



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR PROGRESO

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

ASIGNATURA

Simulación.

DOCENTE

Dr. Holzen Atocha Martínez García

TRABAJO

Reporte de aplicación calculadora de línea de espera: Colas.

PRESENTA

Ana Lucia Pech Pérez 04190020

Mariana Pérez Ucan 04190022

Henry Efraín Torres Esquivel 04190031

Manuel Ricardo Uc Nicoli 04190032

Progreso Yucatán, 10 de junio de 2021.

Índice.

Objetivo de la práctica.	3
Introducción.....	4
Marco teórico.....	4
Material y equipo.....	10
Procedimiento.....	11
Resultados.....	11
Conclusión.....	23
Referencias bibliográficas.	24

Objetivo de la práctica.

Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimiza el coste global del mismo. Evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el coste total del mismo. Establecer un balance equilibrado (“óptimo”) entre las consideraciones cuantitativas de costes y las cualitativas de servicio. Hay que prestar atención al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola: la “paciencia” de los clientes depende del tipo de servicio específico considerado y eso puede hacer que un cliente “abandone” el sistema.

Introducción.

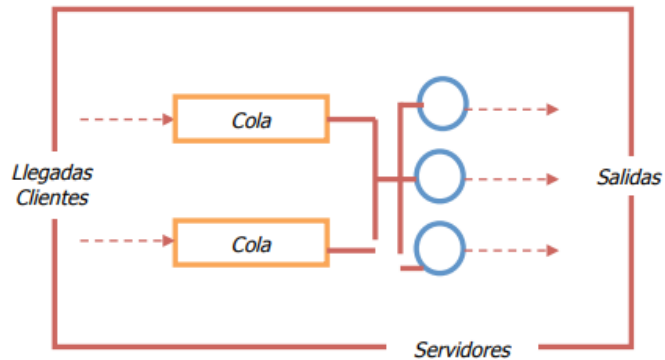
En muchas ocasiones en la vida real, un fenómeno muy común es la formación de colas o líneas de espera. Esto suele ocurrir cuando la demanda real de un servicio es superior a la capacidad que existe para dar dicho servicio. Ejemplos reales de esa situación son: los cruces de dos vías de circulación, los semáforos, el peaje de una autopista, los cajeros automáticos, la atención a clientes en un establecimiento comercial, la avería de electrodomésticos u otro tipo de aparatos que deben ser reparados por un servicio técnico, etc.

Marco teórico.

La **teoría de colas** es el estudio del comportamiento de líneas de espera. Para Branson (1993, 262) “un sistema de líneas de espera es un conjunto de clientes, un conjunto de servidores y un orden en el cual los clientes llegan y son atendidos”. Las líneas de espera se presentan cuando los clientes llegan a solicitar un servicio a un servidor, el cual tiene capacidad limitada de atención.

Así mismo, la línea de espera se forma cuando el cliente llega y el servidor no está disponible y el cliente decide esperar. Una cola es una línea de espera. Los sistemas de colas son modelos de sistemas que proporcionan servicio. Como modelo, pueden representar cualquier sistema en donde los trabajos o clientes llegan buscando un servicio de algún tipo y salen después de que dicho servicio haya sido atendido. Cuando se forma una cola, se habla de clientes, de una línea de espera o cola y de unos servidores. Por ejemplo, cuando las personas realizan mercado en un almacén de cadena en el que posiblemente varios clientes asisten a la misma hora, éstas deberán esperar en cola para pagar en la caja si los servidores o cajeros están ocupados atendiendo a otros clientes.

Puede haber dos **reacciones en la cola**: la primera, los clientes pueden esperar temporalmente porque observan que el servicio es adecuado y los clientes que llegaron con anterioridad están siendo atendidos o, segundo, la cola tiende a ser explosiva, se hace cada vez más larga a medida que transcurre el tiempo y aunque unos pueden esperar, otros deciden abandonarla.



La teoría de colas implica dos aspectos importantes, el primero; la selección del modelo adecuado con el fin de determinar las medidas de desempeño del sistema, y la segunda, el desarrollo de un modelo de decisión basado en las medidas de desempeño del sistema, con el fin de diseñar la instalación de servicio.

