



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SERVICIO DE STREAMING DE VIDEO DE YOUTUBE ENTRE LAS OPERADORAS DE DATOS MÓVILES 4G EN EL ECUADOR, PARA PROPONER PARÁMETROS MÍNIMOS DE CALIDAD**

**CÉSAR FERNANDO IÑIGUEZ PINEDA**

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**DICIEMBRE 2018**



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SERVICIO DE STREAMING DE VIDEO DE YOUTUBE ENTRE LAS OPERADORAS DE DATOS MÓVILES 4G EN EL ECUADOR, PARA PROPONER PARÁMETROS MÍNIMOS DE CALIDAD”**, de responsabilidad del señor César Fernando Iñiguez Pineda, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación:

#### Tribunal de Tesis:

Ing. Wilson Zúñiga Vinuesa; M.Sc

**PRESIDENTE**

---

Ing. Juan Manuel Lema Sevillano; M.Sc

**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Roberth Efraín Jiménez Paute; M.Sc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Ángel José Ordóñez Mendieta; M.Sc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Riobamba, Diciembre 2018

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, César Fernando Iñiguez Pineda, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

CÉSAR FERNANDO IÑIGUEZ PINEDA

No. Cédula 110405665-8

© **2018**, César Fernando Iñiguez Pineda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a mis hijas amadas Doménica y Salomé, quienes son mi fuente de inspiración en cada paso en mi superación profesional y personal. Y a mi esposa Erika por todo el apoyo y comprensión para la elaboración de este trabajo.

*César Fernando Iñiguez Pineda.*

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un sincero agradecimiento a la Universidad y maestros que contribuyeron en mi formación, que me permitió mejorar mis conocimientos y habilidades profesionales.

A los miembros del tribunal por el tiempo brindado en la revisión del presente trabajo, así como por sus comentarios.

De manera especial al Ing. Juan Lema, tutor del presente trabajo, por todas sus valiosas observaciones y aportes que hicieron que este trabajo sea mejorado, y sobre todo por la motivación entregada en cada momento.

Al personal de la Coordinación Zonal 6 de la ARCOTEL por la ayuda en la mediciones de campo realizados.

Un agradecimiento profundo al Ing. Marlon Cartagena de ARCOTEL, quien se apersonó del proyecto y brindó todas las facilidades para que este trabajo se haga una realidad.

Y a todos mis familiares y amigos que me apoyaron y dieron ánimos en todo momento.

*César Fernando Iñiguez Pineda.*

## INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN: .....	II
DERECHOS INTELECTUALES .....	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
INDICE DE CONTENIDO .....	VII
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	XIII
INDICE DE GRÁFICAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT .....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Situación problemática .....	1
1.2. Formulación del problema .....	7
1.3. Justificación de la investigación.....	8
1.4. Objetivos .....	9
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	9
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	9
1.5. Hipótesis.....	10
CAPÍTULO II .....	11
2. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Antecedentes del problema.....	11
2.2. Bases teóricas.....	13
2.2.1. <i>Telefonía móvil celular</i> .....	13
2.2.1.1. <i>Reseña histórica</i> .....	15
2.2.1.2. <i>Generaciones de la telefonía móvil</i> .....	17
2.2.1.3. <i>LTE</i> .....	24
2.2.1.4. <i>LTE advanced</i> .....	39
2.2.2. <i>Parámetros de identificación de red móvil LTE</i> .....	41
2.2.3. <i>Indicadores de medición de red LTE</i> .....	42
2.2.3.1. <i>SINR</i> .....	42
2.2.3.2. <i>RSSI</i> .....	43
2.2.3.3. <i>RSRP</i> .....	43

2.2.3.4.	<i>RSRQ</i> .....	43
2.2.3.5.	<i>BLER</i> .....	44
<b>2.2.4.</b>	<b><i>Streaming de video</i></b> .....	<b>45</b>
2.2.4.1.	<i>Parámetros del video streaming</i> .....	46
2.2.4.2.	<i>Protocolos de streaming de video</i> .....	49
<b>2.2.5.</b>	<b><i>Streaming de video YouTube</i></b> .....	<b>53</b>
2.2.5.1.	<i>Entrega de Video de YouTube</i> .....	54
2.2.5.2.	<i>Servidores caché de YouTube</i> .....	56
2.2.5.3.	<i>Gestión de tráfico en la capa de aplicación</i> .....	57
<b>2.2.6.</b>	<b><i>Calidad de servicios (QoS) de video basado en TCP como YouTube</i></b> .....	<b>57</b>
2.2.6.1.	<i>Fases de los servicios de video basados en TCP</i> .....	58
2.2.6.2.	<i>Parámetros de QoS para servicios de video basados en TCP</i> .....	59
<b>2.2.7.</b>	<b><i>Calidad de experiencia (QoE) en streaming de video</i></b> .....	<b>61</b>
2.2.7.1.	<i>Evaluación de QoE</i> .....	62
2.2.7.2.	<i>Medidas de QoE de video</i> .....	62
<b>2.2.8.</b>	<b><i>Estándar PEVQ-s</i></b> .....	<b>65</b>
<b>2.2.9.</b>	<b><i>KPIs de QoS y QoE</i></b> .....	<b>67</b>
2.2.9.1.	<i>KPIs de sesión</i> .....	68
2.2.9.2.	<i>KPIs temporales</i> .....	70
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>74</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>74</b>
<b>3.1.</b>	<b>Tipos y diseño de la investigación</b> .....	<b>74</b>
<b>3.2.</b>	<b>Métodos de la investigación</b> .....	<b>74</b>
<b>3.3.</b>	<b>Enfoque de la investigación</b> .....	<b>75</b>
<b>3.4.</b>	<b>Alcance de la investigación</b> .....	<b>75</b>
<b>3.5.</b>	<b>Población de estudio</b> .....	<b>75</b>
<b>3.6.</b>	<b>Unidad de análisis</b> .....	<b>76</b>
<b>3.7.</b>	<b>Selección de la muestra</b> .....	<b>76</b>
<b>3.8.</b>	<b>Identificación de variables</b> .....	<b>76</b>
3.8.1.	<i>Variables independientes</i> .....	76
3.8.2.	<i>Variables dependientes</i> .....	77
<b>3.9.</b>	<b>Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios</b> .....	<b>77</b>
<b>3.10.</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios</b> .....	<b>78</b>
<b>3.11.</b>	<b>Instrumentos para procesar los datos recopilados</b> .....	<b>79</b>
<b>3.12.</b>	<b>Escenarios de prueba</b> .....	<b>80</b>
3.12.1.	<i>Diseño de los escenarios</i> .....	80
3.12.1.1.	<i>Diseño de script</i> .....	80
3.12.1.2.	<i>Cobertura 4G en la ciudad de Cuenca</i> .....	82
3.12.2.	<i>Implementación de escenarios</i> .....	84
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>91</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>91</b>
<b>4.1.</b>	<b>Análisis de datos por métrica objetiva o KPI</b> .....	<b>91</b>
4.1.1.	<i>Comparación de los KPIs de sesión entre las operadoras móviles 4G</i> .....	91
4.1.2.	<i>Comparación de los KPIs temporales entre las operadoras móviles 4G</i> .....	93
4.1.2.1.	<i>Análisis del KPI Video play start time</i> .....	93
4.1.2.2.	<i>Análisis del KPI Service access time</i> .....	96
4.1.2.3.	<i>Análisis del KPI Reproduction Start Delay</i> .....	97



