

---

# ANEXO 2

---

## EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO EN REDES IP

---

### 1. INTRODUCCIÓN

---

---

Uno de los factores esenciales al realizar una evaluación de desempeño en redes es establecer claramente la diferencia entre Calidad de Servicio (*Quality of Service - QoS*) y Calidad de Funcionamiento de la Red (*Network Performance - NP*), donde la primera de ellas está orientada al usuario y sus parámetros perceptibles ofrecen un marco útil para el diseño de redes pero no son necesariamente utilizables al especificar los requisitos de calidad de funcionamiento de determinadas conexiones de la red; análogamente, los parámetros de NP determinan finalmente la QoS observada por el usuario, pero no describen necesariamente esa calidad de manera significativa para los usuarios sino para el administrador de la misma. (ITU-T, Rec I.350, 1993)

Dado que se desean obtener datos más útiles para un proveedor de servicios o un administrador de red, que para un usuario final; esta evaluación se centra en la calidad de funcionamiento de la red que comúnmente se conoce como “desempeño” y no en la calidad de servicio.

Así, la Recomendación I-350 de la ITU-T “*ASPECTOS GENERALES DE CALIDAD DE SERVICIO Y DE CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN LAS REDES DIGITALES INCLUIDAS LAS REDES DIGITALES DE SERVICIOS INTEGRADOS*” define 9 parámetros primarios mediante la matriz 3x3 para medir la calidad de funcionamiento donde las filas son las 3 funciones de comunicación básicas:

- Acceso
- Transferencia de Información de Usuario
- Desvinculación,

Y las columnas son los 3 criterios que describen la calidad de funcionamiento:

- Velocidad: Describe el intervalo de tiempo que se utiliza para realizar la función o la velocidad a la que se realiza la función, la función puede o no realizarse con la precisión deseada.
- Precisión: Describe el grado de corrección con que se realiza la función, la función puede o no realizarse con la velocidad deseada.

- Seguridad: Describe el grado de certidumbre (o seguridad) con que se realiza la función, independientemente de la velocidad o precisión, pero dentro de un determinado intervalo de observación.

En la sección de aportes del anteproyecto del presente trabajo de grado se especificó que la evaluación se realizaría durante la fase de transferencia de la información, dado que durante la fase de acceso y la fase de desvinculación el número de mensajes es muy pequeño y no afectan apreciablemente los valores de las métricas de desempeño de la red; además, estos procesos se realizan cuando expiran las SA, que según el documento del Dominio de Interpretación de IPsec para ISAKMP (IETF, RFC2407, 1998) se da por defecto cada 28.800 segundos (8 horas) y en los enrutadores Cisco utilizados como pasarelas de seguridad cada 86.400 segundos (24 horas).

Por la misma razón, no se evaluaron estas métricas para diferentes configuraciones de los protocolos de gestión de claves y asociaciones de seguridad y sus diversas técnicas de autenticación e intercambio de claves.

Adicionalmente, la Recomendación ITU-T Y.1543 que expone conceptos de Medición en redes IP para evaluación de calidad de funcionamiento entre dominios, manifiesta que dado que las rutas de tráfico saliente y entrante pueden diferir, los objetivos y medidas para todos los atributos de calidad de funcionamiento en QoS entre dominios (IDQ) son en-un-sentido y reflejan la naturaleza sin-conexión del servicio (ITU-T, Rec Y.1543, 2007).

Por otro lado, el grupo de trabajo de Métricas de Desempeño IP (*IP Performance Metrics – IPPM*) del área de transporte de la IETF denomina a su vez como “métricas” lo que anteriormente se ha mencionado como “parámetros”, y cuyas características principales se mencionan en el RFC2330 que define un marco general para las métricas particulares a ser desarrolladas por el IPPM para permitir que los usuarios y los proveedores de servicios tengan un punto común de entendimiento del rendimiento y confiabilidad tanto de las rutas extremo-a-extremo a través de Internet como de las “nubes IP” que comprenden porciones de esas rutas (IETF, RFC2330, 1998).

## 2. MÉTRICAS DE DESEMPEÑO IP

---

### 2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

---

En el entorno de Internet existen varias cantidades relacionadas al rendimiento y confiabilidad de una red, cuyos valores es deseable conocerlos; cuando tales cantidades están cuidadosamente especificadas, las llamamos *Métricas*. Aunque es permitido que en la práctica existan dificultades en la medida de ciertas cantidades, sus significados ambiguos no son permitidos, para tal fin cada métrica se define en términos de unidades estándar de medida, recurriendo al uso del sistema internacional de métricas, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Una unidad debe estar expresada en metros o segundos, también son aceptadas las

unidades relacionadas basadas en miles y milésimas.

- Cuando una unidad sea expresada como una combinación de unidades, también las unidades basadas en miles y milésimas son aceptadas, pero todos esos miles/milésimas deben ser agrupadas al comienzo. Es decir, kilo-metros por segundo (Km/s) es aceptado pero no lo es metros por milisegundo.
- La unidad de información es el *bit*.
- Cuando son utilizados prefijos de métricas con bits o con combinaciones incluyendo bits, estos prefijos tendrán su significado métrico (relacionado a 1000) y no su significado convencional de almacenamiento computacional (relacionado a 1024).
- Cuando un tiempo sea dado, este será expresado en UTC.

Además, se deben tener en cuenta los siguientes criterios para las métricas a definir:

- Las métricas deben ser concretas y bien definidas.
- Una metodología para una métrica debe ser repetible, es decir, si la metodología es usada múltiples veces sobre condiciones idénticas ó similares, las medidas deberían ser las mismas.
- Las métricas no deben exhibir parcialidad para redes IP implementadas con igual tecnología.
- Las métricas deben exhibir entendimiento y parcialidad justa para redes IP implementadas con diferente tecnología.
- Las métricas deben ser útiles a usuarios y proveedores para entender el desempeño que ellos experimentan o proveen
- Las métricas deben evitar inducir metas de rendimiento artificial.

También existen requerimientos como la auto-consistencia, que trata de que la medición se haga con tan pocos supuestos no confirmados como sea posible. Por ejemplo, si se incorpora en la medición un reloj sincronizado a una fuente de gran precisión es fácil suponer que el reloj es preciso, pero puede que debido a errores de software, una pérdida de poder en la fuente, o una pérdida de comunicación entre la fuente y el reloj, éste sea en realidad inexacto.

Esto no quiere decir que no hay que construir hipótesis cuando se mide, pero es mejor que en la medida en que sea practico, las hipótesis sean probadas. Una forma potente de hacerlo consiste en la comprobación de la auto-consistencia. Esa verificación se aplica tanto al valor observado de la medición como a los valores utilizados por el proceso de la medición en sí. Un ejemplo de este proceso es comprobar al momento de computar el tiempo de ida y vuelta (*Round Trip Time*) si éste es negativo. Dado que los intervalos de tiempo negativos no son físicamente válidos, son inconsistentes con las medidas esperadas e inmediatamente se encuentra una indicación de error.

Asimismo, se prefiere una definición determinística ya que cuando las definiciones se basan en términos de probabilidades, a menudo se esconden hipótesis en la definición acerca de modelos estocásticos del comportamiento que está siendo medido. El objetivo fundamental es evitar probabilidades en las definiciones y así evitar la polarización de las definiciones de estas hipótesis/suposiciones ocultas.

Esto no significa que se abandonen los modelos estocásticos para entender el desempeño de la red y/o el análisis de medidas realizadas; simplemente significa que cuando se definan métricas IP, se eviten términos tales como “probabilidad” y por el contrario se use “proporción” o “tasa” (*rate*).