La selección del modelo para analizar una línea de espera, está determinado, principalmente, por las distribuciones de los tiempos de llegada y los tiempos de servicio. En la práctica, estas distribuciones se determinan observando las líneas de espera durante su operación y registrando los datos correspondientes. Un sistema se puede observar cuando está operando normalmente, cuando sus partes están funcionando y teniendo en cuenta los periodos de mayor actividad para registrar momentos de congestión en donde hay mayores tasas de llegadas, es decir, mayor número de clientes por unidad de tiempo o también se puede observar cuando el sistema está en estado estable.

Los datos se pueden recolectar midiendo el tiempo entre llegadas o salidas sucesivas para determinar los tiempos entre arribos o de servicio, con el fin de analizar las distribuciones de los tiempos entre arribos o servicios. También se puede contar el número de llegadas o salidas durante una unidad de tiempo seleccionada, para analizar las distribuciones del número de llegadas o salidas. La información se debe resumir de manera clara y organizada, empleando herramientas como

histogramas de frecuencias, gráfica de la distribución empírica o prueba de bondad de ajuste. Existen dos clases básicas de tiempo entre llegadas:

- **Determinístico:** En el cual clientes sucesivos llegan en un mismo intervalo de tiempo, fijo y conocido.
- **Probabilístico:** En el cual el tiempo entre llegadas sucesivas es incierto y variable. Los tiempos entre llegadas probabilísticos se describen mediante una distribución de probabilidad. Por lo general se emplea la distribución exponencial, ya que se ajusta a las características del sistema. La función de densidad para una distribución exponencial depende del parámetro λ (letra griega lambda), y está dada por:

$$f(t) = (1/\lambda) e^{-\lambda t}$$

En donde λ (lambda) es el número promedio de llegadas en una unidad de tiempo. Con una cantidad T , de tiempo, se puede hacer uso de la función de densidad para calcular la probabilidad de que el siguiente cliente llegue dentro de las siguientes T unidades a partir de la llegada anterior, de la siguiente forma: $P(\text{tiempo entre llegadas} \leq T) = 1 - e^{-\lambda t}$.

Tipos de modelos de cola.

Simple (M/M/1):

Este modelo es de un canal, una fase, con un origen de llegada ilimitado, una distribución de llegada Poisson, con una sola cola y una disciplina FIFO (FCFS), con una distribución de servicio exponencial y el ritmo de servicio, por lo general, es mayor al ritmo de llegada. Ecuaciones a emplear:

Número medio de unidades en cola: $L_s = \frac{\rho}{\mu - \rho}$

Tiempo medio en el sistema: $W_s = \frac{1}{\mu - \rho}$

Número medio de unidades en cola: $L_q = \frac{\rho^2}{\mu(\mu - \rho)}$

Tiempo medio en cola: $W_q = \frac{\rho}{\mu(\mu - \rho)}$

Utilización del sistema: $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$

Probabilidad de que el sistema esté desocupado: $P_0 = 1 - \rho = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$

Probabilidad de que haya más de k unidades en el sistema: $P_{n > k} = \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^{k+1}$

donde n es el número de unidades en el sistema.

M/G/1: Tiempos entre llegadas exponenciales, tiempos de servicio general y un sólo servidor, se cuenta con una población infinita y la posibilidad de infinitas filas. Ecuaciones a emplear:

$$L_s = L_q + \frac{\rho}{\mu}$$

$$L_q = \frac{\sigma^2 + \rho^2}{2(1 - \rho)}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\rho}$$

$$P_0 = 1 - \rho$$

$$P_w = \rho$$

$$\rho < 1$$

M/D/1: Es un sistema de un canal y de una fase. Con origen de llegada ilimitado, con una distribución de llegada Poisson, con una única cola ilimitada, con una disciplina de cola FIFO (FCFS), con una distribución de servicio exponencial y un ritmo de servicio mayor al ritmo de llegada.

Ecuaciones a emplear:

Número medio de personas o unidades esperando para recibir un servicio:

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

Tiempo medio que una persona o unidad permanece en cola:

$$W_q = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$$

Número medio de personas o unidades en el sistema:

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Tiempo medio que una unidad permanece en el sistema:

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Material y equipo.

- Computadora portátil.
- Almacenamiento de 1.7 Tb tipo HDD a 7200 RPM.
- Memoria RAM de 8000 Mb.
- Batería al 80%
- Procesador Core i7-8550U CPU @1.80 GHz x 2 2.00 GHz x 2.
- Windows 10 Pro 19H4
- Microsoft Office – Word 2019.
- Microsoft Visual Studio Enterprise 2019.
- GIT HUB.
- Lenguaje de programación en C#.

