Teoría para Grupo de Disponibilidad Total,

Sistema de Pérdida

(Incluye ejercicios)

De TETRAPRO, editado por el Sr. H. Leijon, UIT

UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

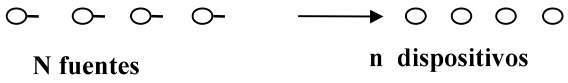
Teoría Básica de Teletráfico (T)

TEORIA PARA GRUPO DE DISPONIBILIDAD TOTAL, SISTEMA DE PERDIDA (TFL)

Contenido

1. <u>Posibles Supuestos para la Intensidad de Llamada</u>

Considere un grupo de disponibilidad total con N fuentes y n dispositivos en un sistema de pérdida.



donde N y n pueden ser finitos o infinitos. También $N \lesseqgtr n$.

El sistema puede tener *p* ocupaciones simultáneas *(p)*, donde

$0 \leq p \leq min\ (n, N) = r$ (TFL 1.1)

En la expresión

$$\left.\begin{array}{l} \lambda_p = y(p) \cdot W(p) \\ \\ W(p) = 1 \ \text{ para } \ 0 \leq p < n \end{array}\right\} \qquad \text{(TFL 1.2)}$$

tenemos

$$W(p) = 0 \ \text{ para } \ p \geq n$$

Note que si $N \leq n$, ninguna llamada es rechazada, ya que las fuentes no pueden producir más de N ocupaciones simultáneas, ≤ n.

Posibles supuestos

Supuesto para la terminación de ocupaciones

$$\boxed{\mu_p = \frac{p}{s}} \qquad \text{(TGD 2.8)}$$

Respecto a la intensidad de llamada *y(p)*, puede hacerse uno de los siguientes supuestos:

$$\left.\begin{array}{lll} N \leq n & y(p) = (N-p) \cdot \beta & \text{BERNOULLI (B)} \\ & & \\ N > n & y(p) = (N-p) \cdot \beta & \text{ENGSET (EB)} \\ & & \text{también llamada} \\ & & \text{Erlang-Bernoulli} \end{array}\right\} \quad \text{(TFL 1.3)}$$

$$\left.\begin{array}{lll} \left.\begin{array}{l} N > n \\ N = \infty \end{array}\right\} & y(p) = y & \textbf{ERLANG (E)} \\ & & \\ \left.\begin{array}{l} N = \infty \\ n = \infty \end{array}\right\} & y(p) = y & \textbf{POISSON} \\ & & \\ n = \infty & y(p) = a\ (\gamma + p) & \textbf{BINOMIAL NEG. (NB)} \\ & & \\ n \text{ finite} & y(p) = a\ (\gamma + p) & \textbf{BINOMIAL NEG.} \\ & & \textbf{TRUNCADA (TNB)} \end{array}\right\} \quad \text{(TFL 1.3)}$$

Para que el sistema sea capaz de aceptar una llamada *W(p)* en el estado *(p)*, se asumirá que

$$W(p) = 1 \text{ cuando } p < n \text{, y}$$
$$W(p) = 0 \text{ cuando } p = n \qquad \text{(TFL 1.4)}$$

lo cual significa que todos los dispositivos están ocupados en el grupo de disponibilidad total. El último supuesto $W(n) = 0$ se aplica sólo cuando $N \geq n$.

Se asumirá además, que las llamadas rechazadas no harán intentos repetidos con una intensidad de llamada más alta, es decir, la intensidad de llamada no cambiará por la existencia de congestión. La inserción de (TFL 1.3) y (TFL 1.4) en (TGD 2.8a) y (TGD 2.9) proporciona ahora las distribuciones descritas en la secuencia para el grupo de disponibilidad total en un sistema de pérdida.