---

### 2.1.1. TIPOS DE MÉTRICAS

---

- Métrica individual ó *Singleton*: Se refiere a métricas, en cierto sentido, atómicas. Por ejemplo: una sola instancia de "capacidad de throughput" de un host a otro podría ser definida como una métrica individual, aunque la instancia implica medir los tiempos de un cierto número de paquetes IP.
- Métrica de muestra: Son métricas derivadas de una métrica individual, tomando conjuntamente un número de distintas instancias. Por ejemplo: podríamos definir una métrica de muestra de retardo en un sentido desde un host a otro como el equivalente a una hora de mediciones, realizadas en intervalos Poisson con un espaciamiento medio de un segundo.
- Métrica estadística: Se refiere a métricas que son derivadas de una métrica de muestra por un cómputo estadístico de los valores dados por la métrica individual en la muestra. Por ejemplo: el valor medio de todos los valores de retardo en un sentido sobre la muestra dada, podría ser definida como una métrica estadística.

Asimismo, las métricas existentes se pueden clasificar en métricas analíticas o empíricas:

- Métricas Analíticas: Cuando una métrica esta especificada y se entiende que está estrechamente relacionada con los conceptos del A-frame<sup>1</sup>, se dice que la métrica es una métrica analítica. Los conceptos del A-frame serán destinados a abstraer:
  - La función esencial del componente es conservada,
  - Propiedades del componente relevante a las métricas que se aspira a crear son conservadas,
  - Un subconjunto de las propiedades del componente son potencialmente definidas como métricas analíticas, y
  - Aquellas propiedades de los componentes actuales que no son relevantes a la definición de la métrica que se aspira a crear son desechadas.

Así el rol clave de los conceptos del A-frame es la abstracción de las propiedades de los componentes de Internet relevantes a las métricas dadas. Este juicio es necesario para evitar hacer suposiciones que parcialicen el modelamiento y métrica hacia una clase de diseño.

- Métricas Empíricas: Existen métricas que son muy útiles para el rendimiento y la confiabilidad que no encajan perfectamente con el A-frame, porque el A-frame carece del detalle o capacidad para tratar con ellos, así a estas métricas se les da el nombre de métricas empíricas. Estas métricas deberían tener estas tres propiedades:
  - Tener una definición clara en términos de los componentes de Internet,
  - Haber al menos un medio efectivo para medirlas, y
  - Para posibles extensiones, se debería tener un (necesariamente incompleto) entendimiento de la métrica en términos del A-frame para poder usar las mediciones para razonar acerca del rendimiento y confiabilidad de los componentes del A-frame y de las agrupaciones de componentes del A-frame.

---

<sup>1</sup> La comunidad de ingeniería de Internet desarrollo un marco analítico común de conceptos. Y este es el A-frame, el cual es usado por diseñadores e implementadores de protocolos, por aquellos envueltos en la medida y por quien estudia el rendimiento de redes de computadores usando las herramientas de simulación y análisis, tiene una gran ventaja para su trabajo.

Para cada una de las métricas existentes, sea analítica o empírica existen dos tipos de composición que pueden presentar, estas son:

- Composición Espacial: Si la definición de una métrica incluye una conjetura de que la métrica a través del camino está relacionada a la métrica a través de los subcaminos del camino, entonces esa conjetura se constituye en una exposición de que la métrica exhibe composición espacial. Así la definición debe incluir:
  - La conjetura específica aplicada a la métrica,
  - Una justificación de la utilidad práctica de la composición en términos de la toma precisa de mediciones de la métrica sobre el camino,
  - Una justificación de la utilidad de la composición en términos de la preparación de un análisis del camino usando los conceptos del A-frame más efectivamente, y
  - Una análisis de como la conjetura podría ser incorrecta.
  
- Composición Temporal: cuando la métrica aplicada al camino en un tiempo  $T$ , esta también definida para varios tiempos  $t_0 < t_1 < \dots < t_n < T$ , y en la cual los conceptos apropiados del A-frame para la métrica sugieren una útil relación entre la métrica aplicada en los tiempos  $t_0, \dots, t_n$  y la métrica aplicada en el tiempo  $T$ , se dice que la métrica exhibe composición temporal. La definición entonces debería incluir:
  - La conjetura específica aplicada a la métrica,
  - Una justificación de la utilidad práctica de la composición en términos de la toma precisa de mediciones de la métrica sobre el camino, y
  - Una justificación de la utilidad de la composición en términos de la preparación de un análisis del camino usando los conceptos del A-frame más efectivamente.

Además, tanto la composición espacial como la temporal dependen de un análisis útil de como estas relaciones son aplicadas a los componentes relevantes del A-frame, y de el uso práctico de como las correspondientes relaciones son aplicadas a métricas y a las metodologías de medida.

Por otra parte, en la Recomendación ITU-T X.140 se exponen un conjunto de posibles parámetros de calidad para redes de datos, que para la función de transferencia de información son:

- El Retardo de Transferencia de Paquetes de Datos o de la Información de Usuario, y la Velocidad de Transferencia de Información de Usuario o Caudal para caracterizar el parámetro de la Velocidad.
- La Probabilidad de Error, la Probabilidad de Entrega de Información Sobrante y la Probabilidad de Entrega Indebida de la Información de Usuario para caracterizar la Precisión.
- La Probabilidad de Pérdida de la Información de Usuario para caracterizar la Seguridad de Funcionamiento.

El tiempo de transferencia de la información de usuario es el valor del tiempo transcurrido entre el comienzo de la transferencia y la transferencia efectiva de una unidad determinada de información de usuario (por ejemplo, un paquete).

La velocidad de transferencia de la información de usuario es el número total de unidades de información de usuario transferidas fructuosamente en una muestra separada de transferencia, dividido por el tiempo de entrada/salida correspondiente a dicha muestra; también se conoce como caudal y está dado por el número de bits de datos de usuario transferidos con éxito (no se agrega, se pierde ni se invierte ningún bit) en un sentido de transmisión a través de esta sección por unidad de tiempo, la longitud del paquete afecta en la medición del caudal dado que en general a mayor longitud de los paquetes aumenta el caudal.

La probabilidad de error en la información de usuario es la relación entre el total de unidades de información de usuario incorrectas y el total de unidades de información de usuario transferidas fructuosamente más las unidades de información de usuario incorrectas incluidas en una muestra especificada.

La probabilidad de entrega de información de usuario sobrante es la relación entre el total de unidades sobrantes (no solicitadas) y el total de unidades de información recibidas por un usuario de destino, incluidas en una muestra especificada.

La probabilidad de entrega indebida (o incorrecta) de la información de usuario es la relación entre el total de unidades de información de usuario entregadas indebidamente y el total de unidades de información de usuario transferidas entre un origen especificado y un usuario de destino en una muestra especificada. Una unidad de información de usuario entregada indebidamente es una unidad de información de usuario transferida de un usuario de origen a un usuario de destino determinado que en realidad se pretendía entregar a un usuario de destino distinto.

La probabilidad de pérdida de la información de usuario es la relación entre el total de unidades de información de usuario perdidas y el total de unidades de información de usuario transmitidas incluidas en una muestra especificada (ITU-T, Rec X.140, 1992).

Según la Recomendación ITU-T Y.1543 los atributos básicos utilizados para caracterizar la calidad de funcionamiento de red (IDQ) de una ruta son:

- Retardo medio en-un-sentido (*Mean One-Way Delay*)
- Variación del retardo de paquete en-un-sentido (*One-Way Packet Delay Variation*)
- Tasa de pérdida de paquetes (*Packet Loss Ratio*)
- Indisponibilidad de la ruta (*Path Unavailability*)

La lista de atributos anterior omite algunas métricas comunes a propósito, por ejemplo, el *throughput* de aplicación depende de muchos factores incluyendo pérdida de paquetes, retardo de tránsito y otros que no están bajo el control del proveedor de servicio (SP) por lo que el *throughput* de aplicación no es un atributo de calidad de funcionamiento por sí mismo.

La tasa de tráfico ofrecida es parte de las descripciones del servicio y los contratos inter-SP, pero no es considerado un atributo de calidad de funcionamiento. Así, otras métricas como "retardo equivalente a pérdidas" y "reordenamiento de paquetes" son útiles, sin embargo, el valor que aportan sobre las métricas seleccionadas arriba no justifica la complejidad adicional que requieren para especificarse, implementarse y desplegarse; aunque puede que el tiempo pruebe lo contrario y se agreguen otras métricas de red básicas en el futuro.

