+.25)^5} \\
 &= -Q26,037.29 + Q.20,079.52 + Q.16,063.61 + Q.12,850.89 \\
 &\quad + Q.10,280.71 + Q.8,224.57 = Q.41,462.01
 \end{aligned}$$

Tabla No. 22

Total de flujo de caja de la inversión

VALOR ACTUAL NETO	
Inversión	-Q26,037.29
Flujo 1	Q20,079.52
Flujo 2	Q16,063.61
Flujo 3	Q12,850.89
Flujo 4	Q10,280.71
Flujo 5	Q8,224.57
VALOR ACTUAL NETO	Q41,462.01

Esto significa que $VAN > 0$, por lo que la inversión producirá ganancias encima de la rentabilidad exigida. Si en dado caso $VAN < 0$, esto indicaría que la inversión produciría ganancias por debajo de la rentabilidad existida.

X. CONCLUSIONES

- Por medio de la propuesta de instalar dos bombas extra a la que existe actualmente en el sistema, fundamentado por los resultados obtenidos de Programación Lineal, Teoría de Colas y el Valor Actual Neto el sistema tendrá una optimización en la utilización de recursos: tiempo y dinero.
- Se confirmó que el sistema está siendo utilizado en un 210%, es decir, 110% más su capacidad actual lo cual efectivamente resulta en una caída de presión en las horas pico.
- Con la instalación de una bomba más en el sistema se logrará alcanzar un 105% de utilización. Opción que no es la óptima dado que aún se está sobre utilizando el sistema.
- Las tres líneas a las que se tomarán en cuenta en primer lugar según resultados del análisis de programación Lineal y el nivel de prioridad serán la 4, 3 y 7. Esto con el fin de no sobrepasar la capacidad del sistema.
- Actualmente se tiene un impacto monetario significativo por la espera que hace cada línea cuando se da una caída de presión, con una bomba el monto asciende a Q 34, 063.46. Por lo que agregando dos bombas más al sistema este número se reduciría en un mínimo de 42 %.
- Las ecuaciones y restricciones matemáticas obtenidas aplicando Programación Lineal no pueden ser ingresadas al sistema automático dado que la actualización del equipo recibe otro tipo de instrucción basado en porcentaje de utilización de agua y no en ecuaciones matemáticas. Sin embargo, las ecuaciones obtenidas son de utilidad para conocer que efectivamente la capacidad actualmente instalada es sobrepasada por la demanda.

- Se plantearon dos distintos escenarios con dos y con tres bombas de agua lo cual evidencia que es necesario realizar la inversión, amparada por el análisis de Valor Actual Neto que indica que la inversión según el valor actual de los ingresos futuros es rentable el día de hoy con Q41, 462. 01.

XI. RECOMENDACIONES

- Los cálculos realizados demuestran que es necesario aumentar la capacidad del sistema actual por medio una inversión de comprar dos bombas adicionales con lo que la capacidad de utilización quedaría en un 70% permitiendo futuros crecimientos en la planta.
- La inversión a realizar de acuerdo al análisis financiero nos demuestra que el proyecto es viable económicamente por lo que la ejecución del mismo se hace necesaria a corto plazo.

XII. BIBLIOGRAFÍA

Chase, Richard, Jacobs R., Aquilano N. 2009. *Administración de Operaciones Producción y cadena de Suministros*. Duodécima Edición. China : McGraw-Hill, 2009. p. 776 págs.

Crowe C., Elger D., Roberson John. 2007. *Mecánica de Fluidos*. Octava edición. México : Grupo Editorial Patria, 2007. p. 711 págs.

Hillier F., Lieberman G. 2006. *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Octava Edición. México : McGraw-Hill Interamericana, 2006. p. 736 págs.

Jiménez F., Espinoza C. y Fonseca L. *Ingeniería Económica*. Costa Rica : Editorial Tecnológica de CR.

Taha, Hamdy. 2004. *Investigación de Operaciones*. Séptima Edición. México : Pearson Educación, 2004. p. 848 págs.