4.1.3.	<i>Análisis de KPI de calidad</i> .....	99
4.1.3.1.	<i>Comparación estadística de la variable MOS entre las operadoras 4G</i> .....	101
4.2.	<b>Demostración de la hipótesis</b> .....	105
<b>CAPÍTULO V</b> .....		106
5.	<b>PROPUESTA</b> .....	106
5.1.	<b>Licencias de Tems Pocket</b> .....	106
5.2.	<b>Monitoreo en tiempo real de las mediciones</b> .....	107
5.2.1.	<b>Monitoreo de parámetros de red móvil</b> .....	107
5.2.1.1.	<i>Herramienta Agent Serving Cells</i> .....	108
5.2.1.2.	<i>Herramienta Selected Agent</i> .....	109
5.2.2.	<b>Monitoreo de ejecución de scripts</b> .....	110
5.2.2.1.	<i>Herramienta events</i> .....	110
5.2.2.2.	<i>Herramienta script progress</i> .....	111
5.3.	<b>Propuesta de parámetros mínimos u objetivos de calidad de streaming de video de YouTube</b> .....	113
5.3.1.	<i>Parámetros mínimos u objetivos de calidad en KPIs de sesión</i> .....	113
5.3.2.	<i>Parámetros mínimos u objetivos de calidad en KPIs temporales</i> .....	114
5.3.3.	<i>Parámetros mínimos u objetivos de calidad en KPIs de Calidad de Experiencia.</i> ..	115
<b>CONCLUSIONES</b> .....		116
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		118
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Sistemas de telefonía celular 1G.....	20
<b>Tabla 2-2:</b> Sistemas de telefonía celular 2G .....	21
<b>Tabla 3-2:</b> Banda de Frecuencias para E-UTRA.....	28
<b>Tabla 4-2:</b> Número de Canales E-UTRA.....	30
<b>Tabla 5-2:</b> Canales de LTE en el enlace descendente y ascendente.....	31
<b>Tabla 6-2:</b> Principales entidades que conforman la red troncal EPC de LTE.....	35
<b>Tabla 7-2:</b> Interfaces de la red EPS de LTE.....	36
<b>Tabla 8-2:</b> Identificadores de red LTE .....	42
<b>Tabla 9-2:</b> Intervalos de BLER DL.....	45
<b>Tabla 10-2:</b> Resoluciones de video .....	48
<b>Tabla 11-2:</b> Puertos bien conocidos TCP.....	49
<b>Tabla 12-2:</b> Comandos HTTP.....	53
<b>Tabla 13-2:</b> Descripción de las fases de los servicios de video basados en TCP.....	58
<b>Tabla 14-2:</b> Descripción general de los parámetros de QoS y mapeo a las fases típicas de los servicios de video basados en TCP.....	59
<b>Tabla 15-2:</b> Descripción de los IDs de los activadores usados para definir los parámetros QoS .....	60
<b>Tabla 16-2:</b> Escala de MOS .....	63
<b>Tabla 17-2:</b> Definición y detalle de activadores para cada KPI analizado.....	67
<b>Tabla 18-2:</b> Tiempos recomendados para video basado en TCP .....	68
<b>Tabla 1-3:</b> Indicadores de las variables dependientes .....	77
<b>Tabla 2-3:</b> Descripción de puntos geográficos seleccionados para los escenarios.....	89
<b>Tabla 1-4:</b> Cantidad de mediciones de MOS instantáneos.....	100
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para la variable MOS.....	101
<b>Tabla 3-4:</b> Estadísticos de prueba de Kruskal Wallis.....	103
<b>Tabla 1-5:</b> Propuesta de parámetros mínimos u objetivos de calidad para KPIs temporales ...	115

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Proyección de tráfico de datos móviles mensuales hasta 2021 .....	1
<b>Figura 2-1:</b> Proyección de tráfico de datos móviles hasta 2021 .....	2
<b>Figura 3-1:</b> Tráfico de periodo máximo. América del Norte, Acceso Móvil.....	3
<b>Figura 4-1:</b> Top 10 del pico de aplicaciones en el 2016. América del Norte, Acceso Móvil .....	3
<b>Figura 5-1:</b> Tráfico de periodo máximo. América Latina, Acceso Móvil .....	4
<b>Figura 6-1:</b> Top 10 del pico de aplicaciones en el periodo. América Latina, Acceso Móvil.....	4
<b>Figura 1-2:</b> Usuarios móviles vs Conexiones móviles.....	14
<b>Figura 2-2:</b> Conectividad móvil por región .....	15
<b>Figura 3-2:</b> Reúso de frecuencias en una red de celdas .....	16
<b>Figura 4-2:</b> Primer teléfono móvil, Motorola DynaTAC 8000x.....	17
<b>Figura 5-2:</b> Cantidad de radiobases del Servicio Móvil Avanzado en Ecuador .....	18
<b>Figura 6-2:</b> MTA, teléfono móvil desarrollado por Ericsson en 1956.....	19
<b>Figura 7-2:</b> Estructura de tramas en la capa física de LTE .....	27
<b>Figura 8-2:</b> Mapeo de Canales en el enlace descendente.....	32
<b>Figura 9-2:</b> Mapeo de Canales en el enlace ascendente.....	32
<b>Figura 10-2:</b> Arquitectura EPS para red LTE .....	34
<b>Figura 11-2:</b> Red troncal EPC de la arquitectura LTE.....	35
<b>Figura 12-2:</b> Pila de protocolos en las interfaces LTE-Uu y S1-MME .....	37
<b>Figura 13-2:</b> Pila de protocolos en las interfaces S11 y S5/S8 .....	37
<b>Figura 14-2:</b> Pila de protocolos en las interfaces LTE-Uu, S1-U y S5/S8.....	38
<b>Figura 15-2:</b> Conformación de paquetes en la pila de protocolos.....	39
<b>Figura 16-2:</b> Agregación de portadoras en LTE .....	40
<b>Figura 17-2:</b> Diagrama de operación de CoMP .....	41
<b>Figura 18-2:</b> Valores de intensidad y calidad de señal LTE .....	44
<b>Figura 19-2:</b> Encabezado del protocolo UDP .....	50
<b>Figura 20-2:</b> Ubicación de RTP sobre la pila de protocolos (a) Anidamiento de paquetes .....	51
<b>Figura 21-2:</b> Ubicación de RTSP sobre la pila de protocolos.....	52
<b>Figura 22-2:</b> Esquema del proceso para la visualización de un video en YouTube.....	55
<b>Figura 23-2:</b> Arquitectura de diseño de YouTube.....	56
<b>Figura 24-2:</b> Fases típicas de los servicios de video basados en TCP.....	58
<b>Figura 25-2:</b> Resumen de Sistema para el uso de PEVQ-s .....	66
<b>Figura 26-2:</b> Capas de Calidad que usa PEVQ-s .....	66
<b>Figura 27-2:</b> Fases que incluyen los KPIs "Session Cutoff Ratio" e "Impairment Free Video Session Ratio" .....	69
<b>Figura 28-2:</b> Fases que incluye el KPI "Play Start Failure Ratio" .....	69
<b>Figura 29-2:</b> Fases que incluye el KPI "Playout Cutoff Ratio".....	70
<b>Figura 30-2:</b> Fases que incluye el KPI "Video Play Start Time" .....	71
<b>Figura 31-2:</b> Fase que incluye el KPI "Service Access Time".....	72
<b>Figura 32-2:</b> Fase que incluye el KPI "Reproduction Start Delay".....	73
<b>Figura 1-3:</b> Diagrama de flujo del script.....	82
<b>Figura 2-3:</b> Cobertura de Claro en la tecnología 4G en la ciudad de Cuenca .....	83
<b>Figura 3-3:</b> Cobertura de Movistar en la tecnología 4G en la ciudad de Cuenca.....	83
<b>Figura 4-3:</b> Cobertura de CNT E.P en la tecnología 4G en la ciudad de Cuenca .....	84
<b>Figura 5-3:</b> Tems Pocket en el dispositivo master, selección de script por operadora.....	85
<b>Figura 6-3:</b> Selección de script por operadora .....	85