Por otra parte, la ITU-T Y. 1540 que habla del Servicio de comunicación de datos IP y los parámetros de desempeño en cuanto a disponibilidad y transferencia de paquetes IP indica que los parámetros pueden aplicar al servicio extremo-a-extremo (datagramas IP generados por usuarios entre 2 hosts, especificados por sus direcciones IP completas), punto-a-punto (no aplican a desempeño punto-multipunto) y a las porciones de red que proveen o contribuyen a la provisión de tal servicio (ITU-T, Rec Y.1540, 2007).

---

## 2.1.2. MÉTRICAS PRINCIPALES

---

### A) RETARDO EN UN SENTIDO (MEAN ONE-WAY DELAY)

---

La recomendación Y.1543 resalta la importancia de esta métrica, no solo por lo que representa en sí misma, sino también porque el retardo está indirectamente relacionado con el *throughput* e impacta las velocidades de otras aplicaciones, es decir, las aplicaciones no funcionan bien si el retardo extremo a extremo entre los hosts es mayor que un nivel umbral o si existen variaciones erráticas en el retardo al utilizar aplicaciones de tiempo real. Además, retardos altos hacen más difícil para los protocolos de la capa de transporte mantener grandes anchos de banda, mientras que el valor mínimo de esta métrica proporciona una indicación del retardo que se experimentará si el enlace está ligeramente cargado y sus valores cercanos proporcionan un indicador de la congestión presente en el camino; finalmente brinda información indirecta de la presencia de conectividad convirtiéndose en un parámetro fundamental en la evaluación del rendimiento de las redes IP.

Los atributos de retardo son caracterizados por el retardo medio en-un-sentido, aunque opcionalmente se pueden proveer el retardo mínimo y un conjunto específico de percentiles superiores de las variaciones del retardo; aclarando que este retardo medio correspondería al "retardo en-un-sentido tipo-p-finito" (*type-p-one-way-delay*) del RFC 2679.

El Retardo De Tránsito De Paquete IP (IPTD) o simplemente *retardo*, es definido según la ITU-T para todos los paquetes exitosos y erróneos que lleguen a un DTE como el tiempo  $t_2 - t_1$ , donde  $t_1$  es el momento en que sale el paquete de la interfaz del DTE emisor y  $t_2$  es el momento en que llega a la interfaz del receptor.

Algunos parámetros relacionados son su Media Aritmética (*Mean IP Packet Transfer Delay*), el Retardo Mínimo (*Minimum IP Packet Transfer Delay*), su Mediana (*Median IP Packet Transfer Delay*) que corresponde al percentil 50 de la distribución de frecuencia y la Variación de Retardo de Paquetes Extremo-a-Extremo (*End-To-End IP Packet Delay Variation*) en el cual se mide la variación de los retardos de todos los paquetes con respecto al del primer paquete; aunque también se recomienda usar como referencia el paquete de menor retardo; además se prefiere usar la variación de retardo basada en cuantiles que la basada en intervalos.

Así, el retardo se define como el tiempo que le toma al paquete desde que deja la interfaz de red de la fuente hasta que arriba completamente a la interfaz de red del destino, lo que se había definido en las Consideraciones de Tiempo como *wire time* (IETF, RFC2679, 1999).

Por otro lado, aunque parecería lógica la suposición de que el valor del retardo de ida y vuelta (*Round Trip Time*) fuera más importante que el retardo en un solo sentido, las siguientes

razones dan el sustento necesario para lo contrario:

- El camino desde la fuente hasta el host podría ser diferente al camino desde el destino hasta la fuente, dado que diferentes secuencias de enrutadores son utilizadas para el envío y la recepción. Así, el retardo de ida y vuelta estaría midiendo el retardo de dos caminos diferentes.
- Incluso si los dos caminos son los mismos, podrían tener características de rendimiento radicalmente diferentes debido a encolamientos asimétricos.
- El desempeño de una aplicación en muchos casos depende, en esencia, del desempeño en una dirección.
- En redes habilitadas con calidad de servicio, el aprovisionamiento en una dirección podría ser completamente diferente al existente en la otra dirección, un ejemplo claro, es el enlace de subida comparado con el enlace de bajada ofrecido por un proveedor de servicios de internet (ISP).

Aunque la metodología de medida dependerá del tipo de paquetes usado para realizarlas, en general una metodología debe tener los siguientes pasos:

- Verificar que la fuente y el destino estén sincronizados, es decir que tengan relojes que estén sincronizados el uno con el otro, además de estarlo con el tiempo real.
- En el host fuente, seleccionar las direcciones IP de la fuente y el destino, y formar el paquete de prueba de tipo-P con estas direcciones. Si es necesario un relleno, este debería ser generado con bits aleatorios para evitar situaciones en las cuales la medida del retardo sea menor a la real debido a procesos de compresión a lo largo del camino.
- En el host destino, disponerse a recibir el paquete.
- En el host fuente, colocar una marca de tiempo (*time-stamp*) en el paquete tipo-P preparado y enviarlo hacia el destino.
- Si el paquete llega dentro de un periodo de tiempo razonable, tomar la marca de tiempo tan pronto como sea posible en el receptor del paquete. Entonces el retardo sería:

$$delay = T_{tx} - T_{rx}$$

- Además se debe tener en cuenta el error presente:

$$error = e_{clock} + e_{host},$$

Donde:  $e_{clock}$  es el error debido a los relojes (error en la sincronización) y  $e_{host}$  es el error debido a la diferencia entre *wire time* y *host time*.

- Si el paquete no llega dentro del periodo razonable de tiempo, el retardo se toma como indefinido (informalmente como infinito).

Así, los dos errores a tener en cuenta en la métrica de retardo son:

- *Error o incertidumbre relativa al reloj*: En general podemos encontrar que el error por reloj se debe a:



- $T_{synch}(t)$ : error en la sincronización entre el reloj de la fuente y el reloj del destino.
- $R_{fuente,destino}$ : La resolución del reloj adiciona incertidumbre acerca de cualquier medida tomada con él.
- $E_{synch}(t)$ : Una característica que presenta el error de sincronización es que en algunos intervalos de tiempo se puede aproximar a una función lineal más unos términos de orden superior, así, si se usa el componente lineal se puede reducir el valor de  $T_{synch}$  aunque permanezca una fuente de incertidumbre. Entonces se usa una función  $E_{synch}(t)$  para denotar el límite superior de incertidumbre en la sincronización, es decir:

$$|T_{synch}(t)| \leq E_{synch}(t)$$

Así, podemos concluir que el error o incertidumbre estimada introducida es:

$$e_{clock} = R_{fuente} + R_{destino} + E_{synch}(t)$$

- *Error o incertidumbre relativa a Wire time y Host time*: Generalmente las medidas del tiempo son realizadas por software tanto en la fuente como en el destino, pero el software puede solo medir el tiempo que transcurre desde cuando la fuente pone la marca de tiempo antes de enviar el paquete y cuando el destino pone la marca de tiempo justo después de haber recibido el paquete de prueba, entonces nos referimos a estos dos puntos como host times. Entonces denotamos a  $H_{fuente}$  como la diferencia entre el *wire time* y *host time* sobre el host fuente, y similarmente el  $H_{destino}$ , ambos se pueden apreciar en la siguiente figura:

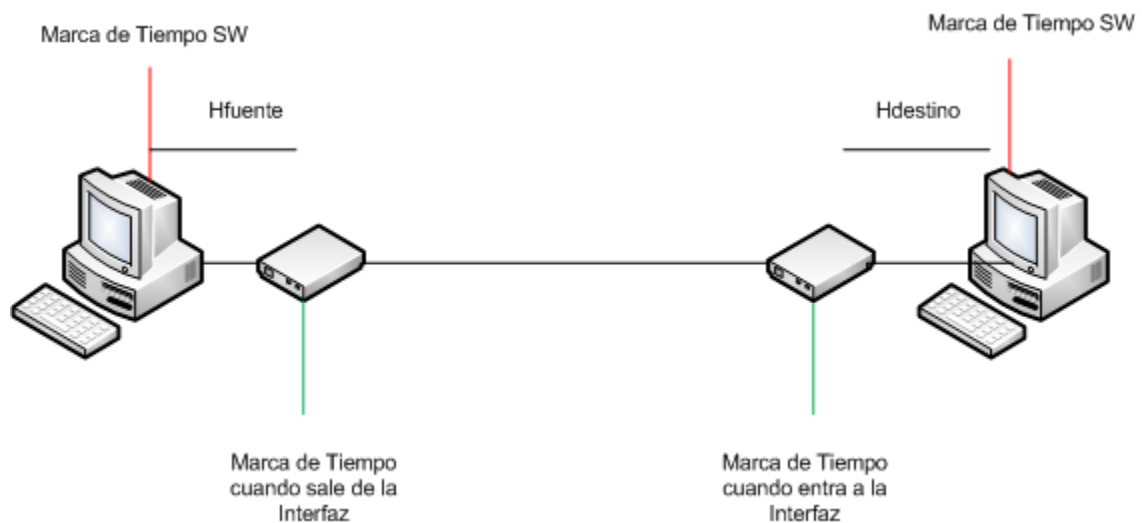


FIGURA A2. 1 WIRE TIME VS. HOST TIME

En cuanto a Calibración, generalmente los valores medidos pueden ser descompuestos así:

$$valor_{medido} = valor_{verdadero} + error_{sistemico} + error_{aleatorio},$$

Pero si el error sistemático puede ser determinado, entonces la expresión quedaría de la siguiente manera:

$$\text{valorreportado} = \text{valormedido} - \text{errorsistemático}$$

Lo que es igual a:

$$\text{valorreportado} = \text{valorverdadero} + \text{erroraleatorio}$$

Así, el objetivo es poder determinar tanto el valor del error sistemático y el error aleatorio presente en los instrumentos utilizados para realizar las medidas. Recordando los errores anteriormente vistos, podemos limitar el error presente así:

$$E_{\text{synch}(t)} + R_{\text{fuente}} + R_{\text{destino}} + H_{\text{fuente}} + H_{\text{destino}}$$

Cuando se reporta la medida, se debe indicar el error en la calibración  $e$ , tal que el verdadero valor es el valor reportado más o menos  $e$ , con 95% de confiabilidad.

$$\text{valorreportado} = \text{valorverdadero} + \delta - e$$

## B) VARIACIÓN DEL RETARDO EN UN SENTIDO (ONE-WAY PACKET DELAY VARIATION)

---

La Recomendación Y.1543 la define como la diferencia entre el 99,9 percentil de retardo y el retardo mínimo, aunque también se pueden tomar el percentil 90 (DV90) y el percentil 99 (DV99) como se especificó anteriormente. Aquí la variación del retardo se basa en observaciones de la distribución del retardo, en vez de la diferencia entre dos mediciones de retardo sucesivas como se habla en el RFC 3393, sin embargo, el RFC 3393 es suficientemente flexible para producir ya sea la variación de retardo entre-paquetes o la variación de retardo usando un retardo mínimo fijo de referencia.

EL RFC 3393 define la variación de retardo, algunas veces conocida como "*jitter*". Existen algunas diferencias ya que éste término es utilizado en diferentes contextos, por ejemplo, "*jitter*" se puede entender como la variación de una señal con respecto a una señal de reloj, esta definición es usada cuando se analizan señales síncronas y podría ser usada para la evaluación de circuitos de emulación. Pero además "*jitter*" se puede entender como variación de una métrica (ej: retardo) con respecto a alguna métrica de referencia (ej: retardo promedio o mínimo retardo). Así para evitar confusiones se prefiere utilizar "variación de retardo" que el termino jitter (IETF, RFC3393, 2002).

La variación de retardo entre un par de paquetes IP (IPDV) es la diferencia del retardo en un sentido entre los paquetes seleccionados del flujo de datos desde el punto de medida PM1 hasta el punto de medida PM2.

Algunas de las razones por las cuales es importante saber la variación de retardo presente en un enlace ó en la misma red, son las siguientes:

- Determinar el tamaño de buffers para aplicaciones *broadcast* o multimedia bajo demanda,

dado que lo importante es saber la máxima variación del retardo, para determinar el tamaño de los buffers.

- Determinar las dinámicas de las colas dentro de la red donde cambios en la variación del retardo pueden generar cambios en el tamaño de la cola de los procesos.
- Además esta métrica es particularmente robusta, respecto a variaciones en los relojes, permitiendo el uso de la métrica incluso si los relojes no están sincronizados.
- Se encuentran en investigación otros posibles usos de la métrica.

Aunque la metodología de medida dependerá del tipo de paquetes usado para realizarlas, en general una metodología debe tener los siguientes pasos:

- Empezar después del tiempo I1. En el host fuente, se seleccionan las direcciones IP de la fuente y el destino, y se forman los paquetes tipo-P con estas direcciones de acuerdo a la técnica usada (ej.: muestreo Poisson). Si es necesario utilizar relleno, este debería ser generado con bits aleatorios para evitar situaciones en las cuales la medida del retardo sea menor a la real debido a procesos de compresión a lo largo del camino.
- En el host destino, disponerse a recibir el paquete.
- En el host fuente, colocar una marca de tiempo en el paquete tipo-P preparado, y enviarlo hacia el destino.
- Si el paquete llega dentro de un periodo de tiempo razonable, tomar la marca de tiempo tan pronto como sea posible en el receptor del paquete. Entonces el retardo sería igual a:

$$delay_1 = T_{tx} - T_{rx}$$

- Si el paquete cumple con los criterios de la función de selección para el primer paquete, almacenar este primer valor de retardo, sino; continuar generando hasta encontrar un paquete que cumpla los criterios o hasta I2.
- En el host fuente, los paquetes siguen generándose acorde a la metodología utilizada. El host fuente coloca las marcas de tiempo en el paquete tipo-P, y envía hacia el destino.
- Si el paquete llega dentro de un periodo de tiempo razonable, tomar la marca de tiempo tan pronto como sea posible en el receptor del paquete. Entonces el retardo sería igual a:

$$delay_2 = T_{tx} - T_{rx}$$

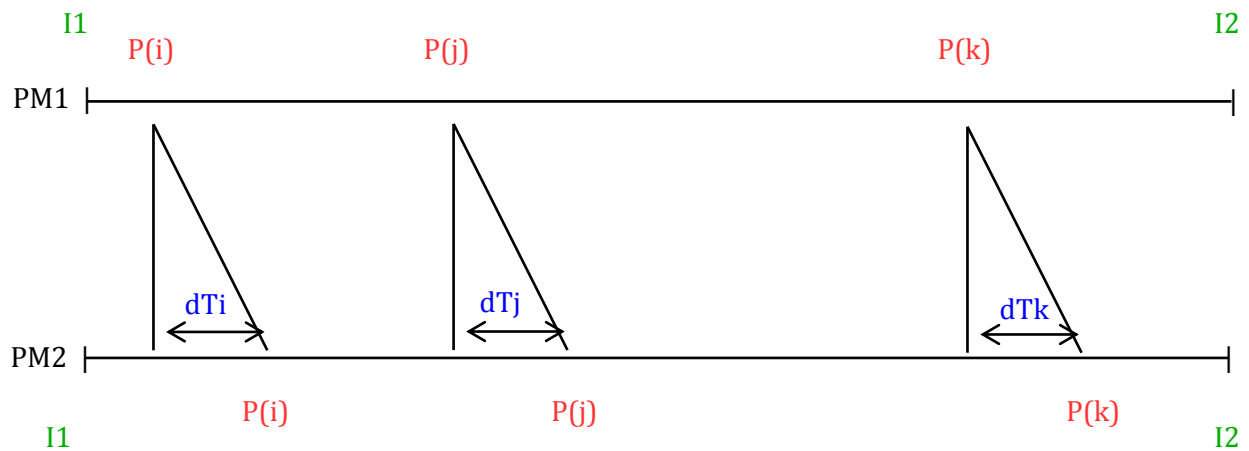
- Si el paquete cumple con los criterios para el segundo paquete, el IPDV es igual a:

$$ipdv = delay_2 - delay_1$$

Sino, los paquetes se siguen generando hasta que el criterio para el segundo paquete es cumplido o hasta I2.

