# Teoría de Colas

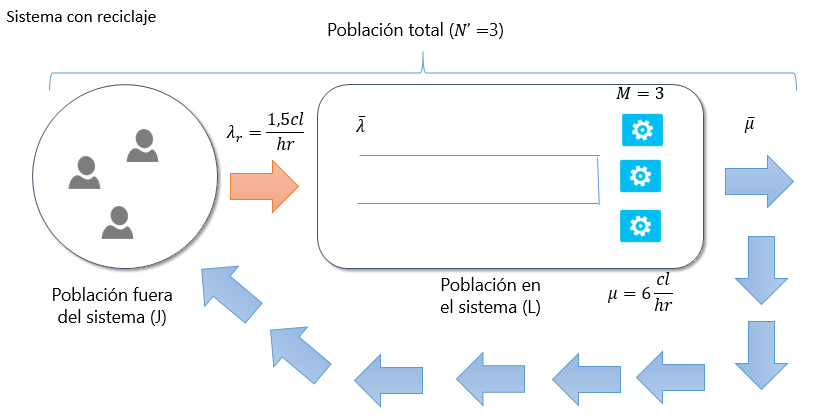
1. ***Para un sistema de colas con población finita de 3 clientes y con 3 canales de atención en paralelo se tienen los siguientes datos:***
   * ***Tiempo promedio de atención por cliente en cada canal: 10 minutos***
   * ***Tiempo promedio que un cliente está fuera del sistema: 30 minutos***
   * ***Lucro cesante por cada cliente que se encuentre en el sistema: 15 $/hora***
   * ***Costo de operación de cada canal, independientemente de que esté o no atendiendo: 4 $/hora.***

***Se pide:***

1. ***Plantear el modelo matemático y calcular las probabilidades asociadas a todos los estados posibles.***
2. ***Calcular la longitud promedio del sistema y el porcentaje de actividad de cada canal.***
3. ***Determinar el costo total esperado del sistema.***

a) Modelo matemático

* Parámetros:
  + Frecuencia de requerimientos de servicios por cliente: λr
  + Intervalo de tiempo promedio entre requerimientos de un cliente: Tr
  + Número promedio de clientes que puede atender un canal por unidad de tiempo: µ
  + Duración promedio del servicio: TS
  + Cantidad de canales dispuestos en paralelo: M
  + Número total de clientes: N’
* Variables:
  + Probabilidad de que el sistema se encuentre en estado ‘n’: P(n)
  + Longitud promedio del sistema: L
  + Longitud promedio de la cola: LC
  + Tasa promedio de ingreso de clientes al sistema:
  + Tasa promedio de egreso de clientes del sistema:
  + Tiempo promedio de espera en cola de un cliente: WC
  + Tiempo promedio de permanencia en el sistema de un cliente: W
  + Número promedio de clientes fuera del sistema: J



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | λn | µn | L | LC | H | H1 | H2 | H3 | J |
| 0 |  | 3λr | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1 |  | 2λr | µ | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 2 |  | λr | 2µ | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 3 |  | 0 | 3µ | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Para calcular la probabilidad de cada uno de los estados utilizo la ecuación de estado de régimen permanente:

* n=1:
* n=2:
* n=3:

La sumatoria de todas las probabilidades debe ser igual a 1:

b)

* Longitud promedio del sistema:
* Porcentaje de actividad de cada canal:

c)

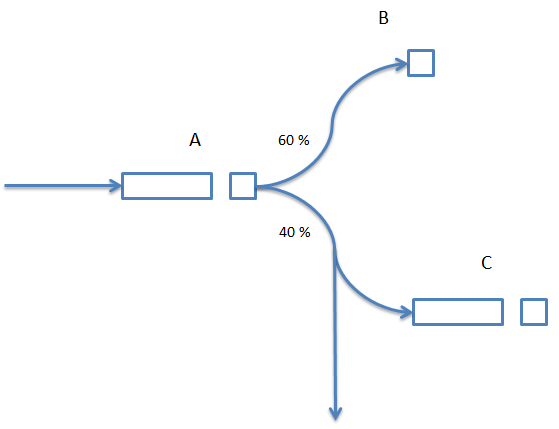
* Costo total esperado del sistema:

1. ***En un sistema de atención al público al que arriban 5 clientes por hora se brinda primero un servicio A, común para todos los clientes. Estos forman una cola única frente a la ventanilla habilitada para tal servicio. Este sector es lo suficientemente grande como para recibir a todos los clientes que llegan. El tiempo promedio de atención es de 15 clientes por hora. Una vez realizado el servicio A, el 60% de los clientes pasan al sector B para recibir el segundo servicio. En este sector, como es pequeño, si el canal está ocupado el cliente que llega se retira sin ser atendido. El resto pasa al sector C, formando una sola cola frente al canal. El canal atiende a una velocidad promedio de 8 clientes por hora. Los clientes en este sector son impacientes. La probabilidad de ingreso es función de la cantidad de clientes que hay en el sector C:***

|  |  |
| --- | --- |
| ***n*** | ***Pi(n)*** |
| 0 | 1 |
| 1 | 0,8 |
| 2 | 0,3 |
| 3 | 0,1 |
| 4 | 0 |

***Cada cliente que recibe B paga $ 150 y cada cliente que recibe C paga $ 120. Se pide:***

1. ***¿Cuál es la probabilidad de que el sistema esté vacío?***
2. ***Número promedio de canales ocupado.***
3. ***¿Cuál es la ganancia esperada?***
4. ***¿Cuál es la cantidad promedio de clientes que abandonan el sistema después de salir del sector A?***



a) Al ser un sistema compuesto lo separo en 3 subsistemas:

* Subsistema A (P/P/1)
  + λA = 5 cli/hora
  + µA = 15 cli/hora
* Subsistema B (P/P/1/1)
  + λB = 0,6 µA
  + µB = 15 cli/hora (lo asumo, no lo dice en ningún lado)
  + Cada cliente paga $150
  + P(i|n=0) = 1
  + P(i|n=1) = 0

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n | P(n) | λn | µn | L | H | R |
| 0 | P(0) | λB | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | P(1) | 0 | µB | 1 | 1 | λB |

* Subsistema C (P/P/1 con impaciencia)
  + λC = 0,4 µA
  + µC = 8 cli/hora
  + Cada cliente paga $120

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n | P(n) | λn | µn | L | LC | H | R |
| 0 | P(0) | λC | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | P(1) | 0,8 λC | µC | 1 | 0 | 1 | 0,2 λC |
| 2 | P(2) | 0,3 λC | µC | 2 | 1 | 1 | 0,7 λC |
| 3 | P(3) | 0,1 λC | µC | 3 | 2 | 1 | 0,9 λC |
| 4 | P(4) | 0 | µC | 4 | 3 | 1 | λC |

# Gestión de Stocks

1. Demostrar matemáticamente que el costo total de órdenes iguala al costo total de compra cuando se utiliza el lote óptimo de compra en un modelo de tipo 1 (sin agotamiento permitido, sin stock de seguridad, etc.)
2. ***Demostrar de forma lógica y matemática como es el lote óptimo de compra comparando modelo simple y modelo con protección.***

Modelo simple:

El costo total esperado anual incluye el costo de compra (b), el costo de almacenamiento de las unidades a comprar (c1) y el costo de órdenes (k), como lo indica la siguiente fórmula:

Para hallar el valor mínimo del CTE se procede a derivar la expresión respecto de la variable q e igualar a cero para poder despejar el valor óptimo del lote de compra:

Puede verse que el término correspondiente al costo de compra no depende de q, por lo cual, al derivar, ese término se hace cero. El valor del lote óptimo de compra será:

Modelo con stock de protección:

El costo total esperado anual incluye el costo de compra (b), el costo de almacenamiento (c1) de las unidades a comprar, el costo de órdenes (k) y el costo de almacenamiento del stock de protección, como lo indica la siguiente fórmula:

Para hallar el valor mínimo del CTE se procede a derivar la expresión respecto de la variable e igualar a cero para poder despejar el valor óptimo del lote de compra:

Puede verse que tanto el término correspondiente al costo de compra como el término correspondiente al costo de almacenamiento del stock de protección no dependen de , por lo cual, al derivar, esos términos se hacen cero. El valor del lote óptimo de compra será:

Queda demostrados que el stock de protección no tiene influencia sobre el lote óptimo de compra.