2. <u>Distribuciones de Tráfico</u>

Dependiendo de la selección de supuestos (TFL 1.3), pueden ahora derivarse diferentes distribuciones de tráfico:

DISTRIBUCIÓN BERNOULLI ($N \leq n$)

Supuestos (TGD 2.8) + (TFL 1.3B) + (TFL 1.4) insertos en (TGD 2.8a) y (TGD 2.9) dan

$$\boxed{\begin{aligned} [p] &= \binom{N}{p} \cdot a^p \cdot (1-a)^{N-p} \\ a &= \frac{\beta \cdot s}{1 + \beta \cdot s} \end{aligned}} \qquad \text{(TFL 2.1B)}$$

DISTRIBUCIÓN ENGSET ($N > n$**)**

Los supuestos (TGD 2.8) + (TFL 1.3EB) + (TFL 1.4) insertos en (TGD 2.8a) y (TGD 2.9) dan

$$\boxed{\begin{gathered} [p] = \frac{\binom{N}{p} \cdot \alpha^p}{\sum_{\nu=0}^{n} \binom{N}{\nu} \cdot \alpha^\nu} \\ 0 \leq p \leq n \\ \alpha = \beta \cdot s \end{gathered}} \qquad \text{(TFL 2.1EB)}$$

DISTRIBUCIÓN ERLANG (*N*>>*n*)

Supuestos (TGD 2.8) + (TFL 1.3E) + (TFL 1.4) insertos en (TGD 2.8a) y (TGD 2.9) dan

$$[p] = \frac{\dfrac{A^p}{p!}}{\displaystyle\sum_{\nu=0}^{n} \frac{A^\nu}{\nu!}}$$

$$0 \le p \le n$$

$$A = y \cdot s \qquad \text{(TFL 2.1E)}$$

DISTRIBUCIÓN POISSON (*N* = ∞, *n* = ∞)

Los supuestos (TGD 2.8) + (TFL 1.3P) + (TFL 1.4) insertos en (TGD 2.8a) + (TGD 2.9) dan

$$[p] = \frac{A^p}{p!} \cdot e^{-A}$$

$$0 \le p \le \infty$$

$$A = y \cdot s \qquad \text{(TFL 2.1P)}$$

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL NEGATIVA (*N* = ∞, *n* = ∞)

Los supuestos (TGD 2.8) + (TFL 1.3NB) + (TFL 1.4) insertos en (TGD 2.8a) + (TGD 2.9) dan

$$[p] = \binom{-\gamma}{p} \cdot (-b)^p \cdot (1-b)^\gamma$$

$$0 \le p \le \infty$$

$$b = a \cdot s \qquad \text{(TFL 2.1NB)}$$

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL NEGATIVA TRUNCADA (*N* = ∞ , *n finite*)

Los supuestos (TGD 2.8) + (TFL 1.3TNB) + (TFL 1.4) insertos en (TGD 2.8a) + (TGD 2.9) dan

$$[p] = \frac{\dbinom{-\gamma}{p} \cdot (-b)^p}{\displaystyle\sum_{\nu=0}^{n} \binom{-\gamma}{\nu} \cdot (-b)^\nu}$$

$$0 \le p \le n$$

$$b = a \cdot s \qquad \text{(TFL 2.1TNB)}$$

$$\binom{-\gamma}{\nu} = (-1)^\nu \cdot \binom{\gamma + \nu - 1}{\nu}$$

Debe observarse que:

1. La distribución Engset (BE) es una distribución Bernoulli truncada (B)

2. La distribución Erlang (E) es una distribución Poisson truncada (P)

de la misma manera que las dos distribuciones binomiales negativas (TNB) y (NB).

También debe notarse que:

1. (B) y (EB) asumen que la intensidad de llamada disminuye con el aumento del número de ocupaciones.

2. (P) y (E) asumen una intensidad de llamada constante, independiente del número de ocupaciones.

3. (NB) y (TNB) asumen que la intensidad de llamada aumenta con el aumento del número de ocupaciones.