<b>Figura 7-3:</b> Selección del modo “remoto” en los teléfonos móviles.....	86
<b>Figura 8-3:</b> Ejecución de los scripts desde el dispositivo master.....	87
<b>Figura 9-3:</b> Ubicación geográfica de los veintidós (22) sitios seleccionados para los escenarios de medición.....	90
<b>Figura 1-5:</b> Licencias habilitadas de medición de parámetros de calidad de streaming de YouTube.....	106
<b>Figura 2-5:</b> TEMS Status, muestra el estado de las licencias usadas por Tems Pocket.....	107
<b>Figura 3-5:</b> Herramienta “Agent Serving Cells” indicando tecnología y nivel de recepción de señal .....	108
<b>Figura 4-5:</b> Niveles RSRP de LTE de las operadoras Claro, Movistar y CNT E.P .....	109
<b>Figura 5-5:</b> Herramienta “Selected Agent” que muestra los parámetros de identificación y medición de las redes móviles.....	110
<b>Figura 6-5:</b> Eventos registrados por Tems Pocket durante la ejecución de los scripts .....	111
<b>Figura 7-5:</b> Herramienta “Scripts Progress” monitoreando el proceso de ping .....	112
<b>Figura 8-5:</b> Monitoreo de la ejecución del proceso de medición de calidad de YouTube .....	112
<b>Figura 9-5:</b> Monitoreo de la ejecución del proceso de subida de los <i>log files</i> al servidor FTP	113
<b>Figura 1-A:</b> Configuración del nombre del nuevo script .....	12
<b>Figura 2-A:</b> Ingreso del nombre de etiqueta de los log files (logfiles tag) y activación de GPS	13
<b>Figura 3-A:</b> Selección de la acción “ <i>Logfile Recording</i> ” .....	14
<b>Figura 4-A:</b> Habilitación de grabación.....	14
<b>Figura 5-A:</b> Configuración de la acción ping.....	15
<b>Figura 6-A:</b> Habilitación de PEVQ-S y selección de Video 1 .....	15
<b>Figura 7-A:</b> Detalle de las configuraciones de la acción YouTube.....	16
<b>Figura 8-A:</b> Selección de FTP para la acción “ <i>Logfile upload</i> ” .....	17
<b>Figura 9-A:</b> Selección de los log files a enviar al servidor FTP .....	18
<b>Figura 10-A:</b> Resumen de parámetros de configuración de la acción “ <i>Logfile upload</i> ” .....	18
<b>Figura 11-A:</b> Finalización de la grabación de las mediciones con la acción “ <i>Logfile recording</i> ” .....	19
<b>Figura 12-A:</b> Acciones programadas en el script.....	19

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-3:</b> Herramienta "Tems Pocket" .....	79
<b>Fotografía 2-3:</b> Teléfonos móviles conectados al master .....	86
<b>Fotografía 3-3:</b> Operación de los script con el control desde el dispositivo master .....	87
<b>Fotografía 4-3:</b> Ubicación de la herramienta Tems Pocket en un vehículo de ARCOTEL .....	88

## INDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1-4:</b> Comparación de los KPIs de sesión entre las operadoras móviles 4G .....	92
<b>Gráfica 2-4:</b> Análisis porcentual del " <i>Video Play Start Time</i> " entre las operadoras móviles ....	94
<b>Gráfica 3-4:</b> Análisis estadístico del " <i>Video Play Start Time</i> " entre las operadora móviles.....	95
<b>Gráfica 4-4:</b> Coeficiente de variación del KPI " <i>Video Play Start Time</i> " entre las operadoras móviles.....	95
<b>Gráfica 5-4:</b> Análisis porcentual del " <i>Service Access Time</i> " entre las operadoras móviles .....	96
<b>Gráfica 6-4:</b> Análisis estadístico del " <i>Service Access Time</i> " entre las operadora móviles.....	97
<b>Gráfica 7-4:</b> Análisis porcentual del " <i>Reproduction Start Delay</i> " entre las operadoras móviles .....	98
<b>Gráfica 8-4:</b> Análisis estadístico del " <i>Reproduction Start Delay</i> " entre las operadora móviles	99
<b>Gráfica 9-4:</b> Análisis estadístico del KPI " <i>Average Video Quality</i> " (MOS).....	100
<b>Gráfica 10-4:</b> Diagrama de cajas y bigotes del MOS de las operadoras móviles .....	102
<b>Gráfica 11-4:</b> Análisis porcentual en la escala de valores del MOS .....	104

## RESUMEN

Se realizó un análisis comparativo del servicio de *streaming* de video de YouTube, sobre las redes de datos móviles 4G en el Ecuador. Para la comparación se usó herramientas estadísticas sobre datos recolectados en campo mediante mediciones realizadas en la ciudad de Cuenca - Ecuador, en un ambiente *outdoor* fijo. Para las mediciones se usó la herramienta tecnológica “*Tems Pocket*”, de la empresa “InfoVista”; equipos con los que cuenta la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), institución con la que se trabajó para esta investigación. También se realizó una propuesta del uso de la herramienta “*Tems Pocket*” para futuras mediciones. El análisis comparativo se lo hace en base a los Indicadores Clave de Desempeño (KPI), tanto de Calidad de Servicio (QoS) como de Calidad de Experiencia (QoE). La Calidad de Experiencia (QoE) se midió a través del KPI “*Average Video Quality*” con el uso del estándar PEVQ-s, sobre una escala MOS. En la investigación se determinó con pruebas estadísticas que el KPI “*Average Video Quality*”, en las tres operadoras móviles, provienen de poblaciones de idéntico comportamiento, por lo tanto con distribuciones iguales. Finalmente con los resultados obtenidos se proponen parámetros mínimos u objetivos de calidad del servicio para los KPIs analizados, los cuales son: “*Video Play Start Time*”  $\leq 1,3$  segundos, “*Service Access Time*”  $\leq 0,3$  segundos, “*Reproduction Start Delay*”  $\leq 1$  segundos y “*Average Video Quality*” con MOS  $\geq 4$ .

**Palabras Clave:** <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TELECOMUNICACIONES>, <TECNOLOGIA 4G>, <INDICADOR CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI)>, <EVALUACIÓN PERCEPTUAL DE LA CALIDAD DE VIDEO STREAMING (PEVQ-s)>, <CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE)>, <CALIDAD DE SERVICIOS (QoS)>, <STREAMING DE VIDEO>.

## ABSTRACT

It was conducted a comparative analysis of the service of *streaming* of video of You Tube on the networks of 4G mobile data in Ecuador. In order to make the comparison, statistical tools were used on data collected in the field by means of measurements carried out in Cuenca city, Ecuador, into a fixed *outdoor* environment. For the measurements, it was used the technological tool "*Tems pocket*" belonging to "Info Vista" company, equipment that the Agency of Regulation and Control of Telecommunications (ARCOTEL) owns. This institution is the place where this research was carried out. In addition to this, a proposal for the use of the "*Pocket Tems*" tool for future measurements was developed. The comparative analysis was done according to the Key Performance Indicators (KPI), both for Quality of Service (QoS) and quality of experience (QoE). The quality of experience (QoE) was measured by means of the KPI "*Average Video Quality*" with the use of the PVQ-s standard, on a MOS scale. In the investigation it was determined with statistical tests that the KPI "*Average Video Quality*", in the three mobile operators, came from populations of identical behaviour, therefore with equal distributions. Finally, with the collected results, minimum parameters, or service quality objectives are proposed for the analysed KPIs, which are: "Video Play Start Time"  $\leq 1.3$  seconds, "Service Access Time"  $\leq 0.3$ , seconds "Reproduction Start Delay"  $\leq 1$  second, and "*Average Video Quality*" with MOS  $\geq 4$ .

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <4G TECHNOLOGY>, <PERFORMANCE KEY INDICATOR (KPI)>, <PERCEPTUAL EVALUATION OF THE QUALITY OF VIDEO STREAMING (PVEQ-S)>, <QUALITY OF EXPERIENCE (QoE)>, <QUALITY OF SERVICES (QoS)>, <STREAMING OF VIDEO>.