Procedimiento.

En el proceso de crear nuestro proyecto final, utilizaremos programas de editor de códigos como lo es visual studio, que, gracias a su entorno completo de herramientas, creamos nuestra primera ventana, donde se encuentra una barra de progreso, simulando la carga del mismo. Por otro lado, tenemos todos los nombres de los que integran este trabajo de la calculadora de colas.

CALCULADORA DE COLAS

INTEGRANTES:
Ana Lucia Pech Pérez
Mariana Pérez Ucan
Henry Efrain Torres Esquivel
Manuel Ricardo Uc Nicoli

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$
$$L_s = \lambda W_s$$
$$L_q = \lambda W_q$$
$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

CARGANDO INGRESO A LA APLICACIÓN...

Donde consideramos en nuestro código el tiempo suficiente como para poder leer los nombres y de lo que realiza nuestro programa. Después de terminar el timer, despliega la siguiente ventana, que es la principal donde estarán nuestro menú para que el usuario final pueda ingresar a la calculadora que sea necesario a su situación.

```

1 referencia
private void timerSplash_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    panel1.Width += 3;

    if (panel1.Width >= 599)
    {
        timerSplash.Stop();
        frmMPrincipal fMPPrincipal = new frmMPrincipal();
        fMPPrincipal.Show();
        this.Hide();
    }
}

```

Una vez termino el timer despliega la siguiente ventana:

Bienvenido al programa: Calculadora de colas.

Elija dando clic al modelo que desee resolver:

Fórmulas Generales	Modelo M - M - 1	Modelo M - G - 1			
$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $L_s = \lambda W_s$ $L_q = \lambda W_q$ $L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$	$L_s = \frac{\lambda}{\lambda - \mu}$ $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$ $W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$ $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$ $P_0 = (1 - \rho)\rho^n$ $P(L_q > n) = \rho^{n+1}$ $P(W_s > t) = e^{-(\mu - \lambda)t}$ $P(W_q > t) = \rho e^{-(\mu - \lambda)t}$ $t \geq 0, \rho < 1$	$L_s = L_q + \rho$ $L_q = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $P_0 = 1 - \rho$ $P_w = \rho$ $\rho < 1$			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Modelo M - D - 1</th> <th style="padding: 5px;">Modelo M - Ek - 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"> $L_s = \lambda W_s$ $L_q = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $\rho < 1$ </td> <td style="padding: 5px;"> $L_s = \lambda W_s$ $L_q = \frac{\rho^2(k+1)}{2k(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $\rho < 1$ </td> </tr> </tbody> </table>	Modelo M - D - 1	Modelo M - Ek - 1	$L_s = \lambda W_s$ $L_q = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $\rho < 1$	$L_s = \lambda W_s$ $L_q = \frac{\rho^2(k+1)}{2k(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $\rho < 1$	<div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 10px; border-radius: 5px; display: inline-block;">Salir</div>
Modelo M - D - 1	Modelo M - Ek - 1				
$L_s = \lambda W_s$ $L_q = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $\rho < 1$	$L_s = \lambda W_s$ $L_q = \frac{\rho^2(k+1)}{2k(1 - \rho)}$ $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ $\rho < 1$				

```

private void pictureBox4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    frmMD1 nuevaVentana = new frmMD1();
    nuevaVentana.Show();
    this.Hide();
}

private void pictureBox5_Click(object sender, EventArgs e)
{
    frmMEk1 nuevaVentana = new frmMEk1();
    nuevaVentana.Show();
    this.Hide();
}

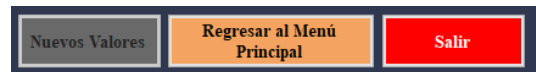
private void btnSalir_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Application.Exit();
}

```

En esta ventana agregamos las imágenes con sus respectivas formulas, desde las formula general de las colas, e implementamos con pictureBox las imágenes de las formulas correspondientes de cada modelo, por lo consiguiente le agregamos un evento (de tipo clic) a la misma herramienta, para que nos desplegué la ventana que corresponde al modelo que se desee visualizar. De igual forma en la pantalla principal se agregó un botón por si se desea solo finalizar el programa.