1. ***La demanda semanal de un producto es de 100 unidades. El costo de orden es de $10, el costo de mantenimiento es del 12% anual, el precio unitario es de $12 y el costo por caer en agotamiento es de $200 por unidad y por año. El Lead Time es de 5,2 semanas. Determinar el lote óptimo de compra indicando las fórmulas utilizadas y el detalle de todos los parámetros con sus unidades de medida.***

El problema se puede modelizar utilizando el modelo básico con agotamiento permitido. El lote óptimo de compra está dado por la expresión:

Donde:

* K es el costo de orden: K = $10
* D es la demanda anual del producto: D = 100 u/sem \* 52 sem/año = 5200 u/año
* T es la unidad estratégica: T = 1
* c1 es el costo de almacenamiento del lote: c1 = 12 $/u \* 12% anual = 1,44 $/u.año
* c2 es el costo por caer en agotamiento: c2 = 200 $/u.año

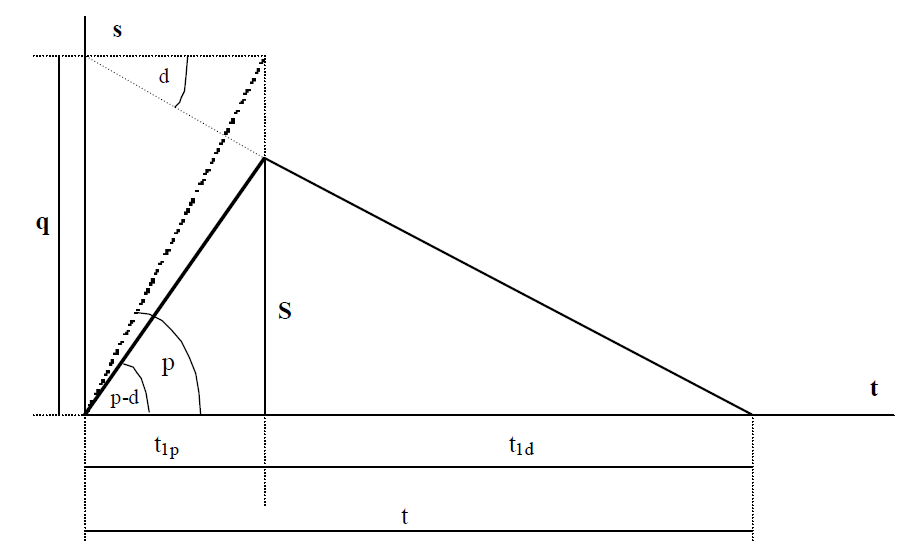
En consecuencia, el valor del lote óptimo es:

1. ***Una fábrica debe preparar la elaboración de un artículo. Su consumo previsto es de 20.000 unidades por año. El costo de puesta en marcha de cada lote de producción es de $ 5.000 y el costo de almacenamiento de 3 $/u.mes. Se realiza la fabricación con una capacidad productiva de 8.000 unidades por mes o su equivalente diario. Se pide:***
   * ***Detallar claramente la totalidad de hipótesis que se deben verificar para modelizar el problema enunciado.***
   * ***Efectuar el desarrollo matemático completo, sin dejar de indicar ningún paso intermedio, para obtener el lote óptimo de producción y el costo total esperado óptimo.***
   * ***Calcular el valor numérico del lote óptimo de producción.***

El problema se enmarca dentro del modelo de Reposición No Instantánea. Las hipótesis de dicho modelo son las siguientes:

* + Se administra un único producto terminado.
  + El producto es de demanda independiente.
  + La demanda es conocida y constante.
  + El plazo de entrega es conocido y constante.
  + La reposición es no instantánea, es decir, la tasa de reaprovisionamiento es finita.
  + El horizonte de planeamiento es a largo plazo.
  + No está permitido el agotamiento.
  + No hay restricciones.
  + Todos los parámetros monetarios están expresados en moneda constante.
  + El producto se mide en una unidad continua.
  + No hay stock de protección.