- Si uno o más paquetes fallan en llegar dentro de periodos de tiempo razonables, el IPDV se declara indefinido.

La figura siguiente muestra el proceso llevado a cabo por la metodología:



$P(i)$  Paquete sub-i

PM Punto de Medida

$I1, I2$  Tiempos que marcan el inicio y el final del intervalo en el cual se toman las medidas

$dTi$  Retardo del paquete sub-i

FIGURA A2. 2 PROCESO DE MEDICIÓN DE VARIACIÓN DEL RETARDO

Entonces la variación del retardo es igual a:

$$ddT = dTk - dTi$$

Los factores que afectan a IPDV son los mismos que afectan al retardo medido en un solo sentido, con un error a tener en cuenta:

- *Skew*: se pueden cuantificar si suponemos que la función del skew es lineal en el tiempo, así el offset también es una función lineal y el error sería:

$$e(t) = K \times t + O, \text{ donde } K \text{ es una constante y } O \text{ es el offset en el tiempo cero } (0).$$

Entonces el error adicionado al restar las dos marcas de tiempo, es:

$$\text{si } t_2 > t_1 \rightarrow e(t_2) - e(t_1) = K \times (t_2 - t_1); \text{ el cual se añadirá a la diferencia } t_2 - t_1$$

- *Drift*: si no puede ser ignorado, entonces que es una función lineal del tiempo, entonces la expresión sería la siguiente:

$s_t = M \times (t^2) + N \times t + S_0$ , donde M y N son constantes y S0 es el skew en el tiempo 0.

Así, el error adicionado por drift y skew sería:

$e(t) = 0 + s(t)$  y el error adicionado a la diferencia de marcas de tiempo es:

$$e(t_2) - e(t_1) = N \times (t_2 - t_1) + M \times (t_2 - t_1)^2$$

#### C) TASA DE PÉRDIDA DE PAQUETES IP (IP PACKET LOSS RATIO)

---

La IPLR está dada por el número de paquetes perdidos sobre el total de paquetes transmitidos, pero es importante considerar que el tiempo máximo de espera debe ser lo suficientemente largo para diferenciar un paquete con un retardo alto de uno perdido (descartado o corrupto). Hay una ligera diferencia entre la definición que da la Recomendación Y.1540. de la IPLR con la Pérdida de Paquetes en-un-sentido-Tipo-p (*type-p-one-way-packet-loss*) definido en el RFC 2680, en el cual los paquetes erróneos son designados como "perdidos".

En la práctica no hay diferencia significativa en los resultados de las medidas porque los paquetes con errores usualmente son descartados antes de llegar a su destino, sin embargo, si el último enlace antes del punto de medida es propenso a los errores entonces la diferencia entre las definiciones del RFC 2680 y de la ITU-T Y.1540 pueden ser significativas.

La ITU define también, algunos parámetros opcionales relacionados como la IPER (Tasa de Paquetes IP Erróneos como el número de paquetes erróneos del total de paquetes transmitidos, la Tasa de Paquetes IP Espurios como el número de paquetes espurios por intervalo de tiempo, la IPRR (Tasa De Paquetes IP Reordenados) como el número de paquetes reordenados del total de paquetes examinados, la IPDR (Tasa De Paquetes IP Duplicados) como el número de paquetes duplicados sobre el total de paquetes transmitidos exitosamente menos los paquetes duplicados y la RIPR (Tasa De Paquetes IP Replicados) como el número de paquetes replicados sobre el total de paquetes transmitidos exitosamente menos los paquetes duplicados.

#### D) INDISPONIBILIDAD DE LA RUTA (PATH UNAVAILABILITY)

---

La Recomendación Y.1543 especifica que un periodo se considera de indisponibilidad si hay una pérdida excesiva de paquetes (IPLR > 75%) sobre un intervalo de tiempo fijo de 5 minutos.

Adicionalmente, en el RFC 2678 se definen los parámetros para conectividad instantánea unidireccional y bidireccional que pueden ser usadas para evaluar la conectividad a través del tiempo, similar a la función de disponibilidad del servicio de Y.1540.

### 3. METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN

---

La palabra metodología (del griego metà "más allá", odòs "camino" y logos "estudio"), hace referencia al conjunto de procedimientos basados en principios lógicos, utilizados para alcanzar una gama de objetivos que rigen en una investigación científica o en una exposición doctrinal (Eyssautier de la Mora, 2006).

La Recomendación Y.1543 de la ITU-T especifica algunos requerimientos que deben cumplir las medidas de calidad de funcionamiento, independientemente de la metodología utilizada para realizarlas; entre ellos se destacan:

- Todas las medidas deben ser unidireccionales (one-way) pero se pueden proveer estadísticas en ambos sentidos para estimar la calidad de funcionamiento bidireccional (round-trip performance).
- Las medidas serán tomadas de cada segmento del modelo de red [Sección 8] y pueden ser combinadas para formar métricas multi-segmento, sitio-a-sitio, borde-a-borde o Terminal.IP-a-Terminal.IP

Además, se habla de los dos tipos de metodologías de medición: activa y pasiva.

#### 3.1 MEDICIÓN ACTIVA

---

En ella se inyectan paquetes de sondeo (probes) en ciertos dispositivos de la red y son enviados a dispositivos extractores que devuelven la información medida al dispositivo inyector. El desempeño de las sondas es utilizado como un predictor del desempeño de los datos de los usuarios dado que se recolectan retardos basados en time-stamp y mediciones de pérdidas.

Los requerimientos de alto nivel de los paquetes de sondeo son:

- Basados en UDP-Echo.
- Utilizables para mediciones tanto de retardo como de pérdida de paquetes, preferiblemente en ambas direcciones entre dos dispositivos.
- Marcados con la clase de QoS DiffServ apropiada, preferiblemente en la cabecera y el cuerpo para cada dirección.
- Preferiblemente transmitidos en intervalos periódicos, con tiempos de inicio pseudo-aleatorios y cerca del inicio del intervalo de evaluación.
- Marcadas con time-stamp en los dispositivos de inyección y extracción.
- Preferiblemente marcados con direcciones de origen y destino de fuentes (pools) de direcciones, para minimizar el impacto del balanceo de carga.
- Capaces de indicar una pérdida de confiabilidad en la sincronización del reloj local, de vuelta al dispositivo iniciador
- Deberían permitir ser marcados con los bits MPLS EXT apropiados si la red de abajo usa tecnología MPLS.

En cuanto a los procedimientos de medición, se especifican en esta misma Recomendación un poco más a fondo (ITU-T, Rec Y.1543, 2007):

- Para medir el retardo promedio en un sentido: Se deben coleccionar medidas por cada periodo de rollup, descartar las medidas de los periodos de indisponibilidad, sumar todas las medidas de retardo de los paquetes exitosos y dividir las entre el número de ellos. (Para medidas multisegmento se suman los retardos medios de todos los segmentos)
- Para la variación del retardo en un sentido (jitter): Se calculan los percentiles del retardo (DV90, DV99, DV99.9, etc) y se le resta el retardo mínimo del periodo de rollup. Para las clases de QoS más estrictas se debe usar el DV99.9 mientras que para las demás se pueden usar percentiles más bajos (DV99 para las de nivel medio y para las menos estrictas DV90); sin embargo, en este trabajo todas las medidas de jitter se realizaron con el percentil DV99.9.
- La tasa de pérdida de paquetes (*Packet Loss Ratio*) se determina como:

$$PLR = \frac{\text{Paquetes Perdidos} + \text{Llegados después del tiempo máximo de espera}}{\text{Número de paquetes generados}}$$

- La indisponibilidad de la ruta la determina un  $PLR > 75\%$  en un periodo de rollup.