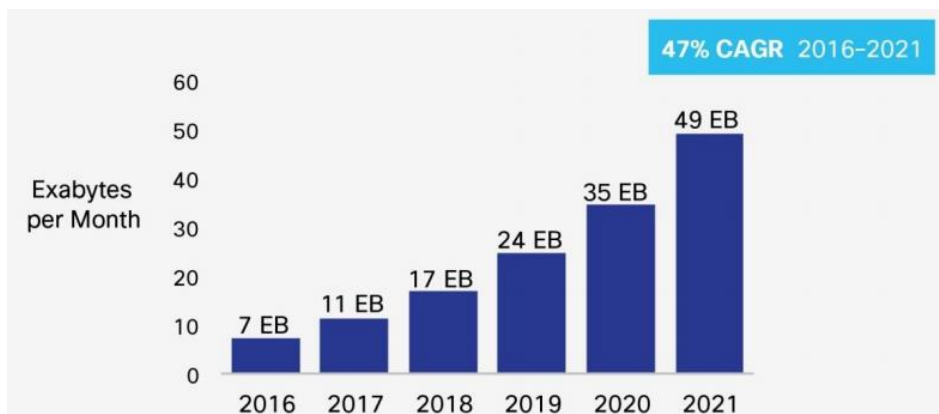


# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Situación problemática

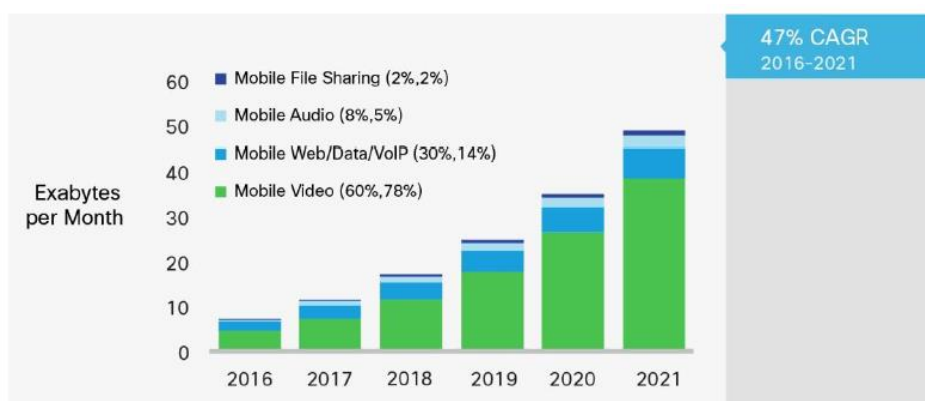
Cada año las cifras del tráfico IP global han venido incrementándose. En el 2016 este tráfico fue de 96.05 exabytes por mes, de los cuales 7.2 exabytes pertenecen a datos móviles, y esta cifra corresponde a un 7% del tráfico IP global; sin embargo, según las proyecciones se estima que para el 2021 los datos móviles ocupen un 17,4 % del tráfico IP global. (CISCO, Junio 6, 2017)



**Figura 1-1:** Proyección de tráfico de datos móviles mensuales hasta 2021  
Fuente: (Cisco, 2017)

En la Figura 1-1 se muestra la proyección de tráfico de datos móviles globales mensuales hasta el 2021, donde se observa que para dicho año, el tráfico global móvil será de 49 exabytes por mes; es decir, siete veces mayor al de 2016.

Ahora si se analiza el tráfico de video móvil, en el 2016 este representó un 60% de todo el tráfico de datos móviles, y se proyecta que para el 2021 el tráfico de video móvil sea del 78%. Esto significa que este tráfico se incrementará nueve veces entre el 2016 y el 2021, como se muestra en la Figura 2-1, en las barras de color verde. La misma figura muestra los porcentajes de utilización del resto de tráfico de datos móviles; como son: datos, acceso Web, VoIP y transferencia de archivos.



**Figura 2-1:** Proyección de tráfico de datos móviles hasta 2021  
Fuente: (Cisco, 2017, pág. 5)

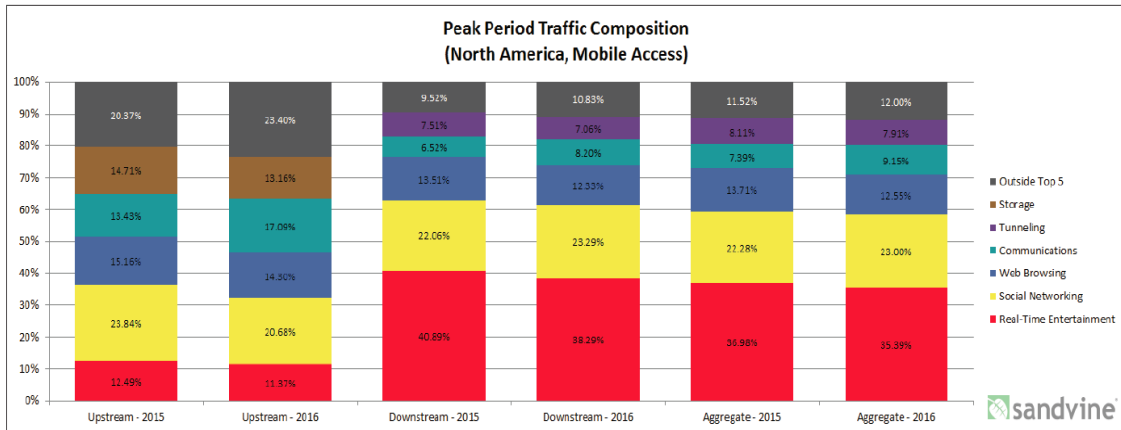
Por otra parte el *streaming* de video ha tenido mucha aceptación y su crecimiento se está acelerando. Este fenómeno se debe en buena parte a la migración de los usuarios regulares de televisión, quienes han visto las ventajas que brindan los servicios “De Libre Transmisión”, OTT (*Over The Top*), como YouTube, Hulu y Netflix. De esta manera, los usuarios han ido dejando el modo tradicional de ver televisión, en el cual se ven ligados a horarios y programación fija, mientras que la OTT brinda servicios más flexibles en el tiempo, lugar y dispositivo. Esto último permite al espectador ver el contenido que desee, cuando él desee y en donde desee, ya sea desde un *Smart TV*, celular, PC, *Tablet*, etc; y para ello solo necesita una conexión a Internet. (Koopmans, 2013).

En este sentido, YouTube es uno de los más populares servicios de OTT, que fue creado en 2005 y permite a sus usuarios cargar y compartir videos. Desde su creación, el crecimiento de YouTube ha sido acelerado; por ejemplo, el número de videos vistos por día en 2007 fue de 200 millones, en 2012 fue de cuatro billones (Kontothanssis, 2012) y en 2017 cerca de cinco billones (Donchev, 2017). Por lo tanto, YouTube como tal genera gran cantidad de tráfico en las redes.

De lo antes indicado, cabe mencionar que los espectadores frecuentemente se conectan a Internet desde redes fijas. En el 2016 el acceso desde redes fijas fue de 68,7 % (CISCO, Junio 6, 2017) las cuales brindan mayores prestaciones que las redes móviles, sobre todo en lo que tiene que ver con el ancho de banda. Un adecuado ancho de banda es el principal factor para que el video *streaming* sea de buena calidad, y es por ende que los espectadores se encuentran ya acostumbrados a la calidad video que les ofrece sus redes fijas. No obstante, el acceso al *streaming* de video desde redes móviles tiende al aumento y cuenta en la actualidad con dispositivos que soportan “Alta Definición”, HD (*High Definition*).

En otros estudios importantes dentro de lo que abarca el *streaming* de video, este se ubica dentro de los servicios de “entretenimiento en tiempo real” (*Real-Time Entertainment*), en los que se

encuentran redes sociales como: Facebook, Instagram, Snapchat, Netflix y por supuesto YouTube. Si analizamos datos de Norteamérica en acceso móvil, como podemos observar en la Figura 3-1, del tráfico general de descarga, el servicio de mayor peso es 38,29% en el 2016 y corresponde al mencionado tráfico de *Real-Time Entertainment*; esto en comparación a otros tipos de tráfico como *Web Browsing*, *Tunneling*, etc.



**Figura 3-1:** Tráfico de periodo máximo. América del Norte, Acceso Móvil

Fuente: (Sandvine, 2016, pág. 7)

Dentro de lo que tiene que ver con *Real-Time Entertainment* y el acceso móvil, YouTube ocupa el primer lugar en “tráfico de bajada” o *downstream* en América del Norte con 20,87% (en 2015 era de 19,8%) (Sandvine, 2016)), como muestra la Figura 4-1. Le siguen en *ranking* el uso de aplicaciones como Facebook, Instagram, iTunes, etc.