Las distribuciones de tráfico utilizadas con más frecuencia en la teoría de tráfico son (B) (EB) y (E). Las otras tres (P), (NB) y (TNB) son menos usadas en la teoría, pero se han incluido aquí para ilustrar cómo supuestos diferentes (TFL 1.3) pueden proveer diferentes descripciones del proceso de tráfico estacionario. (NB) y (TNB) se utilizan algunas veces para describir las propiedades de tráfico de desbordamiento. Sin embargo, ya que (NB) y (TNB) son las que menos se usan, se omitirán del presente texto. Para la derivación de expresiones para la congestión, el tráfico cursado, etc., remitiremos al lector a literatura adicional sobre el tema.

3. <u>Congestión</u>

El congestión de tiempo, E, es generalmente derivado de las distribuciones de tráfico *[p]*, para $p = n$. Cf compare la definición en (TGD 3.1) y (TGD 3.3).

La congestión de llamada, B, es derivada de las distribuciones de trafico, tal como se define en (TGD 3.2) y (TGD 3.4).

BERNOULLI

$$\boxed{\begin{array}{ll} E = 0 & (N < m) \\ \\ B = 0 & (N \le m) \end{array}} \qquad \text{(TFL 3.1B)}$$

(Ya que $N \le n$, ninguna llamada puede ser rechazada)

ENGSET

$$E = [n] = \frac{\binom{N}{n} \cdot \alpha^n}{\sum_{\nu=0}^{n} \binom{N}{\nu} \cdot \alpha^\nu}$$

$$B = \frac{[n] \cdot (N-n)}{\sum_{p=0}^{n} [p] \cdot (N-p)} = \frac{\binom{N-1}{n} \cdot \alpha^n}{\sum_{\nu=0}^{n} \binom{N-1}{\nu} \cdot \alpha^\nu} \qquad \text{(TFL 3.1EB)}$$

Note que $B < E$

ERLANG

$$\boxed{E = \frac{\frac{A^n}{n!}}{\sum_{\nu=0}^{n} \frac{A^\nu}{\nu!}} = E_n(A)}$$ (TFL 3.1E)

Primera Fórmula de Erlang
$B = E = E_n\,(A)$

($B = E$ ya que la intensidad es independiente del número de ocupaciones)

POISSON

$$\boxed{E = B = 0}$$ (TFL 3.1P)

(Ya que $n = \infty$)

Fórmulas Iterativas

Para el cálculo numérico de las probabilidades de estado *[p]*, la congestión de tiempo E y la congestión de llamada B, así como otras características de las distribuciones de tráfico, con frecuencia es conveniente usar fórmulas iterativas.

De (TGD 1.1) sigue que *[p]* puede calcularse de *[p-1]*, o sea

$$[p] = \frac{\lambda_{p-1}}{\mu_p} \cdot [p-1]$$

si a λ_{p-1} y μ_p les son dados sus valores correctos. Si no es posible o práctico calcular [0], se puede usar la siguiente fórmula de repetición

$$t_p = \frac{\lambda_{p-1}}{\mu_p} \cdot t_{p-1}$$ (TFL 3.2)

para $0 < p \leq m$

La repetición empieza con $t_0 = 1$ y continúa hasta el valor más alto posible de p.

Las probabilidades de estado se obtienen entonces como

$$[p] = \frac{t_p}{\sum_k t_k}$$ (TFL 3.3)

lo cual satisface la condición

$$[p] = 1$$

Como un ejemplo simple, la fórmula de repetición para la distribución Erlang se convierte en

$$\lambda_{p-1} = A$$

$$\mu_p = p$$

$$t_p = \frac{A}{p} \cdot t_{p-1}$$

$$t_0 = 1$$

$$t_1 = \frac{A}{1} \cdot 1 = A$$
$$t_2 = \frac{A}{2} \cdot t_1 = \frac{A}{2} \cdot \frac{A}{1}$$
$$t_3 = \frac{A}{3} \cdot t_2 = \frac{A}{3} \cdot \frac{A}{2} \cdot \frac{A}{1}$$
etc.