Adicionalmente se debe tener en cuenta de que en el evento en que se supere el nivel de tráfico que se puede cursar, pueden ser retrasados o descartados paquetes, inclusive los paquetes de prueba UDP-Echo y no hay forma de saber cuáles de ellos fueron impactados por un evento provocado por las políticas de manejo de tráfico.

## 3.2 MEDICIÓN PASIVA

---

Al utilizar este tipo de medición no se inyecta tráfico adicional en la red sino que se monitorean los parámetros en dispositivos que pueden ser entidades de medición que ya sean elementos de red residentes o entidades de medición independientes.

- Cada medición debe tener al menos direcciones de origen y destino, una métrica de QoS asociada, y el tiempo exacto de inicio y finalización.
- Los time-stamps deberían ser rastreables hasta el UTC y suficientemente exactos para cumplir los requerimientos de la sección “Consideraciones de Tiempo” del presente capítulo.
- La medición pasiva debe capturar una copia del tráfico sin introducir modificaciones en el tráfico original.
- La medición pasiva debe clasificar el tráfico en diferentes granularidades (5-tuplas, VPNID, ipv4/6, etc.)
- Deberían soportar métodos probabilísticos y de muestreo hash.
- Deberían soportar métodos de muestreo basados en flujo
- Deben realizar la operación de muestreo a la velocidad-del-cable
- Deberían soportar muestreo antes y después de la clasificación
- Debería soportar la medición del desempeño de paquetes fragmentados

- Debe tener la capacidad de medir varios tamaños de paquetes, por encima de la máxima MTU de una ruta.
- La medición pasiva debe derivar varias métricas de desempeño tales como retardo, jitter, pérdida de paquetes e indisponibilidad.

Los procedimientos de medición pasivos implican la presencia de dos dispositivos de medición que extraen una copia de los datos para crear un sumario de datos de los flujos. En contraste con la medición activa, aquí las rutas pueden cambiar durante el periodo de medición.

Para el presente proyecto se utilizaron las dos metodologías combinadas ya que, como se menciona en la sección de Mediciones Aplicadas de esta recomendación, la medición pasiva puede tomar ventaja de las sondas de medición activa permitiendo que los dos métodos sean usados de forma cooperativa.

Es así como los parámetros de retardo, variación del retardo, porcentaje de pérdida de paquetes e indisponibilidad se midieron utilizando un protocolo de medición activa (OWAMP) mientras que para monitorear los valores de uso de CPU en los enrutadores y del throughput a través de ellos se empleó un protocolo para gestión de redes (SNMP) utilizando conceptos de la metodología de medición pasiva.

Por otro lado, en el RFC 2330 se detallan los principales factores sobre medición de desempeño que ha planteado el grupo de Métricas de Desempeño IP, y se exponen a continuación.

Una metodología debe expresar una condición fundamental, llamada continuidad, es decir, si a pequeñas variaciones en las condiciones, los resultados muestran pequeñas variaciones en las medidas obtenidas. Cuando una métrica tiene al menos una metodología que presenta continuidad, se dice que la métrica en si misma exhibe continuidad.

Pero es de notar que algunas métricas no pueden proporcionar continuidad en el sentido dado, como lo es conteo de salto. Además en algunos casos es no es práctico conocer las condiciones relevantes a la medida, para lo cual es mejor recurrir al uso de estadísticas y así exhibir mejor la continuidad.

Una lista parcial del tipo común de metodologías se muestra a continuación:

- Medida directa de una métrica de rendimiento usando tráfico de prueba inyectado.
- Proyección de una métrica desde medidas de bajo nivel.
- Estimación de una métrica constituida de un conjunto de medida agregado.
- Estimación de una métrica dada en un tiempo desde un conjunto de métricas relacionadas en otros tiempos.

Existen otras metodologías que podrían ser “conservativas”, en el sentido de que el acto de medir no modifica, o si lo hace es muy leve el cambio en el valor de la métrica de desempeño que se desea medir.

Como se sabe, el error está presente en cualquier método de medida, ante lo cual el objetivo principal debe ser identificarlo (comprender y documentar las fuentes de incertidumbre/error), cuantificarlo y reducirlo al mínimo nivel, para brindar el mejor nivel de precisión posible en el valor medido.



### 3.3 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

---

Existen dos tipos de recolección de muestras:

- Periódica: se toman muestras periódicamente, aunque esto podría generar dos grandes inconvenientes:
  - Si la métrica exhibe un comportamiento periódico es probable que se esté analizando solo una parte del comportamiento; además de los problemas que acarrea en cuanto a la seguridad por ser predecible y por lo tanto anticipable.
  - El acto de medida puede perturbar lo que se está midiendo (por ejemplo, inyectando tráfico) y perturbaciones periódicas pueden llevar a la red a un estado de sincronización.
- Aleatoria: está basada en el “muestreo aditivamente aleatorio”. Las muestras son separadas e independientes y los intervalos generados aleatoriamente tienen una distribución estadística común  $G(t)$  cuya calidad depende de la distribución. Aunque al utilizar la aleatoriedad se evita el estado de sincronización, tiene dos pequeños inconvenientes:
  - El análisis en frecuencia es complicado, debido a que las muestras no ocurren en intervalos fijos tal como es asumido por la técnica de la transformada de Fourier.
  - A menos que  $G(t)$  sea una distribución exponencial, las muestras siguen siendo de alguna manera predecibles, como se discutió para las muestras periódicas.

De acuerdo a las desventajas anteriormente descritas que presenta la recolección periódica, se profundizará en el método de recolección de muestras aleatorio, y específicamente en la distribución  $G(t)$ .

---

#### 3.3.1. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA

---

Un método para la descripción de un conjunto de medidas (una muestra) es una distribución estadística, así:

$$G(x) = P\{X \leq x\}$$

Y se cumple que:

$$G(-\infty) = 0$$

$$G(+\infty) = 1$$

*Ejemplo:* Supóngase que se tienen las siguientes muestras con igual probabilidad

$$\{-2, 7, 7, 4, 18, -5\}$$

Entonces la gráfica de la función de distribución sería:

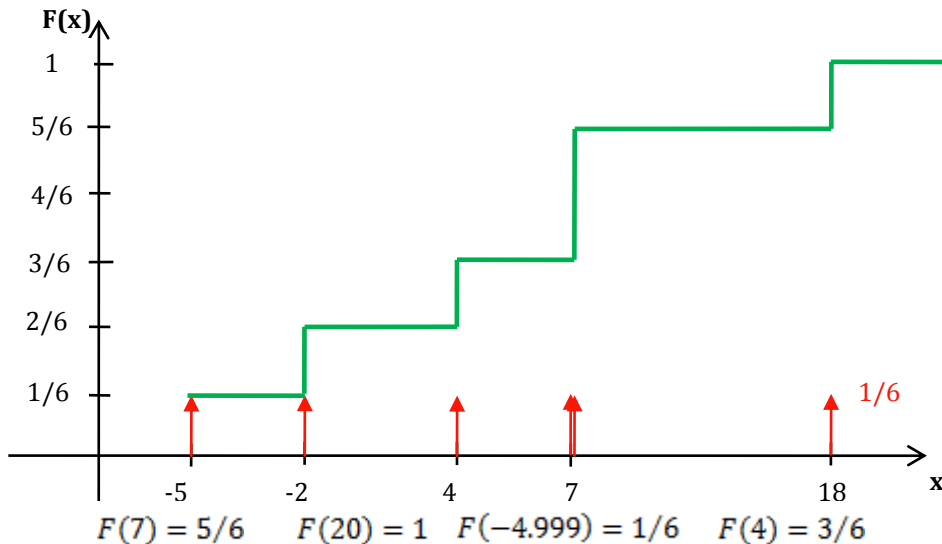


FIGURA A2. 3 FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN

Luego se define el termino *Percentil*, como el valor más pequeño de  $x$  para el cual  $F(x) \geq$  a un porcentaje dado (se divide la distribución en 100 partes). Así el 50<sup>th</sup> percentil del ejemplo sería 4, dado que  $F(4)=3/6$  o el 50%; el 25<sup>th</sup> percentil es -2, dado que  $F(-5)=1/6 < 25\%$  y  $F(-2)=2/6 > 25\%$ ; el 100<sup>th</sup> percentil es 18 y el 0<sup>th</sup> percentil es  $-\infty$ .