Cálculo del lote óptimo y el costo total esperado óptimo:



El costo total esperado es , donde *b* es el costo unitario de adquisición, *S* es el stock máximo, *c1* es el costo de almacenamiento y *K* el costo de orden.

Se puede relacionar *S* con el valor del lote de adquisición *q* de la siguiente forma:

Del gráfico se deducen las relaciones:

Entonces:

El CTE por ciclo resultante:

Multiplicando por la cantidad de ciclos

Derivo con respecto a *q* e igualo a cero para hallar el mínimo de la expresión:

El valor del lote óptimo es:

Reemplazando en la fórmula de CTE obtengo el CTE óptimo:

Numéricamente, el valor del lote óptimo de producción es:

1. ***Una empresa fabrica 3 productos P1, P2 y P3 para los cuales se conocen sus precios, demandas anuales y el costo de preparación de las máquinas por cada orden de producción. Se desea minimizar el total inmovilizado en inventario, cumpliendo con la restricción establecida por la Dirección, que impone que el total de costo de preparación de máquinas para las órdenes emitidas sea de 490 $/año. El costo unitario de preparación de las máquinas es diferente para cada tipo de producto.***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Producto***  ***Pi*** | ***Precio***  ***bi ($/unidad)*** | ***Demanda anual***  ***Di (unidades)*** | ***Costo de orden***  ***Ki ($/orden)*** |
| *P1* | *5* | *2000* | *40* |
| *P2* | *3* | *3000* | *50* |
| *P3* | *4* | *4000* | *60* |

***La tasa de inmovilización de stocks es de 3% mensual.***

***Se pide:***

1. ***Formular matemáticamente el problema, indicando sus variables y parámetros. Realizar en forma completa las deducciones requeridas para la solución del modelo, obteniendo las expresiones de total inmovilizado y costo total de órdenes de preparación emitidas, brindando su fundamento.***
2. ***Calcular el valor numérico del lote óptimo para el producto P1, cumpliendo las restricciones del problema y dejando detallados con claridad los cálculos realizados.***

a) Formulación matemática del problema

Parámetros:

* Precio unitario del producto j: bj
* Demanda anual del producto j: Dj
* Costo de orden del producto j: Kj
* Costo de almacenamiento del producto j: c1j
* Tasa de inmovilización: i = 3 %/mes = 36 %/año

Variables:

* Costo total esperado: CTE
* Tamaño del lote de compra del producto j: qj
* Cantidad de órdenes del producto j: nj

Restricción: costo de ordenes = 490 $/año

Total inmovilizado:

Costo total de órdenes:

Como se trata de un problema de varios ítems se utiliza el método de Lagrange:

Se procede a derivar la expresión respecto de qj y λ y luego se iguala a cero para despejar:

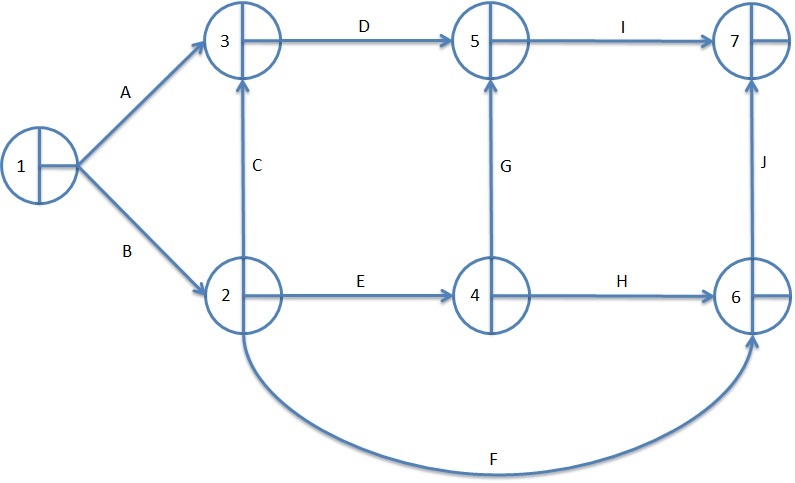
# Camino Crítico

1. ***Dados los siguientes datos de las actividades de un proyecto se solicita:***
   1. ***Construir la red lógica de camino crítico flecha actividad, codificando los sucesos, calculando las duraciones correspondientes a cada actividad, indicando sus fechas tempranas y tardías y señalando claramente el camino crítico obtenido.***
   2. ***Determinar para la variable duración total del proyecto, su valor medio y su varianza. Indicar detalladamente las fórmulas y valores numéricos utilizados para su cálculo.***
   3. ***Expresar detalladamente cómo proceder para determinar la duración total del proyecto que tendría un 80% de probabilidad de ser lograda al ejecutarlo.***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Actividad* | *Duración* | | | *Precedida*  *por* |
| *t optimista* | *t más probable* | *t pesimista* |
| A | 3 | 4 | 5 |  |
| B | 3 | 3,5 | 7 |  |
| C | 4 | 5 | 6 | B |
| D | 2 | 3 | 4 | A – C |
| E | 6 | 10 | 14 | B |
| F | 7,5 | 8,5 | 12,5 | B |
| G | 4,5 | 6 | 7,5 | E |
| H | 5 | 6 | 13 | E |
| I | 2 | 2,5 | 6 | D – G |
| J | 4 | 5 | 6 | F – H |

a) Creo la matriz de precedencias inmediatas:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* | *H* | *I* | *J* |
| *A* |  |  |  | x |  |  |  |  |  |  |
| *B* |  |  | x |  | x | x |  |  |  |  |
| *C* |  |  |  | x |  |  |  |  |  |  |
| *D* |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  |
| *E* |  |  |  |  |  |  | x | x |  |  |
| *F* |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x |
| *G* |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  |
| *H* |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x |
| *I* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *J* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



Calculo la duración estimada de las actividades y el desvío utilizando las siguientes fórmulas:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Actividad* | *Duración Estimada* | *Desvío* |
| A (1-3) | 4 | 2/6 |
| B (1-2) | 4 | 4/6 |
| C (2-3) | 5 | 2/6 |
| D (3-5) | 3 | 2/6 |
| E (2-4) | 10 | 8/6 |
| F (2-6) | 9 | 5/6 |
| G (4-5) | 6 | 3/6 |
| H (4-6) | 7 | 8/6 |
| I (5-7) | 3 | 4/6 |
| J (6-7) | 5 | 2/6 |

**Fechas Tempranas:**

* Nodo 1: Ft1 = 0
* Nodo 2: Ft2 = max (Ft1+d12) = max (0+4) = max (4) = 4
* Nodo 3: Ft3 = max (Ft1+d13; Ft2+d23) = max (0+4;4+5) = max (4;9) = 9
* Nodo 4: Ft4 = max (Ft2+d24) = max (4+10) = max (14) = 14
* Nodo 5: Ft5 = max (Ft3+d35; Ft4+d45) = max (9+3;14+6) = max (12;20) = 20
* Nodo 6: Ft6 = max (Ft2+d26; Ft4+d46) = max (4+9;14+7) = max (13;21) = 21
* Nodo 7: Ft7 = max (Ft5+d57; Ft6+d67) = max (20+3;21+5) = max (23;26) = 26

**Fechas Tardías:**

* Nodo 7: FT7 = 26
* Nodo 6: FT6 = min (FT7-d67) = min (26-5) = min (21) = 21
* Nodo 5: FT5 = min (FT7-d57) = min (26-3) = min (23) = 23
* Nodo 4: FT4 = min (FT5-d45; FT6-d46) = min (23-6;21-7) = min (17;14) = 14
* Nodo 3: FT3 = min (FT5-d35) = min (23-3) = min (20) = 20
* Nodo 2: FT2 = min (FT3-d23; FT4-d24; FT6-d26) = min (20-5;14-10;21-9) = min (15;4;12) = 4
* Nodo 1: FT1 = min (FT2-d12; FT3-d13) = min (4-4;20-4) = min (0;16) = 0