De la misma manera, se pueden obtener fórmulas iterativas del cálculo de la congestión. A continuación se dan dos ejemplos de ello:

La Congestión de Llamada para la distribución Engset :

$$\frac{1}{B_\nu} = 1 + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\nu}{N - \nu} \cdot \frac{1}{B_{\nu-1}} \qquad \text{(TFL 3.4)}$$

donde $B_0 = 1$ y la repetición termina para $\nu = m$.

La Fórmula de Erlang se puede calcular fácilmente de la siguiente expresión repetitiva

$$\frac{1}{E_\nu(A)} = 1 + \frac{\nu}{A} \cdot \frac{1}{E_{\nu-1}(A)} \qquad \text{(TFL 3.5)}$$

donde $E_0(A) = 1$

Se pueden obtener fórmulas repetitivas similares para otras expresiones.

4. Tráfico cursado y ofrecido

El tráfico cursado es definido por (TGD 3.5) y el tráfico ofrecido al grupo por (TGD 3.7)

BERNOULLI

Tráfico cursado

$$A' = \sum_{p=0}^{n} p[p] = Na$$

Tráfico ofrecido (TFL 4.1B)

$$A = \sum_{p=0}^{n} s \cdot (N - p)\beta \cdot [p] = Na$$

Diferencia $\Delta A = A - A' = 0$
Ya que $B = 0$

ENGSET

$$\boxed{\begin{gathered} A' = \frac{N\alpha}{1+\alpha}\left(1 - \frac{N-n}{N}\cdot[n]\right) = \frac{N\alpha(1-B)}{1+\alpha(1-B)} \\[2ex] A = \frac{N\alpha}{1+\alpha(1\text{-}B)} \end{gathered}} \qquad \text{(TFL 4.1EB)}$$

$$\Delta A = A - A' = \frac{N\cdot\alpha\cdot B}{1+\alpha\cdot(1-B)}$$

ERLANG

$$\boxed{\begin{gathered} A' = A(1-E_n(A)) \\ A = N\alpha \\ N = \infty \\ \alpha = a = 0 \end{gathered}} \qquad \text{(TFL 4.1E)}$$

$$\Delta A = A - A' = A\cdot E_n(A)$$

POISSON

$$\boxed{\begin{gathered} A' = A \\ A = N\alpha \\ N = \infty \\ \alpha = a = 0 \end{gathered}} \qquad \text{(TFL 4.1P)}$$

$\Delta A = 0$ (ya que $E = B = 0$)

Observe que $A' = A$ cuando $B = 0$, es decir, cuando no se rechazan llamadas desde el grupo de disponibilidad total.

5. <u>Carga en el dispositivo ν :ésimo</u>

Para cacería aleatoria se espera que cada dispositivo tenga la misma carga; por tanto,

$$a_\nu = \frac{A'}{n} \qquad \text{para } \nu = 1, 2, ..., n \qquad \text{(TFL 5.1)}$$

Para cacería secuencial las expresiones se hacen más complicadas. Sólo la expresión para las distribuciones Erlang y Poisson parecen ser simples, a saber

$$a_\nu = A\cdot\left(E_{\nu-1}(A) - E_\nu(A)\right) \qquad \text{(TFL 5.2E)}$$

La expresión (TFL 5.2E) es válida también para la distribución Poisson.

6. <u>Factor de mejoramiento</u>

El factor de mejoramiento, que describe cuánto más tráfico se puede cursar cuando un grupo aumenta de n a n + Δn dispositivos, es definido por (TGD 3.10). Para un aumento en el grupo de n a n + 1 dispositivos, damos las siguientes expresiones.