Por *mediana* se entiende como el punto  $x$  para la cual la probabilidad de observar un valor  $\leq x$  es igual a la probabilidad de observar un valor  $> x$ . La mediana depende del número de observaciones es par o impar:

- Si es impar, entonces el 50<sup>th</sup> percentil definido anteriormente es usado para hallar la mediana.
- Si es par, entonces la mediana es el promedio de las dos observaciones centrales; esto es, si las observaciones son ordenadas ascendentemente y numeradas de 1 a  $n$ , donde  $n=2 \cdot k$ , entonces la mediana es el promedio de las observaciones  $k^{\text{th}}$  y  $(k+1)^{\text{th}}$ .
- Muestro Geométrico: en este muestreo los eventos externos son medidos con una probabilidad fija  $p$ . Por ejemplo, se podría capturar todos los paquetes que viajan sobre un enlace pero solo almacenar el paquete si un numero generado aleatoriamente y uniformemente distribuido entre 0 y 1 es menor que un definido  $p$ .
- Muestreo Poisson: si  $G(t)$  es una distribución exponencial con razón  $\lambda$ , esto es:

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

El arribo de nuevas muestras no puede ser predicho dado que la distribución exponencial

no tiene memoria, siendo imparcial el muestreo. Además el muestreo es asintóticamente imparcial incluso si el acto de medir afecta el estado de la propia red. Este muestreo es conocido como "muestreo Poisson". Entonces el muestreo Poisson es hecho para generar intervalos independientes, distribuidos exponencialmente y la recolección de una sola medida después de que cada intervalo ha transcurrido.

Para poder generar intervalos Poisson, lo primero es determinar la tasa de lambda, a la cual las medidas individuales serán en promedio realizadas.

$$\lambda = \frac{1}{\text{promedio}}$$

Luego entonces se genera una serie de números pseudo-aleatorios distribuidos exponencialmente  $E_1, E_2, \dots, E_n$ . La primera medida se hace en el tiempo  $E_1$ , el siguiente en el tiempo  $E_1+E_2$ , y así sucesivamente.

Una técnica para la generación de números pseudo-aleatorios distribuidos exponencialmente está basada en la habilidad para generar números pseudo aleatorios  $U_1, U_2, \dots, U_n$ , que están uniformemente distribuidos entre 0 y 1, para a partir de ellos encontrar los  $E_i$ , con la siguiente formula:

$$E_i = -\log(U_i)/\lambda$$

Donde  $\log(U_i)$  es el logaritmo natural de  $U_i$ .

## 4. CONSIDERACIONES DE TIEMPO

---

Cuando se utiliza una metodología para la medición de una métrica, es crucial determinar los tipos de errores y/o incertidumbres presentes, y uno de los principales, es el error introducido por las imperfecciones en la obtención del tiempo o imperfecciones en los relojes. Por lo cual a continuación se definen los parámetros a tener en cuenta en la caracterización de los relojes,

- Offset del reloj: en un momento particular se define como la diferencia entre el tiempo reportado por el reloj y el tiempo verdadero definido por el UTC.

$$\text{offset} = T_{\text{clock}} - T_{\text{true}}$$

- Precisión del reloj: es cuan cerca el valor absoluto del offset esta de cero.
- Asimetría ó skew del reloj: en un momento particular es la diferencia de frecuencia (primera derivada del offset con respecto a el tiempo verdadero) entre el reloj y tiempo verdadero.
- *Drift*: se define como la segunda derivada del offset del reloj con respecto al verdadero tiempo.
- Resolución del reloj: es la menor unidad por la cual el tiempo del reloj es actualizado.

Este da el límite inferior de incertidumbre del reloj.

- Sincronización: si dos relojes están precisos con respecto al otro, se dice que el par de relojes están sincronizados.

$$T_{reloj1} - T_{reloj2} = 0$$

Para mejorar los valores de los anteriores parámetros se utilizan protocolos que permitan sincronizar los relojes de una red a relojes atómicos, CDMA o GPS; uno de ellos es el protocolo de Tiempo en Red NTP (*Network Time Protocol*), aunque se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones al hacer uso de tal protocolo:

- La precisión de NTP depende en parte de las propiedades (retardo particular) de los caminos de Internet usados por los pares NTP, y esto podría ser exactamente la propiedad que se desea medir, de modo que sería erróneo utilizar NTP para calibrar estas mediciones.
- NTP se centra en la precisión del reloj, lo cual puede venir a expensas a corto plazo de skew y drift de reloj. Por ejemplo, cuando un reloj de host esta indirectamente sincronizado a una fuente de tiempo, si los intervalos de sincronización no ocurren frecuentemente, entonces el host estará algunas veces enfrentado con el problema de como ajustar actualmente, el tiempo incorrecto  $T_i$ , con una considerable diferencia, del tiempo más que se acaba de aprender,  $T_a$ . Para solucionar este impase existen soluciones con la desventaja de que introducirían discontinuidades o skew.

En la Recomendación Y.1543 se resalta principalmente la importancia de la magnitud del tiempo de offset entre los puntos de medición, ya que es crítico para la exactitud de las medidas de retardo mínimo, retardo medio, y percentiles de retardo. Los atributos de variación del retardo y pérdidas son afectados también por la magnitud del offset.

Dado que los puntos de medición por los modelos de red pueden ser agrupados en 3 categorías, se tienen valores máximos para cada caso.

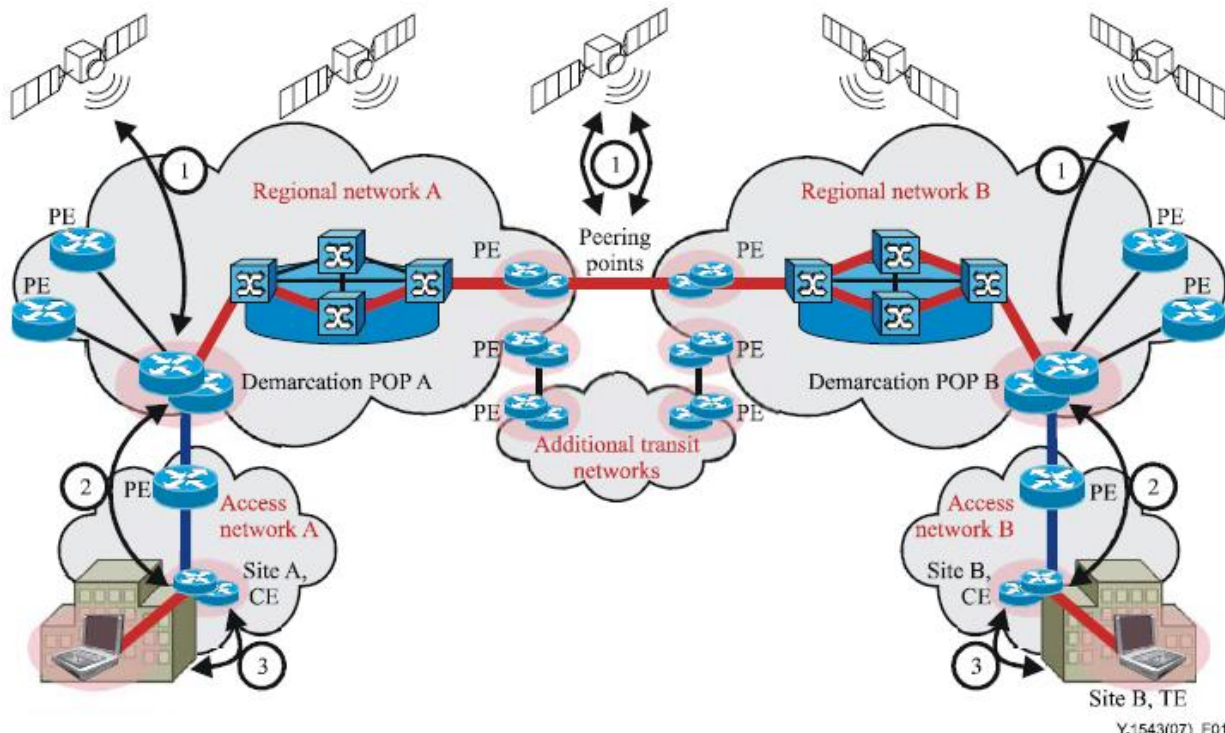


FIGURA A2. 4 CATEGORÍAS DE EQUIPOS EN LAS CUALES APLICAN VALORES DE MÁXIMO OFFSET (ITU-T, REC Y.1543, 2007)