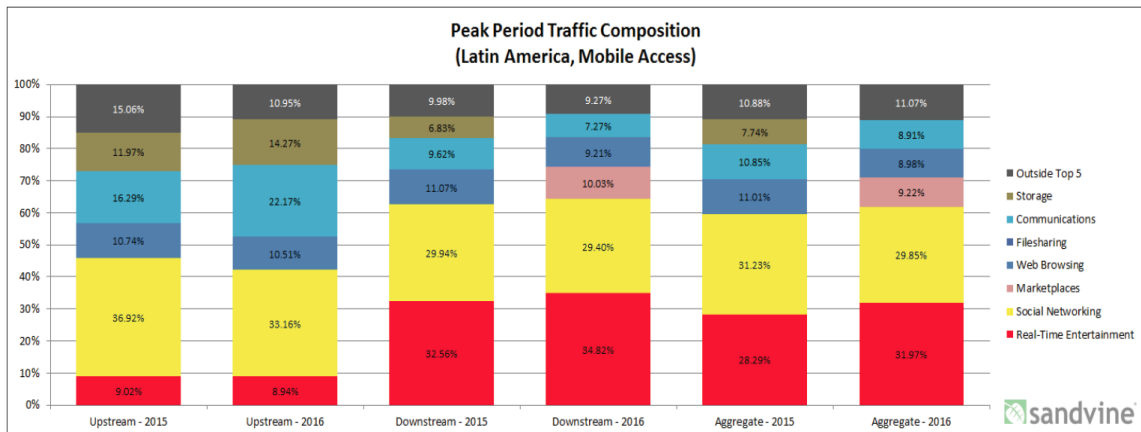
Rank	Upstream	2016	Downstream	2016	Aggregate	Share
1	Facebook	14.85%	YouTube	20.87%	YouTube	19.16%
2	SSL - OTHER	14.02%	Facebook	13.97%	Facebook	14.07%
3	Google Cloud	9.28%	HTTP - OTHER	9.36%	HTTP - OTHER	9.32%
4	HTTP - OTHER	8.92%	SSL - OTHER	6.85%	SSL - OTHER	7.62%
5	YouTube	5.01%	Instagram	6.66%	Instagram	6.31%
6	Snapchat	4.36%	Snapchat	5.17%	Snapchat	5.09%
7	Instagram	3.35%	Netflix	3.72%	Google Cloud	3.56%
8	BitTorrent	2.16%	iTunes	3.02%	Netflix	3.41%
9	FaceTime	1.97%	Google Cloud	2.87%	iTunes	2.86%
10	iCloud	1.82%	MPEG - OTHER	2.37%	MPEG - OTHER	2.17%
		65.76%		74.87%		73.57%

**Figura 4-1:** Top 10 del pico de aplicaciones en el 2016. América del Norte, Acceso Móvil

Fuente: (Sandvine, 2016).

Ahora si analizamos datos de América Latina en cuanto al acceso móvil, en la Figura 5-1 vemos que el tráfico de descarga de mayor peso en el 2016 es de 34,82% y corresponde al tráfico de

*Real-Time Entertainment*; esto en comparación a otros tipos de tráfico como *Web Browsing*, *Filesharing*, etc.



**Figura 5-1:** Tráfico de periodo máximo. América Latina, Acceso Móvil  
Fuente: (Sandvine, 2016)

Del mismo modo, en lo que concierne a *Real-Time Entertainment* en América Latina, YouTube ocupa el primer lugar en *downstream* con 26,09 % y en servicio de acceso móvil, como se muestra en la Figura 6-1.

Upstream		Downstream		Aggregate	
Facebook	30.49%	YouTube	26.09%	YouTube	23.91%
WhatsApp	15.76%	Facebook	22.92%	Facebook	23.55%
Google Cloud	11.96%	HTTP - OTHER	8.00%	HTTP - OTHER	7.70%
YouTube	6.18%	WhatsApp	7.98%	WhatsApp	7.43%
SSL - OTHER	5.94%	Instagram	4.91%	Google Market	5.85%
HTTP - OTHER	5.26%	Google Market	4.64%	Instagram	4.65%
Instagram	2.55%	MPEG - OTHER	4.46%	Google Cloud	4.41%
Google Market	1.57%	Google	3.50%	MPEG - OTHER	4.05%
MPEG - OTHER	0.94%	SSL - OTHER	2.95%	SSL - OTHER	3.27%
Snapchat	0.79%	Snapchat	1.02%	Snapchat	0.98%
	81.44%		86.28%		85.51%

**Figura 6-1:** Top 10 del pico de aplicaciones en el periodo. América Latina, Acceso Móvil  
Fuente: (Sandvine, 2016).

Con este preámbulo sobre la importancia del tráfico *Real-Time Entertainment* sobre las redes móviles y refiriéndonos en particular al *streaming* de video de YouTube, en estudios realizados se ha observado que uno de los principales factores que afecta la “Calidad de Experiencia”, QoE (*Quality of Experience*,) del usuario, son los cortes en el video; es decir las paradas que sufre la reproducción, eliminando la fluidez de la visualización (Seufert, y otros, Ninth International

Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2017). Este problema es ocasionado por inestabilidad en la conexión a Internet del usuario; por ejemplo, decremento del ancho de banda, elevación de tiempos de respuesta, paquetes perdidos, entre otros. De esta forma, YouTube, con el afán de solucionar en parte el problema, crea un método de adaptación del *streaming* de video, lo cual consiste en tener varias versiones del mismo video en diferentes resoluciones; esto es, diferentes formatos de video que se encuentran en sus servidores. La idea es ir cambiando este formato de video mientras se lo visualiza; esto si existieran cambios en las condiciones de la red. En otras palabras, YouTube adapta de acuerdo a las condiciones de la red el formato que más se ajuste y de este modo evita que se produzcan cortes en la fluidez de la reproducción; sin embargo, este método tiene sus afectaciones a la calidad del video entregado, ya que disminuye la nitidez que puede observar el usuario. Es por eso muy necesario realizar una evaluación de las características de calidad del servicio de *streaming* de YouTube en una red, para poder mejorar las condiciones de la misma y por ende mejorar la QoE, no solo en cuanto a fluidez, sino manteniendo una buena calidad de resolución para el usuario.

Por su parte, las operadoras móviles en los últimos tiempos han evidenciado que mientras el consumo de video sigue aumentando, disminuye la experiencia satisfactoria del usuario. De esta manera, las operadoras móviles se encuentran preocupadas por el aumento de la demanda del servicio de *streaming* de video y la necesidad de ofrecer al usuario una experiencia comparable a las redes fijas. De aquí nace la gran importancia de mejorar las redes móviles y sus prestaciones o servicios. (Koopmans, 2013).

En la actualidad el mayor despliegue en las redes móviles corresponde a la “Cuarta Generación”, 4G, y se puede observar que las mismas se encuentran presentes en el Ecuador desde el año 2014. La empresa pública “Corporación Nacional de Telecomunicaciones”, CNT EP, fue la primera operadora en implementarlas, con un incremento del 467% en los usuarios de la tecnología “Evolución a Largo Plazo”, LTE (*Long Term Evolution*) desde diciembre de 2014 (27.953 abonados) a febrero de 2015 (130.468 abonados). En el 2015, las operadoras OTECEL S.A (Movistar, Tuenti) y CONECEL S.A (Claro) empezaron a brindar también servicios en esta tecnología. (ARCOTEL, Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017).

El Ecuador cuenta con alrededor de 16 millones de habitantes, y existe en el país 8,1 millones de cuentas de Internet móvil. La tendencia al uso de Internet móvil ha crecido desde 2010 en 46 puntos: de 2.4% a 48,7%. (ARCOTEL, Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017). Estos datos reflejan que la tecnología 4G en el país tiene mucha aceptación; no obstante, al momento no se cuenta con un estudio local acerca de uno de los servicios más usados dentro de las redes móviles a nivel mundial, como es YouTube.