BERNOULLI

$$F(n) = A'(n+1) - A'(n) = Na - Na = 0 \qquad \text{(TFL 6.1B)}$$

(Ya que $N \leq n$, n dispositivos son suficientes para cursar todo el tráfico ofrecido al grupo).

ENGSET

$$F(n, N) = \frac{N\alpha(1 - B')}{1 + \alpha(1 - B')} - \frac{N\alpha(1 - B)}{1 + \alpha(1 - B)}$$

donde

$$B' = B(N, n+1) = \frac{\binom{N-1}{n+1} \cdot \alpha^{n+1}}{\sum_{\nu=0}^{n+1} \binom{N-1}{\nu} \cdot \alpha^{\nu}} \qquad \text{(TFL 6.1EB)}$$

y

$$B = B(N, n) = \frac{\binom{N-1}{n} \cdot \alpha^{n}}{\sum_{\nu=0}^{n} \binom{N-1}{\nu} \cdot \alpha^{\nu}}$$

ERLANG

$$F(n) = A \cdot (E_n(A) - E_{n+1}(A)) \qquad \text{(TFL 6.1E)}$$

POISSON y BINOMIAL NEGATIVA

No significativas ya que $n = \infty$

7. <u>Probabilidad de que X dispositivos específicos estén ocupados</u>

Esta expresión, H(x), como se da en (TGD 3.11), sólo se aplicará para cacería aleatoria.

BERNOULLI

$$H(x) = \frac{\binom{N}{x}}{\binom{n}{x}} \cdot a^{x} \qquad \text{(TFL 7.1B)}$$

ENGSET

$$H(x) = \frac{E(n, N, \alpha)}{E(n-x, N-x, \alpha)}$$

donde

$$E(n, N, \alpha) = [n] = \frac{\binom{N}{n} \cdot \alpha^n}{\sum_{\nu=0}^{n} \binom{N}{\nu} \cdot \alpha^\nu}$$

(TFL 7.1EB)

$$E(n-x, N-x, \alpha) = \frac{\binom{N-x}{n-x} \cdot \alpha^{n-x}}{\sum_{\nu=0}^{n-x} \binom{N-x}{\nu} \cdot \alpha^\nu}$$

ERLANG

$$H(x) = \frac{E_n(A)}{E_{n-x}(A)}$$

(TFL 7.1E)

(Fórmula Palm-Jacohaeus)

donde $E_n(A)$ es la Primera Fórmula de Erlang.

POISSON

No significativa desde que n = ∞

Nótese que las expresiones H(x) para EB y E tienen ambas la apariencia formal de las probabilidades condicionales. La misma se aplica también a la distribución binominal negativa truncada.

8. Comentarios generales

En las secciones anteriores hemos presentado, en forma resumida, fórmulas para las distribuciones de tráfico, congestión, tráfico cursado y ofrecido y otras características típicas para las distribuciones de tráfico tratadas aquí. Algunas fórmulas han sido sencillas y otras lo han sido menos. Siempre es una ventaja si una característica de tráfico puede expresarse en una formula simple. Eso hace más fácil entender su significación y hace más sencillo hacer deducciones algebraicas adicionales, así como llevar a cabo cálculos numéricos.

La importancia de fórmulas simples, sin embargo, ha cambiado de valor con el tiempo, ya que en los países desarrollados la mayor parte de los cálculos de tráfico se hacen actualmente en computadoras electrónicas. Esto significa que una fórmula sencilla para la mente humana no siempre es simple de programar. Por tanto, a veces puede ser preferible programar algunas fórmulas que contengan signos de sumas o productos

Todas las distribuciones dadas anteriormente, asumen que la intensidad de llamada no cambia por llamadas rechazadas. Este supuesto proporciona expresiones matemáticas más simples. Sin embargo, es muy posible introducir la asunción de que las fuentes de tráfico que obtienen llamadas rechazadas, hacen nuevos intentos con una intensidad de llamada más alta. Tal supuesto aumentaría el realismo de la descripción del proceso de tráfico, pero también incrementaría las complicaciones matemáticas.