1. Entre puntos de demarcación y Peering el offset máximo es de 100ms
2. Al incluir en la medición puntos de Customer Edge y Provider Edge el reloj del enrutador de frontera de usuario, el del enrutador de borde del proveedor o el del dispositivo de medición en estos puntos puede tener un offset con su punto de medición correspondiente no mayor a 1ms
3. Entre puntos de medición de hosts de clientes el reloj del host de medida de un usuario puede tener un offset con su enrutador de borde de usuario no mayor a 1ms

En el modelo anterior, para sincronizar los enrutadores del proveedor se usan receptores GPS, mientras que para los enrutadores de borde de usuario y hosts se usa NTP.

Dado que el offset NTP de cliente a servidor es una función de la asimetría del retardo entre ellos, el uso de NTP en algunos casos puede no alcanzar los requerimientos de offset de sincronización aunque en el presente trabajo lo cumplía a cabalidad con valores entre -0.02 y 0.03 de host a host.

Cierto grado de error es tolerable para todos los tipos de medidas (por ejemplo, <1ms), y aunque algún grado de error es tolerable para medidas de pérdidas de paquetes pero la excesiva inexactitud en las medidas de retardo en un sentido (one-way delay) las hace inutilizables (por ejemplo, >100ms), también hay un umbral de error hace que fallen todas las medidas (por ejemplo, >1seg). Normalmente los valores de retardo en un sentido son menores a 400ms, pero el tiempo de espera para paquetes antes de declararlos perdidos es de 3s.

Después de observar los modelos de medida que plantea la ITU-T, el que mejor se adapta a lo planteado en el anteproyecto es entre TEs o Equipos Terminales: TE-TE o site-site (algo así como end-to-end) que se indica en el tercer caso y para el cual hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Estabilidad: Es preferible que la dirección sea estática o que el direccionamiento se realice a partir de una búsqueda en el directorio, es mejor que sea un terminal estacionario y no móvil, y que esté siempre conectado.
- Desempeño: Las respuestas de los paquetes de prueba no deben ser impactadas por tráfico de otros programas.
- Sincronización: Obviamente necesaria para las medidas de retardo.
- Representación: Las mediciones hechas por un cierto enrutador de frontera de usuario (CE) pueden representar el desempeño de muchos otros TEs y ser utilizado como punto de referencia (*landmark*).
- Numero de TE probados: Para minimizar el número de sondas y la complejidad del manejo y reporte de datos, se deberían usar un número mínimo de puntos de referencia.

Entre las escalas de tiempo para las mediciones se destacan la unidad de tiempo de medición conocida como tiempo de "rollup" de 5 minutos, y la unidad de tiempo para reporte al cliente que es de 1 mes. Adicionalmente, la Recomendación Y. 1541 sugiere que el intervalo de evaluación para retardo (IPTD), variación del retardo (IPDV) y tasa de pérdida de paquetes (IPLR) sea de 1 minuto; el RFC 3432 se refiere a este tiempo como "Tcons".

Es vital para la confiabilidad de las medidas realizadas, que todas se realicen sobre las mismas escalas de tiempo, y las condiciones que deben cumplir estas escalas de tiempo.

Dado que comúnmente se utilizan los host para tomar las medidas, estos introducen retardos, cuellos de botella y demás, que se agravan cuando la marca de tiempo de los eventos ocurren a nivel de aplicación, son propios de los host y no tienen nada que ver con el comportamiento de la red. De esta manera para proveer un camino que hable de estos efectos, se introduce la noción de "wire time", se debe aclarar que estas nociones son solo definidas en términos de un host H observando un enlace L en una ubicación dada:

- Para un paquete P, el "tiempo de llegada en el cable" (*wire arrival time*) de P en H sobre L es el primer tiempo T en el cual cualquier bit de P ha aparecido en la posición de observación de H sobre L.
- Para un paquete P, el "tiempo de salida por el cable" (*wire exit time*) de P en H sobre L es el primer tiempo T en el cual todos los bits de P han aparecido en la posición de observación de H sobre L.

Aunque usualmente se habla de *wire time* como el tiempo de retardo de propagación de los paquetes, es decir el tiempo en que le toma en propagarse a través de un enlace L y no el tiempo hasta los host finales, es muy importante especificar como se debe realizar la medida para evitar ambigüedades y toma errónea de medidas.

## 5. CONSIDERACIONES DE LOS PAQUETES DE INFORMACIÓN

---

Una propiedad fundamental de algunas métricas de Internet es que los valores obtenidos dependen del tipo de paquetes IP utilizados para realizar las medidas. Entonces cuando se habla de “Type P” se refiere a un tipo de paquetes en especial, que puede ser definido explícitamente (ej: TCP, UDP), parcialmente definido (ej: características de los paquetes) ó definido genéricamente. Así, si los valores de una métrica dependen del tipo de paquetes involucrados en la métrica, entonces el nombre de la métrica debe incluir la frase “Type-P”, por ejemplo: “IP-connectivity” debería llamarse “IP-type-connectivity”, como en el caso de “IP-port-HTTP-connectivity”.

En cuando al direccionamiento, cuando se desea describir el camino entre dos hosts H1 y H2 que atraviesan diferentes redes, lo aconsejable es utilizar el término “src” para denotar la dirección IP del que inicia el camino y “dst” para denotar la dirección IP del final, y así evitar ambigüedades en los nombres dados a los hosts y que pueden estar en más de una red.

Además, para que se pueda decir que un paquete está formado de acuerdo al “estándar” definido en el RFC 2330, debe cumplir con los siguientes criterios:

- La longitud dada en el encabezado IP debe incluir el tamaño del IP encabezado mas el tamaño de la carga útil.
- Incluir un encabezado IP válido donde la versión sea 4 o 6, la longitud del header sea mayor o igual a 5 bytes y la suma de verificación (*checksum*) sea correcta.
- No sea un fragmento IP.
- Las direcciones fuente y destino deben corresponder a los hosts en cuestión.
- El paquete debe poseer un suficiente TTL para poder realizar todo el recorrido, o poseer el máximo valor de TTL de 255.
- No contiene opciones IP a menos que sea explícitamente denotado.
- Si un encabezado de transporte está presente, este debe contener una suma de verificación y demás campos válidos.
- Si dice tener una longitud de B octetos, entonces  $0 \leq B \leq 65535$ ; y si la longitud de la carga útil es B, entonces  $B \leq (65535 - \text{tamaño-del-encabezado-en-octetos})$ .

También se puede encontrar que existe un tipo particular de paquete, a menudo considerado el “mínimo paquete IP desde A a B”, y que tiene las siguientes características:

- Tiene la forma estándar.
- Su carga útil es 0 octetos.
- No contiene opciones.

Aunque sería deseable caracterizar los distintos tipos de tráfico y clases de QoS, esto implicaría una cantidad de mediciones demasiado grande, por lo cual la Recomendación ITU-T Y.1541 sugiere para todas las mediciones un tamaño de campo de información fijo de 160 o 1500 octetos; y especialmente, para la estimación de la calidad de funcionamiento de los parámetros IP cuando se utilizan pruebas de capas inferiores tales como mediciones de errores en los bits se recomienda un campo de información de 1500 octetos (ITU-T, Rec Y.1541, 2006)

Además, es importante que no se permita la desfragmentación de los paquetes de prueba ya que si un fragmento se pierde o tiene errores todo el paquete se considera perdido o erróneo.