En este ámbito, a continuación se describe algunas tesis encontradas en el Ecuador que llevan relación al tema planteado:

- “EVALUACIÓN DEL MERCADO DEL SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR EN EL ECUADOR (2000-2007)” (Silva Tapia, 2010). Esta investigación está dirigida al ámbito de mercadeo de la telefonía móvil en Ecuador, tomando en cuenta datos como penetración del servicio, precios y productos ofrecidos. En cuanto a la percepción del usuario sólo se basa en los costos, cobertura, problemas técnicos y calidad de servicio en general, en base a encuestas.
- “EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET CON ACCESO MÓVIL EN EL ECUADOR” (Morales, 2013). Este estudio se enfoca a hacer un análisis de la situación de la telefonía móvil del 2003 a 2011 en base a ofertas, tecnologías, precios y análisis económico.
- “ESTUDIO TÉCNICO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS E INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) PARA INTERNET MÓVIL EN EL ECUADOR” (Estrella, 2012). Este es un estudio enfocado en la regulación del servicio de Internet móvil en el Ecuador para redes GSM y 3G.
- “ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR OFRECIDO POR LAS OPERADORAS CELULARES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, A TRAVÉS DE DRIVE TEST” (Neira, 2015). Este es un estudio realizado con pruebas de campo a través de *drive test* (equipo de medición instalado en vehículo que realiza mediciones en toda la ciudad), en las cuales se realiza mediciones básicamente de llamadas y cobertura. En general el estudio está enfocado más al servicio de telefonía.
- “ANÁLISIS DE MERCADO PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS LTE EN EL ECUADOR” (Cevallos, 2015). Este es un estudio de mercadeo realizado con encuestas y con análisis socioeconómicos del país para el servicio de LTE.

De las tesis encontradas la mayoría son anteriores a la tecnología 4G, y las que existen en 4G son de carácter de mercadeo. Así mismo, las investigaciones de carácter técnico y con mediciones de campo, están enfocadas a servicios de telefonía (voz). No existen evidencias de cuál es en realidad la calidad de *streaming* de video ofrecido por las operadoras de datos móviles 4G en el país, para identificar falencias y sugerir los mecanismos que permitan mejorar los servicios demandados.

Como se analizó anteriormente los datos de *streaming* de YouTube son uno de los servicios más populares en Internet y también de gran demanda de recursos de la red; en este sentido, se debería dar la importancia necesaria en su análisis para que las operadoras se esfuercen por mejorar las limitaciones de sus redes y de esta manera entregar una mejor calidad de experiencia (QoE) al usuario. Precisamente el presente trabajo realiza el análisis de la calidad de *streaming* de YouTube mediante la generación, evaluación y comparación de “Indicadores Clave de Desempeño”, KPIs (*Key Performance Indicator*) o simplemente “Indicadores de Gestión”, en las operadoras de telefonía móvil 4G en el país.

¿Qué tan necesario es contar con KPIs de un servicio? Por ejemplo, en el caso de pilotar un avión es necesario contar con indicadores, como altitud, presión, velocidad, etc, y así poder controlarlo. En el caso del servicio de *streaming* de video como en cualquier servicio que ofrezca la red, es necesario contar con indicadores, tales como: resolución, tiempo de acceso, tiempo de sesión, etc. ¿Cómo un ente de regulación puede exigir mejorar el servicio a un operador si no cuenta con estos indicadores?, ¿Cómo puede un usuario elegir la operadora que mejor se ajuste a sus necesidades sin poder comparar los indicadores? Básicamente no se puede controlar lo que no se mide; sin la existencia de datos o estudios realizados, no se puede controlar el servicio ni mejorarlo. Este trabajo de tesis permite tener una visión de la situación actual en cuanto a calidad del *streaming* de video YouTube en las operadoras móviles del país, y de este modo contribuir a la preparación para futuras demandas y en sí mejorar los servicios prestados a los usuarios.

Se espera que el presente trabajo de tesis sirva a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), ente regulador del país, para contar con los parámetros mínimos de calidad y así poder evaluar los servicios prestados por las operadoras; en consecuencia, las operadoras pueden mejorar sus redes, y así sean los usuarios los primeros beneficiados.

## **1.2. Formulación del problema**

En la actualidad no se cuenta con un estudio comparativo del servicio de *streaming* de video de YouTube entre las operadoras de datos móviles 4G en el Ecuador, por lo que no se cuenta con parámetros mínimos de indicadores de gestión que ayuden a garantizar la calidad de entrega del servicio.

### 1.3. Justificación de la investigación

Como se observó en las proyecciones globales de datos móviles, la demanda de servicios en estas redes, crecerá 7 veces para el 2021, comparada con el 2016. Dada la importancia de este crecimiento, el Ecuador no puede quedarse atrás y más bien debe estar preparado para asumir los nuevos retos del futuro, más aún cuando no se cuenta actualmente con estudios por parte de ninguna entidad en el Ecuador, como se lo analizó en la sección 1.1 “Situación problemática”, que permita tener parámetros de calidad de servicio de *streaming* de video en las operadoras. En este sentido el presente trabajo se basa en estudios locales de América Latina, así como globales y hace un análisis comparativo del servicio de *streaming* de video de YouTube entre las operadoras de datos móviles 4G en el Ecuador, para determinar con claridad la situación actual y sugerir los parámetros mínimos que ofrezcan un buen nivel de servicio. Del mismo modo se ofrece información fidedigna al usuario para que pueda saber la calidad de servicio que está recibiendo y tomar decisiones en base al costo-beneficio.

¿Por qué se eligió YouTube?, pues se sabe que YouTube es y promete ser uno de los principales generadores de tráfico global de Internet y principalmente sobre operadoras de servicios móviles avanzadas y por eso es importante su estudio. Las estadísticas de este tráfico actual y sus proyecciones fueron presentados en la sección 1.1: “Situación Problemática”.

Ya que actualmente en el Ecuador no existen parámetros y referencias de calidad que permitan implementar herramientas de regulación capaces de normar el servicio prestado por las operadoras, este trabajo se dispone a ayudar al ente estatal de regulación y control de las telecomunicaciones (ARCOTEL) a tener un estudio inicial en esta área. Con estos datos y con la finalidad de mantenerse competitivas las operadoras de servicios de datos móviles, dichas empresas podrán realizar ajustes dentro de sus redes móviles enfocadas en mejorar los KPIs de las mediciones realizadas. Este hecho, finalmente desembocará en el ofrecimiento de una mejor calidad de experiencia (QoE) a los usuarios finales; así también ayudará a los usuarios a tener un mejor criterio al momento de elegir un servicio con la operadora que más se ajuste a sus necesidades.

Las mediciones de campo se realizó en la ciudad de Cuenca; donde se cuenta con red móvil de 4G en las tres operadoras (Claro, Movistar y CNT E.P). Se eligió esta ciudad por temas operativos para las mediciones, como: disponibilidad de equipos *Tems Pocket* en dicha ciudad, mayor accesibilidad para realizar las mediciones, conocimiento de ubicación en la ciudad, soporte y colaboración del personal de la Coordinación Zonal 6 de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.



Se realizó un recorrido por la ciudad de Cuenca y en base a la cobertura de LTE de las tres operadoras móviles: Claro, Movistar y CNT E.P, se pudo determinar que para tener un gran abanico de mediciones con diferentes niveles de recepción RSRP, diferentes radio bases y cobertura en las tres operadoras, la determinación de veintiuno (21) sitios geográficos era lo más óptimo, ya que se cubre toda la zona de cobertura, no se replican datos y se tienen suficientes mediciones para el procesamiento de los mismos.

En los veintiún (21) sitios geográficos se realizaron ciento cincuenta (150) mediciones por cada operadora. Se observó que con mediciones menores a ciento cincuenta (150) no se tenía los datos suficientes para procesar la información y que superior a ciento cincuenta (150) los resultados se replicaban.

Para las mediciones se utiliza la herramienta *Tems Pocket*, propiedad de la ARCOTEL, estos equipos permiten medir servicios de redes sociales y servicios finales que ofrecen las redes móviles como: Facebook, Instagram, Twitter, Dropbox, Netflix, Skype, WhatsApp.

Los resultados de esta investigación, permite proponer parámetros mínimos u objetivos de calidad, que garantice la mejor Calidad de Experiencia (QoE) en los usuarios.