Publicación del 24 de Noviembre, Página Web:

<http://www.doschivos.com/display.asp?ID=720&f=13547>

Automatización Industrial, Publicación del 15 de agosto de 2011. Página Web:

<http://bombascentrifugas.info-tecnica.org/>

XIII. ANEXOS

1. Caudales instantáneos

Caudales instantáneos reales								
Tasa de servicio								
No. Línea	Toma	Volumen (kg)	Vol (Litros)	Vol (gal)	Tiempo (min)	Tiempo prom	Caudal (Gal/Min)	Consumo
7	1	748.00	764.33	201.94	2.00	2.03	99.48	9.39%
	2	780.00			2.17			
	3	765.00			1.92			
1	1	2,893.76	2,892.46	764.19	9.92	9.77	78.24	7.39%
	2	2,891.79			10.38			
	3	2,891.83			9.00			
2	1	3,163.00	3,165.33	836.28	8.98	8.87	94.25	8.90%
	2	3,175.00			8.79			
	3	3,158.00			8.85			
6	1	570.00	569.00	150.33	4.00	3.95	38.09	3.60%
	2	565.00			3.90			
	3	572.00			3.94			
8	1	571.00	569.67	148.11	4.05	3.98	37.18	3.51%
	2	573.00			4.10			
	3	565.00			3.80			
3	1	2,765.00	2,525.00	656.50	2.38	2.34	280.16	26.44%
	2	2,055.00			2.25			
	3	2,755.00			2.40			
4	1	2,905.00	2,978.00	774.28	2.30	2.72	285.01	26.90%
	2	3,179.00			2.55			
	3	2,850.00			3.30			
5	1	4,643.70	4,653.00	1,209.78	8.17	8.23	147.06	13.88%
	2	4,692.30			8.30			
	3	4,623.00			8.21			
				4,741.41		41.89	1,059.47	100.00%

2. Cotización de envío desde España – Guatemala



Guatemala, 15 de enero de 2013

Señores:
Attn: Sr. Manuel Cetino
 Presente

Estimado Sr. Cetino,

A continuación encontrará nuestras tarifas para su importación aérea desde Barcelona a Guatemala

Origen: Barcelona
Destino: Guatemala, Terminal Aérea
Incoterm: FOB
Peso: 400 libras
Mercadería: Carga General

BARCELONA - GUATEMALA
 AEREO

FLETE AÉREO

Flete aéreo desde Barcelona a Guatemala	\$ 1,240.00
Guía aérea / documentación	\$ 50.00

**TIEMPO DE TRÁNSITO DE 5 DIAS APROXIMADAMENTE
 AEROPUERTO - AEROPUERTO**

12 Calle 1-25 Zona 10
 Edificio Géminis 10, Torre Norte, Oficina 1701
 Guatemala, Guatemala
 Tels. (502) 2376-1111

OFICINAS: AMERICAS EUROPA ASIA AFRICA OCEANIA



Observaciones:

- **Tarifa no incluye IVA.**
- **Tarifas cambian si el peso o volumen varían**
- Tarifas válidas hasta el 31/01/2013
- No aplica para carga peligrosa
- No incluye revisiones
- Tiempo de tránsito aproximado y no es garantizado

Contacto:

RDC GLOBAL LOGISTICS, SA
Tel: (502) 2376-1111 / 118
Michelle Estrada
michelle.estrada@rdccentroamerica.com

12 Calle 1-25 Zona 10
Edificio Géminis 10, Torre Norte, Oficina 1701
Guatemala, Guatemala
Tels. (502) 2376-1111

OFICINAS: AMERICAS EUROPA ASIA AFRICA OCEANIA

3. Cotización de la bomba Centrífuga (EB 20 064)


TARIFA DE PRECIOS
I.V.A. NO INCLUIDO. CONSULTE POSIBLES ACTUALIZACIONES

10 CENTRÍFUGA MULTICELULAR “Serie MS”



Código	Artículo	CV	Int (A)	Tensión (V)	€
	<ul style="list-style-type: none"> Cuerpo bomba y tapa cierre fabricado en acero inox AISI-304 y eje inox AISI-420 Protector termoamperimétrico incorporado Máxima aspiración 7 m.c.a Adecuado para grupos de presión hidroneumáticos, riegos de jardinería, transvases, chalets, viviendas 				
EB 10 002	MS 07	0,7	3,2	1x230	236,08
EB 10 004	MS 08	0,85	3,9	1x230	263,28