Sin embargo, si tal supuesto debiera introducirse, debe tenerse en mente que la congestión, especialmente en el grupo considerado, es sólo una razón menor para intentos repetidos. Otras razones son generalmente de mucha mayor influencia sobre la cantidad de intentos de llamadas repetidos.

Teoría Básica de Teletráfico (T)

EJERCICIOS A

Grupo de disponibilidad total, sistema de llamada perdida. Ejercicios básicos.

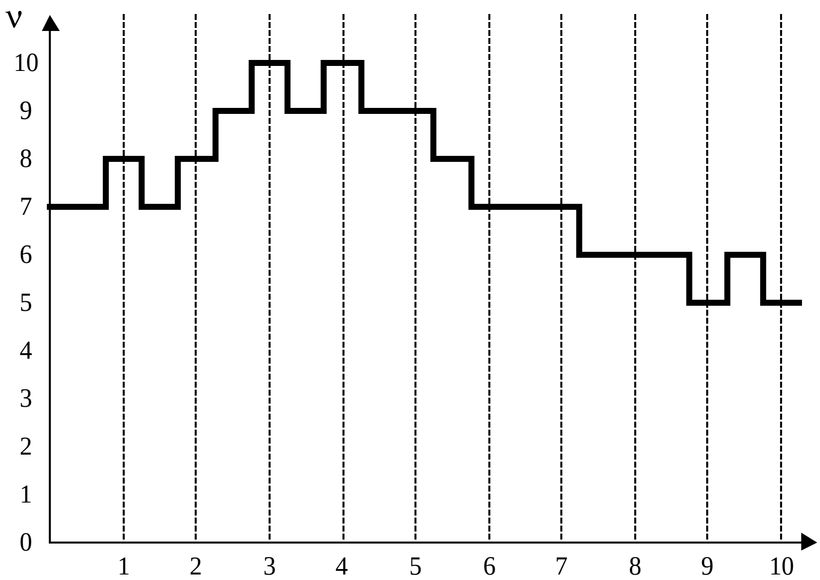
TXA 1 Cuál es el tráfico ofrecido, expresado en erlangs, si la tasa de llamadas y el tiempo medio de ocupación son respectivamente:

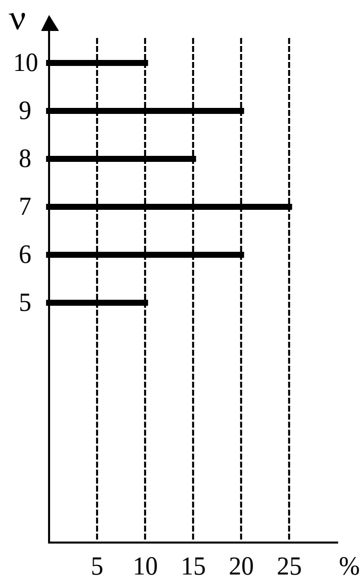
a) 1,000 llamadas/hora, 90 seg.
b) 1,200 llamadas/hora, 2 min.
c) 4 llamadas/seg. 1.6 min.
d) 3 llamadas/min. 0.04 hora

TXA 2 Cuál es el número esperado de llamadas por hora, si el tráfico ofrecido es de 35 erlangs y el tiempo medio de ocupación es de 140 segundos?

TXA 3 Cuál es el tiempo medio de ocupación, en segundos, si el tráfico ofrecido = 33 erlangs y la tasa de llamadas = 1,100 llamadas/hora?

TXA 4 En un grupo consistente de 10 dispositivos, el número de dispositivos ocupados fue leído continuamente durante un período de tiempo. El desarrollo en tiempo se muestra en la figura de abajo. También se ofrece en un diagrama, la proporción del período total cuando exactamente 0, 1, ..., 10 dispositivos estaban ocupados.





a) Calcule el tráfico manejado por el grupo durante el período y calcule la congestión de tiempo.

b) Suponga que el grupo se estudió durante los puntos de tiempo dados en el diagrama. Qué estimado de tráfico manejado y qué congestión de tiempo se habría obtenido entonces?