Los respectivos eventos creados para cada imagen y el botón para finalizar la aplicación, si así se desea.

En una sola clase decidimos colocar los eventos de los botones principales que estarán ubicados en la parte inferior de cada calculadora correspondiente, con el fin de heredar su código y reutilizar la misma función.



La función que emplean los mismos son los siguientes:

Nuevos valores: El comando que utilizaremos para limpiar todos los TextBox donde hemos colocado nuestros valores y los resultados que obtendremos de acuerdo el resultado de cada uno de ellos.

Regresar al menú principal: Tiene como comando, cerrar la pestaña actual en la que se ubique para poder volver a seleccionar una de las calculadoras que se encuentran al inicio con respecto a cada modelo.

Salir: Misma función que tiene el botón que se encuentra en la esquina derecha inferior del menú principal, es decir, finalizar con el programa.

Modelo de fórmulas generales.

En la primera ventana de formulas generales, encontramos en la parte superior las TextBox que nos pedirá llenar los datos solicitados, de lo contrario, se verifica que los mismos no se encuentren vacíos, aceptan valores numéricos y decimales, los botones no se podrán utilizar si estos se encuentran, aunque sea uno vacío.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):	<input type="text" value="4.4"/>
Digite la tasa media de servicios por hora (μ):	<input type="text"/>
Digite la espera en promedio por minuto (W_q):	<input type="text"/>

Podremos verificar el uso de los botones, cuando los mismos hacen un cambio de color en el texto y podremos utilizar cualquiera de ellos de acuerdo al valor(es) que el usuario necesite. Con los botones anteriormente mencionados, podemos limpiar totalmente la calculadora.

La tasa media de llegadas (λ) es de:	Calcular media de llegadas
La tasa media de servicio (μ) es de:	Calcular media de servicios
Tiempo esperado de espera en la cola (Wq): 12 minuto (s).	Calcular espera en la cola
Tiempo esperado de espera en el sistema (Ws):	Calcular espera en el sistema
Número esperado de clientes en el sistema (Ls):	Calcular espera clientes en el sistema
Número esperado de clientes en la cola (Lq): 8,8 promedio de clientes.	Calcular espera clientes en la cola

Modelo M/M1.

Considera un servidor, con tiempos exponenciales de servicio y entre llegadas de clientes. La implicancia que los tiempos de servicio se distribuyan exponencial es que existe una preponderancia de tiempos de servicio menores al promedio combinados con algunos pocos tiempos extensos. En esta ventana, nos pide los mismos valores que tenemos en la ventana de formulas generales, que, de igual manera, contiene los mismos eventos, si alguno de los datos solicitados que se piden, no se encuentran, los botones no se podrán utilizar hasta que se verifique que ninguno de ellos este vacío.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - M - 1.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):

Digite la tasa media de servicios por hora (μ):

Digite la espera en promedio por minuto (W_q):

De igual forma si se encuentran llenos, los botones cambiarán el color del texto que se encuentran dentro.

En este caso, los resultados que se solicitan son mayores que la fórmula general y pueden de igual forma que el anterior, calcular el que sea necesario para el usuario final o bien, puede obtener todos los resultados. De igual manera lo antes mencionado, se encuentra un botón para limpiar toda la calculadora que se encuentra en la ventana.

El factor de utilización del sistema (ρ) es de: 75 %	Calcular utilización del sistema
La tasa media de llegadas (λ) es de: 0,05 clientes por minuto.	Calcular media de llegadas
La tasa media de servicio (μ) es de:	Calcular media de servicios
Tiempo esperado de espera en la cola (W_q):	Calcular espera en la cola
Tiempo esperado de espera en el sistema (W_s):	Calcular espera en el sistema
Número esperado de clientes en el sistema (L_s):	Calcular espera clientes en el sistema
Número esperado de clientes en la cola (L_q):	Calcular espera clientes en la cola
Probabilidad de que el sistema esté vacío $P(0)$: 74 %	Calcular probabilidad sistema vacío

Modelo M/G/1.