**Margen total de actividad:**

* Actividad A (1-3): MT13 = FT3 – Ft1 – d13 = 20 – 0 – 4 = 16
* Actividad B (1-2): MT12 = FT2 – Ft1 – d12 = 4 – 0 – 4 = 0
* Actividad C (2-3): MT23 = FT3 – Ft2 – d23 = 20 – 4 – 5 = 11
* Actividad D (3-5): MT35 = FT5 – Ft3 – d35 = 23 – 9 – 3 = 11
* Actividad E (2-4): MT24 = FT4 – Ft2 – d24 = 14 – 4 – 10 = 0
* Actividad F (2-6): MT26 = FT6 – Ft2 – d26 = 21 – 4 – 9 = 8
* Actividad G (4-5): MT45 = FT5 – Ft4 – d45 = 23 – 14 – 6 = 3
* Actividad H (4-6): MT46 = FT6 – Ft4 – d46 = 21 – 14 – 7 = 0
* Actividad I (5-7): MT57 = FT7 – Ft5 – d57 = 26 – 20 – 3 = 3
* Actividad J (6-7): MT67 = FT7 – Ft6 – d67 = 26 – 21 – 5 = 0

El camino crítico está dado por las actividades que tienen margen igual a cero: B – E – H – J

b) La duración de las actividades responde a una distribución Beta (dado que la duración de las tareas no es determinística, sino aleatoria), cuya media es el tiempo esperado y su desvío viene dado por la fórmula:

La duración total del proyecto es una variable aleatoria con distribución Normal (por TCL) y se calcula como la sumatoria de las duraciones de las actividades que conforman el camino crítico de la red.

Te total = TeB + TeE + TeH + TeJ = 4 + 10 + 7 + 5 = 26

σ2total = (4/6)2 + (8/6)2 + (8/6)2 + (2/6)2 = 148/36

d) Se pide calcular la fecha para la cual hay un 80% de probabilidad de terminar el proyecto.

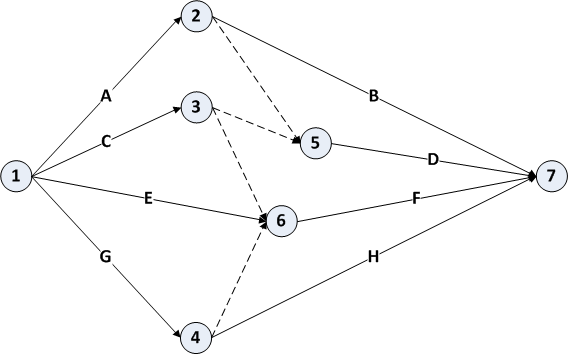
Utilizando la tabla de la distribución Normal estándar obtengo el valor de z tal que P(z)=0,8. Una vez obtenido dicho valor se procede a despejar la variable t:

1. ***Dadas las siguientes precedencias inmediatas entre tareas, realizar la red de camino crítico exclusivamente con el criterio flecha actividad, utilizando las actividades ficticias realmente imprescindibles.***

* ***A precede inmediatamente a B y D***
* ***B no precede inmediatamente a ninguna***
* ***C precede inmediatamente a D y F***
* ***D no precede inmediatamente a ninguna***
* ***E precede inmediatamente a F***
* ***F no precede inmediatamente a ninguna***
* ***G precede inmediatamente a F y H***
* ***H no precede inmediatamente a ninguna***

Creo la matriz de precedencias inmediatas:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* | *H* |
| *A* |  | x |  | x |  |  |  |  |
| *B* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *C* |  |  |  | x |  | x |  |  |
| *D* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *E* |  |  |  |  |  | x |  |  |
| *F* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *G* |  |  |  |  |  | x |  | x |
| *H* |  |  |  |  |  |  |  |  |