Tipo	Caudal m³/h									DNA	DNI
	0	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8		
	Altura m.c.a										
MS-07	38	35	32	29	25	20	15	10		1"	1"
MS-08	50	47	42	38	35	29	22	15	10		

20 CENTRÍFUGAS EN ACERO INOX “Serie ULTRA”



Código	Artículo	A 1x230V	A 3x400V	CV	€
	<ul style="list-style-type: none"> Presión máx. admisible: 10 bar. Máx. aspiración 7 m.c.a. Cuerpo de bomba en acero AISI-304 (cromo-níquel) Adecuado para aguas limpias, fluidos no agresivos, presurización de viviendas, riego, servicios auxiliares de industria 				
EB 20 002	U3-100/5	4,8	-	1	292,76
EB 20 004	U3-120/6	5,6	-	1,2	354,17
EB 20 006	U3-150/7	7,1	-	1,5	481,52
EB 20 042	U3-100/5T	-	1,9	1	292,76
EB 20 044	U3-120/6T	-	2,6	1,2	346,32
EB 20 046	U3-150/7T	-	2,9	1,5	432,64
EB 20 062	U5-180/6T	-	3	1,8	427,65
EB 20 064	U5-200/7T	-	3,4	2	540,80
EB 20 082	U9-200/4	8,4	-	2	414,96
EB 20 084	U9-250/5	10,6	-	2,5	445,12
EB 20 092	U7-300/6T	-	5	3	426,82
EB 20 094	U9-200/4T	-	3,3	2	393,12
EB 20 096	U9-250/5T	-	4,3	2,5	423,28

Tipo		Caudal m³/h											DNA	DNI	
1-	3-	0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4				
		Altura m.c.a.													
U3-100/5	U3-100/5T	52	49	45	41	36	25	14						1"	1"
U3-120/6	U3-120/6T	62	59	54	50	44	32	18							
U3-150/7	U3-150/7T	75	71	67	61	55	41	25							
U5-180/6	U5-180/6T	69	-	66	64,5	62	56	48	40	30	12				
U5-200/7	U5-200/7T	80	-	75	74	71	64	56	46	33,4	12	1 1/4"	1"		

Tipo		Caudal m³/h											DNA	DNI
1-	3-	0	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	7,2	8,4			
		Altura m.c.a.												
-	U7-300/6T	74	71	68	64	58,4	51	42	27				1"	1"
	U9-200/4	47	44	43	42	40	38	36	32,4	28,4	13			
	U9-250/5	59	56	55	52,4	50,4	48	45	40,5	35,5	16			

XIV. GLOSARIO

1. Programación Lineal (PL): Trata de la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que alcance mejor la meta propuesta, entre las alternativas de solución.
2. Modelo Matemático: Representa un conjunto de relaciones entre las variables, los recursos, las restricciones y la función objetivo.
3. Coeficiente de Llegada (λ): Flujo de clientes que entran cuando hay n clientes en el sistema.
4. Coeficiente de Servicio (μ): Capacidad del servidor cuando hay n clientes en el sistema.
5. Gpm: Galones por minuto (de flujo de fluido)
6. hp: Caballos de fuerza.
7. Tubo: Una tubería cuyo tamaño se clasifica de acuerdo con su diámetro externo.
8. Tubería: Un tubo o manguera que se usa para conducir un fluido.
9. Viscosidad Medida de la resistencia de un fluido a fluir.
10. Volumen: Cantidad de fluido por unidad de tiempo. Generalmente expresado en litros por minuto (l/min) o galones americanos por minuto (gal EE.UU/min).
11. PSI: Se denomina PSI (del inglés Pounds per Square Inch) a una unidad de presión cuyo valor equivale a 1 libra por pulgada cuadrada.
12. PET: El Tereftalato de Polietileno (más conocido por sus siglas en inglés PET, Polyethylene Terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en la industria agroalimentaria y en la textil. Químicamente el PET es un polímero y pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.