Supone que el sistema de colas tiene un servidor y un proceso de entradas de Poisson (tiempos entre llegadas exponenciales) con una tasa media de llegadas fija h . Por lo que en esta ventana se requiere de un dato más que las anteriores, aunque la función que se emplea es la misma, se debe de llenar todos los datos necesarios que se piden para que la calculadora pueda funcionar de manera correcta y nos deje

acceder a los botones donde se encuentran los datos que quiera solicitar a la calculadora por el usuario. Por último, se encuentra en esta ventana de igual forma el poder limpiar todos los datos solicitados e ingresados.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - G - 1.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):

Digite la tasa media de servicios por hora (μ): Digite el valor de: σ

Digite la espera en promedio por minuto (W_q):

RESULTADOS:

El factor de utilización del sistema (ρ) es de:

La tasa media de llegadas (λ) es de:

La tasa media de servicio (μ) es de:

Número esperado de clientes en la cola (L_q):

Número esperado de clientes en el sistema (L_s):

Tiempo esperado de espera en la cola (W_q):

Tiempo esperado de espera en el sistema (W_s):

Probabilidad de que el sistema esté vacío $P(0)$: **65,666666666667 %**

Probabilidad de que la cola esté vacía $P(w)$:

Modelo M/D/1.

Un servidor con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución degenerada de tiempos de servicio.

En la ventana de este modelo nos piden los valores de llegadas por hora, la media de servicios y promedio por minuto, de los cuales tienen que ingresarse todos los valores para poder utilizar los botones.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - D - 1.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):

Digite la tasa media de servicios por hora (μ):

Digite la espera en promedio por minuto (W_q):

Una vez que tengamos los datos ingresados, podremos utilizar los botones de la calculadora y obtener los resultados según sea el dato que se desea por el usuario u igual puede mostrar todos los datos, e igual que las demás ventanas, hereda los botones para poder limpiar todo lo que se encuentra dentro de la ventana, como son los resultados y los datos ingresados anteriormente.

RESULTADOS:	
El factor de utilización del sistema (ρ) es de: 350 %	Calcular utilización del sistema
La tasa media de llegadas (λ) es de: 0,116666666666667 clientes por minuto.	Calcular media de llegadas
La tasa media de servicio (μ) es de: 0,0333333333333333 clientes por minuto.	Calcular media de servicios
Número esperado de clientes en la cola (L_q): -2,45 promedio de clientes.	Calcular espera clientes en la cola
Tiempo esperado de espera en la cola (W_q): -21 minuto (s).	Calcular espera en la cola
Tiempo esperado de espera en el sistema (W_s): 9 minuto (s).	Calcular espera en el sistema
Número esperado de clientes en el sistema (L_s): 1,05 clientes.	Calcular espera clientes en el sistema

Modelo M/Ek/1.

Un servidor con tiempos entre llegadas exponenciales y una distribución Erlang de tiempos de servicio. En esta ventana nos pide ingresar los siguientes valores para su correcto funcionamiento los cuales son: medias llegadas por hora, servicios por hora, promedio por minuto y el valor de erlang (k). De igual forma, si algún valor está vacío, no podremos utilizar los botones para obtener los resultados correspondientes de cada uno de ellos o todos.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - Ek - 1.		
Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):	<input type="text" value="24"/>	
Digite la tasa media de servicios por hora (μ):	<input type="text" value="4"/>	Digite el valor de K: <input type="text" value="5.2"/>
Digite la espera en promedio por minuto (W_q):	<input type="text" value="4"/>	

Una vez ingresado los datos correspondientes y verificar que no esten vacio, podremos solicitar a la calculadora cualquier resultado que necesitos o todos de los que se encuentran en esta ventana sin ningun problema.

RESULTADOS:	
El factor de utilización del sistema (ρ) es de:	Calcular utilización del sistema
La tasa media de llegadas (λ) es de:	Calcular media de llegadas
La tasa media de servicio (μ) es de: 0,0666666666666667 clientes por minuto.	Calcular media de servicios
Número esperado de clientes en la cola (L_q):	Calcular espera clientes en la cola
Tiempo esperado de espera en la cola (W_q):	Calcular espera en la cola
Tiempo esperado de espera en el sistema (W_s):	Calcular espera en el sistema
Número esperado de clientes en el sistema (L_s): 2,33076923076923 clientes.	Calcular espera clientes en el sistema

De igual forma como todas las anteriores ventanas, en la parte inferior se encuentra ubicado los botones para limpiar la calculadora en la que se encuentra, regresar al menu principal o simplemente finalizar la aplicacion. De igual forma en algunos casos, redondeamos al valor entero, debido que se trata de personas u clientes en “x” lugar.