En resumen, este estudio es válido como punto de partida en futuros trabajos de investigación que sean enfocados en mejorar estos KPIs en las operadoras, fomentar el correcto desarrollo de las redes 4G y prepararnos para la implementación de 5G.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Realizar un análisis comparativo del servicio de *streaming* de video de YouTube entre las operadoras de datos móviles 4G en el Ecuador, para proponer parámetros mínimos u objetivos en los indicadores de gestión que garanticen la calidad y mejore la experiencia en los usuarios del servicio.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Diseñar los escenarios de prueba para medir la calidad de *streaming* de video de YouTube en las redes móviles 4G en el Ecuador.

- Implementar los escenarios de prueba con los equipos propiedad de ARCOTEL que cuentan con el software “*Tems Pocket*”, para medir la calidad de *streaming* de video de YouTube, en las operadoras móviles.
- Evaluar los resultados de las mediciones de calidad del *streaming* de video de las operadoras móviles para comparar y establecer cuáles son los parámetros mínimos u objetivos de calidad.
- Elaborar una guía con las configuraciones y mecanismos para realizar nuevas mediciones.

### **1.5. Hipótesis**

El análisis comparativo del servicio de *streaming* de video de YouTube entre las operadoras de datos móviles 4G en el Ecuador permitirá determinar y proponer parámetros mínimos u objetivos de indicadores de gestión que ayuden a garantizar la calidad de entrega del servicio.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

Dentro de los servicios de *streaming* de video se diferencia dos tipos: “en vivo” y “bajo demanda” o VoD (*Video on Demand*). El primero, también conocido como *on-the-fly encoding*, corresponde al video que se visualiza en tiempo real y la información es codificada en el instante en que es generada, como es el caso de canales de IPTV, que transmiten deportes, noticieros o eventos culturales en vivo. El segundo tipo, también conocido como *pre-encoded video*, corresponde al video que ya se encuentra codificado y almacenado en servidores y es reproducido por el usuario en el momento que este lo desee; es decir, sin depender de los *broadcast* programados por el operador del servicio.

YouTube es uno de los servicios más populares de VoD en la actualidad. Todo lo que se conoce de su arquitectura de operación; es decir, su estructura y funcionamiento, es en base a estudios realizados por investigadores, más no por publicaciones de sus autores, ya que la empresa al ser privada mantiene su información restringida (Hößfeld, Schatz, Biersack, & Plissonneau, 2013). Es así que entre más estudios se realicen respecto al *streaming* de video YouTube, más aportes se tienen a la comunidad científica para el mejoramiento de las redes que transportan dicho servicio.

En lo concerniente a las mediciones de rendimiento o de calidad del servicio de *streaming* de video, se tiene dos tipos de enfoques: el que mide desde la capa de aplicación (usuario) y el que se lo hace desde la capa de red (proveedor). La presente investigación se centra en medir desde la capa de aplicación, ya que no se trabaja dentro de las redes de los proveedores, más bien se lo hace desde la última milla; es decir, el resultado de todo lo que se recibe desde la red.

Siendo la investigación dirigida a medir desde la capa de aplicación, las métricas son encaminadas a evaluar la Calidad de Experiencia (QoE), que es una manera de calificar la aceptabilidad de un servicio por parte del usuario.

En lo que respecta a la medición de QoE, existen dos tipos de métricas: las “subjetivas” y las “objetivas”. En cuanto a las “subjetivas”, estas se refieren a valores de opinión proporcionados por el usuario, en un tipo de encuesta, en la que la gente califica el servicio recibido según su percepción, dentro de una escala de valores. Un ejemplo de la medición de métricas subjetivas es la denominada “Puntuación de Opinión Media”, MOS (*Mean Opinion Score*), que se califica

en una escala del uno (1) al cinco (5), siendo uno (1) la más baja y cinco (5) la más alta; es decir es un tipo de medida de calificación netamente humana. En cambio las métricas “objetivas” son las obtenidas en mediciones realizadas por equipamientos, los cuales permiten obtener parámetros de carácter técnico, como por ejemplo: número de interrupciones, duración de la interrupción, tiempo de inicio de video, etc. El presente trabajo de investigación se enfoca a las mediciones “objetivas”, ya que las mismas se realizaron con equipos terminales móviles que cuentan con el *software* “*Tems Pocket*” propiedad de ARCOTEL.

De todas maneras, existen algoritmos o estándares que permiten encontrar una relación entre las mediciones “objetivas” y las “subjetivas” para el caso de video *streaming*. De manera específica, el mencionado *software Tems Pocket*, brinda una puntuación de calidad con el uso del estándar “Evaluación Perceptual de la Calidad de Video Streaming”, PEVQ-s (*Perceptual Evaluation of Streaming Video Quality*) que nos entrega valores de puntuación MOS sin la intervención de personas para su evaluación “subjetiva”.

Los “Indicadores Clave de Desempeño”, KPIs (*Key Performance Indicator*) son indicadores que cuantifican y evalúan el desempeño del servicio de *streaming* a través de métricas “objetivas”, pero a través de un proceso o algoritmo también ayudan a estimar un valor “subjetivo”. Es decir a través de mediciones de KPIs que son de carácter “objetivas” y con la ayuda del estándar PEVQ-s, a través de un proceso de estimación, se logra relacionar estas métricas a un valor “subjetivo”, permitiendo así contar con una forma práctica de medir QoE sin la necesidad de contar con personas que estén evaluando subjetivamente el servicio, sino de una forma automatizada.

En la búsqueda de métodos alternativos para la medición de parámetros de *streaming* de video de YouTube desde la capa de aplicación (usuario), se ha encontrado estudios realizados con el uso de algunas herramientas, como es el caso de “YoMoApp” descrito en el paper “*Unsupervised QoE Field Study for Mobile YouTube Video Streaming with YoMoApp*” (Seufert, y otros, MPEG DASH SRD: spatial relationship description, 2017) y con “Pytomo” usado en la tesis “*Measurement And Improvement Of Quality-Of-Experience For Online Video Streaming Services*” (Juluri, 2015). En el ámbito local como se indicó en la sección 1.1 “Situación Problemática” no se ha encontrado evidencia del uso de herramientas o más aun estudios realizados en Ecuador referente al tema de calidad de *streaming* de video en redes 4G.

La “Aplicación de Monitoreo de YouTube”, YoMoApp (*YouTube Monitoring App*) es basada en *software* libre y permite de una manera fácil determinar el desempeño de la red para el *streaming* de YouTube, teniendo también la facilidad de comparar el servicio de YouTube entre las diferentes operadoras, desde una “App Android” instalada en un *Smartphone*. En la investigación mencionada anteriormente se usa esta aplicación y se estudia la correlación de los valores

medidos. YoMoApp usa medidas tanto “objetivas” como “subjetivas”; y los evaluadores de esta aplicación a través de su paper, recomiendan añadir más cualidades a la aplicación y mejorar de esta manera su operatividad (Seufert, y otros, MPEG DASH SRD: spatial relationship description, 2017). Por otra parte la forma de medición “subjetiva” puede llegar a ser muy tediosa, por lo que esta aplicación no es totalmente automatizada y puede llegar a ser no práctica.

De modo adicional, se han realizado estudios con “Pytomo” que es una herramienta con licencia GPLv2 para las plataformas Linux, Windows y Mac; es decir, orientada a PC. En nuestro estudio nos enfocamos a redes de datos móviles por lo que se pretende realizar las mediciones desde un dispositivo celular, siendo no aplicable esta herramienta.

Por esto motivos que se ha visto en la herramienta “*Tems Pocket*” de la marca InfoVista, la mejor opción para evaluar el *streaming* de video de YouTube, por su diseño de gran precisión para las mediciones de campo a realizar en ambiente *outdoor*, siendo este el primer estudio a realizar sobre el tema con estos equipos en el Ecuador.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Telefonía móvil celular**

Desde la existencia del ser humano, este ha tenido la necesidad de comunicarse, cada vez a mayores distancias; es así que se ha visto la necesidad de inventar varios dispositivos y sistemas capaces de llevar su información hacia un destino, en el caso de la telefonía, el objetivo ha sido llevar información de voz, permitiendo que las personas puedan entablar conversaciones, superando barreras como la distancia.