TXA 5 Suponga que un grupo consiste de 10 dispositivos. Usando la tabla de Erlang, calcule la congestión con 4 decimales para los siguientes valores de A = tráfico ofrecido:

A = 1, 3, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 300 erlangs.

TXA 6 Suponga que a un grupo se le ofrece un tráfico de 10 erlangs. Usando la tabla de erlang, calcule la congestión con 4 decimales para los siguientes n números de dispositivos:

n = 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 20, 23, 30.

TXA 7 Cuál es el tráfico más alto en erlangs que se puede ofrecer a un grupo de 20 dispositivos, si la congestión permitida es a lo sumo 0.005?

TXA 8 Cuántos dispositivos debería haber en un grupo al que se ofrece un tráfico de 48 erlangs, si la congestión permitida es a lo sumo 0.002?

TXA 9 A un grupo de 18 dispositivos se le ofrece un tráfico con la tasa de llamadas de 480 llamadas/hora y el tiempo de ocupación de 105 segundos.

Cuál es el tráfico ofrecido, la congestión de tiempo, la congestión de llamada, el tráfico manejado, la media del tráfico manejado por dispositivo y el número esperado de llamadas rechazadas por hora?

TXA 10 Qué tan grande es el tráfico manejado por diferentes dispositivos en un grupo de 5 dispositivos bajo condiciones de cacería secuencial y aleatoria, si al grupo se le ofrece el tráfico de 2 erlangs?

TXA 11 Demuestre que la media del tráfico manejado por dispositivo en un grupo con cacería secuencial, es igual al tráfico manejado por dispositivo en un grupo con cacería aleatoria, si los grupos son igualmente grandes y se les ofrece el mismo tráfico.

TXA 12 Determine los tráficos que pueden ser ofrecidos a grupos de 10 y 100 dispositivos, si el valor de congestión es de 0.005.

Suponga que estos tráficos aumentan en 10% y 20%, respectivamente. Calcule los valores de congestión resultantes.

También, calcule el tráfico manejado y la media del tráfico manejado por dispositivo para todos los casos.

TXA 13 Considere un sistema de pérdida Erlang con n troncales, intensidad de llamada λ, y tiempos de conversación distribuidos exponencialmente, con una media de τ.

Sea *j* un número entero $0 \leq j \leq n$.

a) Derive la función de distribución del intervalo de tiempo desde la época en que el estado (j) empieza hasta que el estado termina.

b) Cuál es la media de este intervalo de tiempo

c) Calcule la probabilidad de que el estado termine por una transición a $(j-1)$ y $(j+1)$ respectivamente.

TXA 14 Un medidor de llamadas de abonado da un impulso al principio de la llamada y después un impulso cada tres minutos, durante el tiempo que dura la conversación. Asuma que el tiempo de conversación es una variable exponencialmente distribuida, con media de 3 minutos. Calcule la proporción de todas las llamadas que obtendrán:

a) exactamente 2 impulsos
b) menos de 2 impulsos
c) más de 2 impulsos
d) por lo menos 2 impulsos
e) a lo más 2 impulsos

TXA 15 Con el mismo principio de facturación que en el ejercicio TXA 14, asuma un intervalo de impulso igual a m y un tiempo medio de conversación igual a τ. Pruebe que el número medio de impulsos por llamada es:

$$\frac{e^{\frac{m}{\tau}}}{e^{\frac{m}{\tau}} - 1} \text{----.}$$

TXA 16 En una ruta troncal entre las centrales A B, el tiempo medio de conversación para las llamadas de A $\rightarrow$ B es de 4 minutos y para las llamadas de B $\rightarrow$ A es de 3 minutos. Asuma, para ambos casos, distribución exponencial. Las llamadas de A $\rightarrow$ B constituyen el 55 % del total de llamadas. Calcule la probabilidad de que una llamada arbitraria tenga un tiempo de conversación > 6 minutos.