Nuevos Valores	Regresar al Menú Principal	Salir
----------------	----------------------------	-------

El proyecto completo para visualizar y poder descargar tanto como solución de Visual Studio, así mismo como un ejecutable tipo .exe para ejecutarlo directamente desde su ordenador se encuentra en un repositorio en la plataforma de GITHUB. En el siguiente enlace:

[https://github.com/Manuel924x/Sistema de Colas](https://github.com/Manuel924x/Sistema_de_Colas)

Resultados.

Los siguientes resultados se tomaron en cuenta conforme a los ejercicios y ejemplos que se encuentran en la presentación de sistema de colas, realizadas con anterioridad con fórmulas de Excel.

Resultado 1.

Modelo M/M/1.

A un supermercado llegan en promedio 80 clientes por hora que son atendidos entre sus 5 cajas. Cada caja puede atender en promedio a un cliente cada 3 minutos.

Procederemos a ingresar cada uno de los datos del ejercicio a la calculadora.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - M - 1.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):

Digite la tasa media de servicios por hora (μ):

Digite la espera en promedio por minuto (W_q):

Los resultados esperados fueron los siguientes para este ejemplo.

RESULTADOS:

El factor de utilización del sistema (ρ) es de: 400 %	<input type="button" value="Calcular utilización del sistema"/>
La tasa media de llegadas (λ) es de: 1,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de llegadas"/>
La tasa media de servicio (μ) es de: 0,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de servicios"/>
Tiempo esperado de espera en la cola (W_q): -4 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en la cola"/>
Tiempo esperado de espera en el sistema (W_s): -1 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en el sistema"/>
Número esperado de clientes en el sistema (L_s): 1 clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en el sistema"/>
Número esperado de clientes en la cola (L_q): -5,33333333333333 promedio de clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en la cola"/>
Probabilidad de que el sistema esté vacío $P(0)$: 399 %	<input type="button" value="Calcular probabilidad sistema vacío"/>

Resultado 2.

Modelo M/G/1.

A un supermercado llegan en promedio 80 clientes por hora que son atendidos entre sus 5 cajas. Cada caja puede atender en promedio a un cliente cada 3 minutos. Suponga $\sigma = 5$ min

Procederemos ingresar los valores que nos da el ejercicio, pero antes de ello hay que convertir esos cinco minutos a hora para no tener un error al momento de sacar los resultados correspondientes de nuestro problema. Por lo que nos queda como $\sigma = 0.08333...$

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - G - 1.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):	<input type="text" value="80"/>	
Digite la tasa media de servicios por hora (μ):	<input type="text" value="20"/>	Digite el valor de: σ <input type="text" value="0,0833333333333333"/>
Digite la espera en promedio por minuto (Wq):	<input type="text" value="3"/>	

Una vez que tenemos ingresado los valores correspondientes, en la calculadora obtendremos los resultados correspondientes a cada uno de los datos que nos es posible resolver.

RESULTADOS:

El factor de utilización del sistema (ρ) es de: 400 %	<input type="button" value="Calcular utilización del sistema"/>
La tasa media de llegadas (λ) es de: 1,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de llegadas"/>
La tasa media de servicio (μ) es de: 0,333333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de servicios"/>
Número esperado de clientes en la cola (L_q): -2,66872427983539 promedio de clien	<input type="button" value="Calcular espera clientes en la cola"/>
Número esperado de clientes en el sistema (L_s): 1,33127572016461 clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en el sistema"/>
Tiempo esperado de espera en la cola (Wq): -2,00154320987654 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en la cola"/>
Tiempo esperado de espera en el sistema (Ws): 0,998456790123456 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en el sistema"/>
Probabilidad de que el sistema esté vacío P(0): 399 %	<input type="button" value="Calcular probabilidad sistema vacío"/>
Probabilidad de que la cola esté vacía P(w): 400 %	<input type="button" value="Calcular P(w)"/>

Resultado 3.

Modelo M/D/1.

A un supermercado llegan en promedio 80 clientes por hora que son atendidos entre sus 5 cajas. Cada caja puede atender en promedio a un cliente cada 3 minutos.

Ingresamos los datos que nos han sido proporcionado por el ejemplo anterior donde corresponde cada uno, los cuales son la llegada por hora, servicios por hora y promedio por minuto.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - D - 1.

Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):

Digite la tasa media de servicios por hora (μ):

Digite la espera en promedio por minuto (W_q):

Ya ingresado los datos correspondientes, podemos obtener los resultados esperados dentro de la calculadora la cual son los siguientes valores.

RESULTADOS:

El factor de utilización del sistema (ρ) es de: 400 %	<input type="button" value="Calcular utilización del sistema"/>
La tasa media de llegadas (λ) es de: 1,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de llegadas"/>
La tasa media de servicio (μ) es de: 0,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de servicios"/>
Número esperado de clientes en la cola (L_q): -2,66666666666667 promedio de clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en la cola"/>
Tiempo esperado de espera en la cola (W_q): -2 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en la cola"/>
Tiempo esperado de espera en el sistema (W_s): 1 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en el sistema"/>
Número esperado de clientes en el sistema (L_s): 1,33333333333333 clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en el sistema"/>

Resultado 3.

Modelo M/Ek/1.

A un supermercado llegan en promedio 80 clientes por hora que son atendidos entre sus 5 cajas. Cada caja puede atender en promedio a un cliente cada 3 minutos. Suponga $k=4$

Insertamos todos los valores que nos da el ejemplo dentro de los TextBox correspondientes, los cuales son los siguientes; la llegada por hora, servicios por hora, promedio por minuto y el valor de Erlang (k) dentro de los cuadros correspondientes.

Medidas del desempeño del sistema de colas: Modelo M - Ek - 1.		
Digite la tasa media de llegadas por hora (λ):	<input type="text" value="80"/>	
Digite la tasa media de servicios por hora (μ):	<input type="text" value="20"/>	Digite el valor de K: <input type="text" value="4"/>
Digite la espera en promedio por minuto (Wq):	<input type="text" value="3"/>	

Una vez ya ingresado todos los datos correspondientes, podremos utilizar los botones para obtener los resultados esperados de acuerdo lo que se necesita en la calculadora. Los resultados son los siguientes.

RESULTADOS:	
El factor de utilización del sistema (ρ) es de: 400 %	<input type="button" value="Calcular utilización del sistema"/>
La tasa media de llegadas (λ) es de: 1,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de llegadas"/>
La tasa media de servicio (μ) es de: 0,33333333333333 clientes por minuto.	<input type="button" value="Calcular media de servicios"/>
Número esperado de clientes en la cola (Lq): -3,33333333333333 promedio de clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en la cola"/>
Tiempo esperado de espera en la cola (Wq): -2,5 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en la cola"/>
Tiempo esperado de espera en el sistema (Ws): 0,5 minuto (s).	<input type="button" value="Calcular espera en el sistema"/>
Número esperado de clientes en el sistema (Ls): 0,66666666666666 clientes.	<input type="button" value="Calcular espera clientes en el sistema"/>
<div><input type="button" value="Nuevos Valores"/> <input type="button" value="Regresar al Menú Principal"/> <input type="button" value="Salir"/></div>	

Conclusión.

Se puede considerar que gracias a la teoría de colas se puede obtener el cálculo de diferentes métricas del proceso de servicio, incluido el tiempo promedio de espera en la fila o en el establecimiento, el número esperado de clientes en la fila o en el lugar, así como la probabilidad de que esté lleno o vacío el mismo; con lo cual, los responsables de estos procesos podrán tomar decisiones en materia de servicios, costos, tiempos, entre otros parámetros que se ven involucrados constantemente para muchas aquellas empresas sea física o intangible.

Por lo consiguiente permite la calidad del servicio a través de la herramienta de gestión que integrada del servicio como lo es la teoría de colas, aumentará la productividad del servicio y primordialmente el usuario final será beneficiado al satisfacer sus expectativas con servicios efectivos y de calidad, por ello su importancia. Considerando que existen Startups enfocados en este tipo de sistemas.

Referencias bibliográficas.

1. K. Roscoe, D. (1984), Modelos Cuantitativos para Administración. México, Editorial Iberoamérica.
2. Winston, W. (1997). Investigación de Operaciones, Aplicaciones y Algoritmos. México, Grupo Editorial Iberoamericana.
3. Taha, H. (1998). Investigación de operaciones. México, Ed Alfaomega.
4. Winston, W. (2005). Investigación de operaciones. México, Editorial Thomson.
5. D.G. Kendall (1953) Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of imbedded Markov chains. Annals of Mathematical Statistics, 24, pp. 338-354.