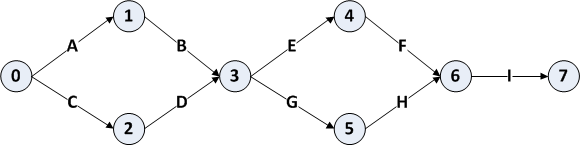


1. ***Dados los siguientes datos de las actividades de un proyecto se solicita:***
   1. ***Realizar el diagrama de red de camino crítico flecha actividad para el proyecto en análisis, incorporando sólo las actividades ficticias imprescindibles y respetando estrictamente las precedencias inmediatas especificadas.***
   2. ***Realizar el cálculo de fechas tempranas, fechas tardías de sucesos y margen total de actividades, dejando detallado cómo realiza su cálculo para cada caso.***
   3. ***Determinar para la variable duración total del proyecto su valor medio y su varianza. Indicar detalladamente las fórmulas y valores numéricos utilizados para su cálculo.***
   4. ***Expresar detalladamente cómo proceder para determinar la duración total del proyecto que tendría un 80% de probabilidad de ser cumplida al ejecutarlo. Explicar conceptualmente (no se requiere utilizar gráficos ni tablas).***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Actividad* | *Duración* | | | *Precedida*  *por* |
| *t optimista* | *t más probable* | *t pesimista* |
| A | 1,5 | 2 | 2,5 |  |
| B | 2 | 2,5 | 6 | A |
| C | 1 | 2 | 3 |  |
| D | 1,5 | 2 | 2,5 | C |
| E | 0,5 | 1 | 1,5 | B – D |
| F | 1 | 2 | 3 | E |
| G | 3 | 3,5 | 7 | B – D |
| H | 3 | 4 | 5 | G |
| I | 1,5 | 2 | 2,5 | F – H |

a) Creo la matriz de precedencias inmediatas:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* | *H* | *I* |
| *A* |  | x |  |  |  |  |  |  |  |
| *B* |  |  |  |  | x |  | x |  |  |
| *C* |  |  |  | x |  |  |  |  |  |
| *D* |  |  |  |  | x |  | x |  |  |
| *E* |  |  |  |  |  | x |  |  |  |
| *F* |  |  |  |  |  |  |  |  | x |
| *G* |  |  |  |  |  |  |  | x |  |
| *H* |  |  |  |  |  |  |  |  | x |
| *I* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



b) Calculo la duración estimada de las actividades y el desvío utilizando las siguientes fórmulas:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Actividad* | *Duración Estimada* | *Desvío* |
| A | 2 | 1/6 |
| B | 3 | 4/6 |
| C | 2 | 2/6 |
| D | 2 | 1/6 |
| E | 1 | 1/6 |
| F | 2 | 2/6 |
| G | 4 | 4/6 |
| H | 4 | 2/6 |
| I | 2 | 1/6 |

Cálculo de fechas:

**Fecha Temprana:** es la primera oportunidad en la cual puede verificarse un suceso, por haber finalizado todas las actividades que concurren al mismo.

Se comienza con el primer nodo, tomando la fecha temprana de dicho nodo igual a 0. Luego se calcula la fecha temprana de los demás nodos con la fórmula: Ftj = max (Fti+dij), donde i son todos los nodos predecesores del nodo actual.

* Nodo 0: Ft0 = 0
* Nodo 1: Ft1 = max (Ft0+d01) = max (0+2) = max (2) = 2
* Nodo 2: Ft2 = max (Ft0+d02) = max (0+2) = max (2) = 2
* Nodo 3: Ft3 = max (Ft1+d13; Ft2+d23) = max (2+3;2+2) = max (5;4) = 5
* Nodo 4: Ft4 = max (Ft3+d34) = max (5+1) = max (6) = 6
* Nodo 5: Ft5 = max (Ft3+d35) = max (5+4) = max (9) = 9
* Nodo 6: Ft6 = max (Ft4+d46; Ft5+d56) = max (6+2;9+4) = max (8;13) = 13
* Nodo 7: Ft7 = max (Ft6+d67) = max (13+2) = max (15) = 15

**Fecha Tardía:** es la última oportunidad en la cual puede verificarse un suceso sin demorar la finalización del proyecto.

Se comienza con el último nodo, tomando como fecha tardía la fecha temprana de dicho nodo. Luego se calcula la fecha tardía de los demás nodos con la fórmula: FTj = min (FTi-dij), donde i son todos los nodos posteriores del nodo actual.