TXA 17 Al tiempo 0 hay 5 conversaciones en progreso en un grupo troncal. Asuma que los tiempos de conversación están exponencialmente distribuidos, con una media de 3 minutos. Calcule la probabilidad de que después de 1 minuto, exactamente 2 de esas conversaciones sigan en progreso.

TXA 18 Considere un sistema de pérdida Erlang con 10 troncales y tráfico ofrecido A. Las troncales son cazadas en orden. Durante cuánto tiempo:

a) está la troncal no. 9 ocupada?

b) hay exactamente 9 troncales ocupadas simultáneamente?

c) están las primeras 9 troncales ocupadas simultáneamente?

d) están las primeras 9 troncales ocupadas simultáneamente y la troncal no. 10 libre?

TXA 19 Un grupo de disponibilidad total consiste de 6 dispositivos y se le ofrece tráfico desde 6 fuentes. Se asume que el tráfico ofrecido por cada fuente es de 0.5 erlangs.

Cuál es el tráfico ofrecido, la congestión de llamada y la congestión de tiempo?

TXA 20 Un grupo de disponibilidad total consiste en 6 dispositivos y se le ofrece tráfico desde un gran número de fuentes. Se asume que el tráfico total ofrecido es de 3 erlangs. Cuál es la congestión de llamada y la congestión de tiempo?

TXA 21 Haga una comparación entre los ejercicios TXA 19 y TXA 20.

TXA 22

Dispositivo 1	○	●	○	●	○
Dispositivo 2	○	○	○	○	○
Dispositivo 3	○	○	●	●	●
Dispositivo 4	○	○	○	○	●
	{	123		123	
	0 disposi-tivos ocu-pados	1 disposi-tivos ocu-pado		2 disposi-tivos ocu-pados	

En la figura precedente se muestran diferentes estados de ocupación para un grupo que consiste de 4 dispositivos.

a) Dibuje, sistemáticamente, todos los diferentes estados de ocupación para este grupo de dispositivos.

b) Cuántos diferentes estados de ocupación, con exactamente 0, 1, 2, 3, 4 dispositivos se obtienen?

c) Cuál es el número total de diferentes estados de ocupación?

d) En cuántos de estos casos están ocupados los dispositivos no. 1 y no. 3?

TXA 23 Suponga que uno tiene un grupo consistente de n dispositivos y que éstos son numerados 1,2,3.....,n.

a) Cuántos diferentes estados hay, si uno sólo se interesa en el número de dispositivos ocupados?

b) Cuántos diferentes estados hay, si a uno le interesa saber cuál dispositivo está ocupado?

c) Cuántos diferentes estados del tipo considerado en b) hay con exactamente 0, 1, 2, ..., n dispositivos ocupados?

d) Cuántos diferentes estados del tipo considerado en b) hay con x dispositivos específicos ocupados y simultáneamente, exactamente p dispositivos ocupados?

e) Señale con [p] la probabilidad de exactamente cualquier p dispositivo de estar ocupado. Use los resultados de c) y d) para demostrar cómo se calculará H(x) cuando

$$H(x) = P\ \{x \text{ dispositivos específicos ocupados}\}$$

TXA 24 Los mismos supuestos del ejercicio TXA 19. Calcule H(3), la probabilidad de 3 dispositivos específicos de estar ocupados (por ej. los dispositivos Nos.1, 2, 3 o los dispositivos Nos. 2, 4, 6).

TXA 25 Los mismos supuestos del ejercicio TXA 20. Calcule H(3), la probabilidad de 3 dispositivos específicos de estar ocupados.