* Nodo 7: FT7 = 15
* Nodo 6: FT6 = min (FT7-d67) = min (15-2) = min (13) = 13
* Nodo 5: FT5 = min (FT6-d56) = min (13-4) = min (9) = 9
* Nodo 4: FT4 = min (FT6-d46) = min (13-2) = min (11) = 11
* Nodo 3: FT6 = min (FT4-d34; FT5-d35) = min (11-1;9-4) = min (10;5) = 5
* Nodo 2: FT2 = min (FT3-d23) = min (5-2) = min (3) = 3
* Nodo 1: FT1 = min (FT3-d13) = min (5-3) = min (2) = 2
* Nodo 0: FT0 = min (FT1-d01; FT2-d02) = min (2-2;3-2) = min (0;1) = 0

**Margen total de actividad:** es el total de tiempo que se puede retrasar la duración de la actividad sin afectar la duración total del proyecto.

Se calcula con la fórmula: MTij = FTj – Fti – dij

* Actividad A (0-1): MT01 = FT1 – Ft0 – d01 = 2 – 0 – 2 = 0
* Actividad B (1-3): MT13 = FT3 – Ft1 – d13 = 5 – 2 – 3 = 0
* Actividad C (0-2): MT02 = FT2 – Ft0 – d02 = 3 – 0 – 2 = 1
* Actividad D (2-3): MT23 = FT3 – Ft2 – d23 = 3 – 0 – 2 = 1
* Actividad E (3-4): MT34 = FT4 – Ft3 – d34 = 11 – 5 – 1 = 5
* Actividad F (4-6): MT46 = FT6 – Ft4 – d46 = 13 – 6 – 2 = 5
* Actividad G (3-5): MT35 = FT5 – Ft3 – d35 = 9 – 5 – 4 = 0
* Actividad H (5-6): MT56 = FT6 – Ft5 – d56 = 13 – 9 – 4 = 0
* Actividad I (6-7): MT67 = FT7 – Ft6 – d67 = 15 – 13 – 2 = 0

El camino crítico está dado por las actividades que tienen margen igual a cero: A – B – G – H – I

c) La duración de las actividades responde a una distribución Beta (dado que la duración de las tareas no es determinística, sino aleatoria), cuya media es el tiempo esperado y su desvío viene dado por la fórmula:

La duración total del proyecto es una variable aleatoria con distribución Normal (por TCL) y se calcula como la sumatoria de las duraciones de las actividades que conforman el camino crítico de la red.

Te total = TeA + TeB + TeG + TeH + TeI = 2 + 3 + 4 + 4 + 2 = 15

σ2total = (1/6)2 + (4/6)2 + (4/6)2 + (2/6)2 + (1/6)2 = 38/36

d) Se pide calcular la fecha para la cual hay un 80% de probabilidad de terminar el proyecto.

Utilizando la tabla de la distribución Normal estándar obtengo el valor de z tal que P(z)=0,8. Una vez obtenido dicho valor se procede a despejar la variable t:

Simulación

1. Ejercicio de colas de 2 canales:
   * La distribución de arribos es Poisson con media 2 clientes por hora.
   * La distribución de atención del canal 1 es exponencial con tiempo de servicio 0,8 hs/cliente
   * La distribución de atención del canal 2 es uniforme con a = 0,3hs y b = 0,8hs

Se dan cinco valores aleatorios para arribos, cinco para el canal 1 y cinco para el canal 2. Se deben simular cinco arribos y sus salidas mediante el método de “evento a evento” y calcular:

1. Cantidad de clientes rechazados.
2. Tiempo promedio en sistema de los clientes atendidos.
3. Tiempo en que el canal 1 estuvo bloqueado.
4. Ejercicio de stocks:
   * Demanda aleatoria de distribución uniforme entre 1000 y 2000 unidades por mes.
   * Costo de almacenamiento: 5 $/u.mes
   * Costo de adquisición del producto: 20 $/u
   * Stock de protección: 200 u
   * Costo de orden: $ 15

Se pide indicar el costo total esperado promedio utilizando la simulación correspondiente, con los siguientes cinco números aleatorios: 0.11, 0.73, 0.59, 0.26, 0.94