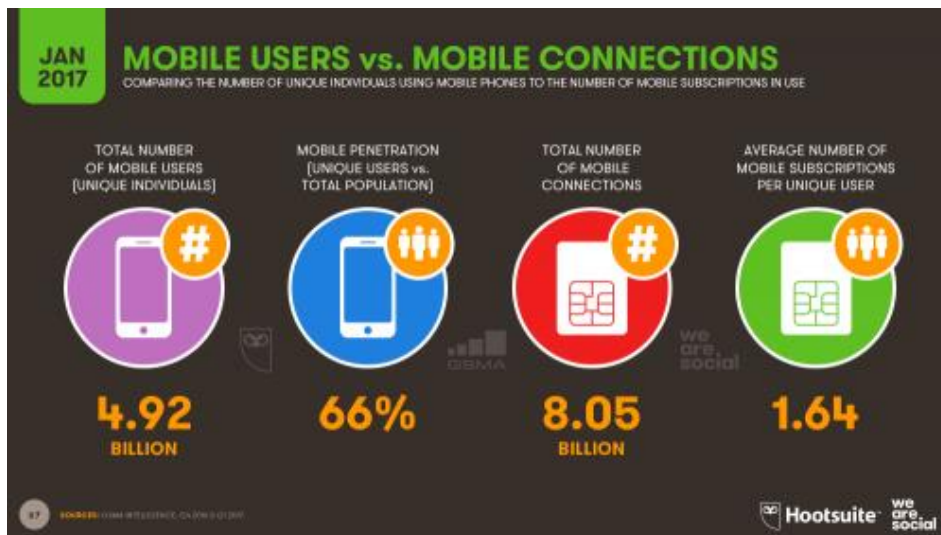
La telefonía ha tenido gran acogida por los usuarios desde su invención, es por eso que este es un servicio que ha tenido muchos cambios, con una evolución acelerada, llegando a ser un servicio básico en nuestros tiempos. En sus inicios el servicio telefónico era brindado con sistemas cableados, ahora ya contamos con sistemas inalámbricos y móviles. Si nos centramos en la telefonía móvil podemos decir que este ha tenido muchos cambios en su tecnología y arquitectura, desde sistemas analógicos hasta digitales. De igual manera los servicios ofrecidos, que en un inicio fue netamente de voz, con los avances tecnológicos nos permiten hoy tener servicios adicionales multimedia, como los presentes con los actuales *smartphones*.

La telefonía fija, evolucionó a la telefonía celular por las necesidades de los usuarios de contar con un teléfono que pueda ser transportado por él. Este sistema de telefonía celular posee una estructura de red, con celdas o células que permiten que el dispositivo del usuario pueda

movilizarse libremente por la zona de cobertura, optimizando uno de los recursos más escasos como lo es el espectro radioeléctrico, ya que este sistema celular reutiliza las frecuencias o canales.

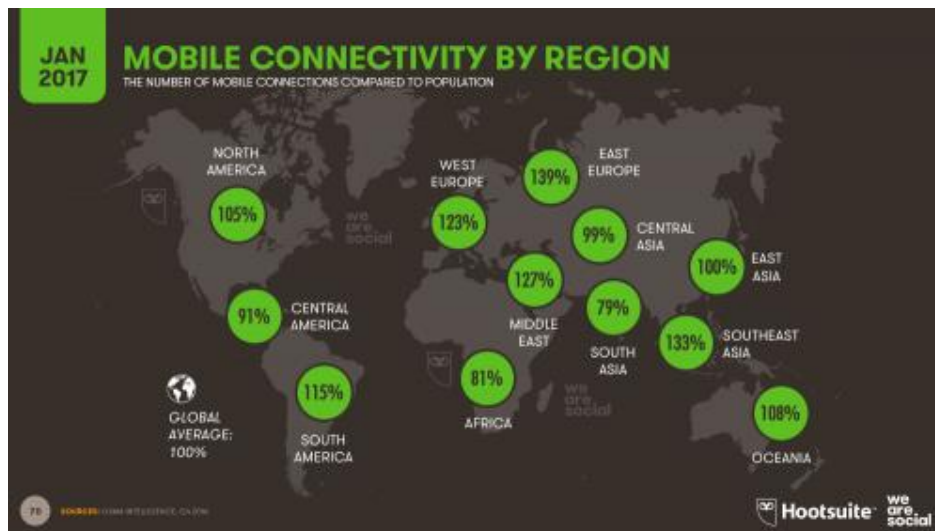
El teléfono móvil o celular, es un dispositivo electrónico que trabaja de manera inalámbrica, usando para esta función la radiofrecuencia; además es portable y en la actualidad tiene muchas funciones adicionales aparte de realizar y recibir llamadas, como son: cámara de fotos, GPS, correo electrónico, redes sociales, servicios en la nube; entre otros.

Hoy en día casi las tres cuartas partes de la población mundial tienen un teléfono móvil. Esta cantidad se acerca a los cinco (5) billones, con una penetración del 66% (We Are Social and Hootsuite, 2017); como lo muestra la Figura 1-2, donde se compara el número de individuos que usan los teléfonos móviles y el número de móviles suscriptos.



**Figura 1-2:** Usuarios móviles vs Conexiones móviles  
Fuente: (We Are Social and Hootsuite, 2017)

La penetración del servicio móvil varía de acuerdo a las regiones, existiendo regiones con menor número de conectividad, como lo son el sur de Asia y África, en comparación con la mayor cantidad de conexiones móviles activas que las tiene Europa del Este con 139%; como se puede observar en la Figura 2-2 (We Are Social and Hootsuite, 2017).



**Figura 2-2:** Conectividad móvil por región  
Fuente: (We Are Social and Hootsuite, 2017)

### 2.2.1.1. Reseña histórica

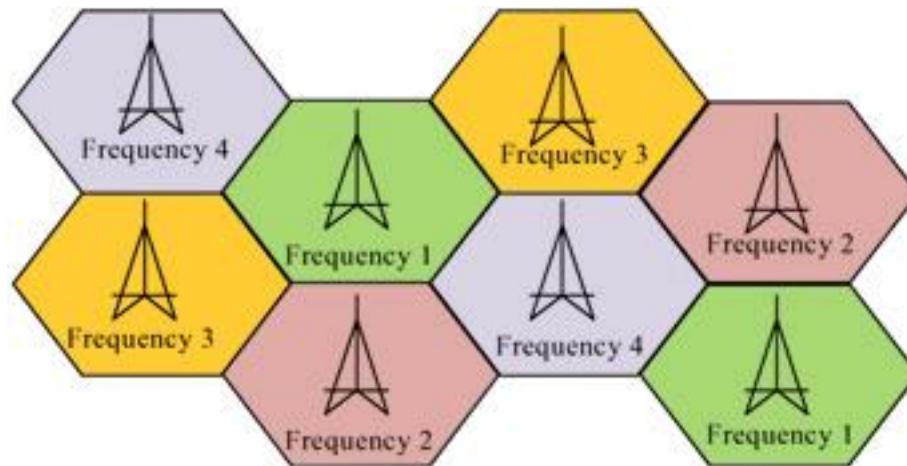
Alexander Graham Bell fue un científico estadounidense de origen escocés que se interesó por el estudio de la telegrafía y es a quien se le atribuye la invención del teléfono, a pesar de existir controversias al respecto. Este invento lo patentó el 14 de febrero de 1876 (Escobar, 2012), dando inicio así al servicio telefónico.

Más tarde, en 1890 Guglielmo Marconi, un ingeniero electromecánico de origen italiano, inició sus estudios en la telegrafía sin hilos y en 1897 patentó su invento, un dispositivo que emitía señales de radio a varios kilómetros, logrando en 1899 establecer comunicación inalámbrica entre Inglaterra y Francia, a través del canal de la Mancha. Del mismo modo, existieron controversias debido a que Marconi utilizó patentes de Nikola Tesla; sin embargo, en esta época es cuando se dio inicio a las comunicaciones por radio (History, s.f.)

Más tarde, a finales de los años 40, los laboratorios Bell desarrollaron el transistor y con eso el impulso de los circuitos integrados, dando lanzamiento a la microelectrónica; esto influyó en la reducción de costos y sobre todo tamaño de los dispositivos electrónicos, siendo un gran avance para la elaboración de los teléfonos móviles. (Tecnologías de Radiocomunicación, 2012, págs. 17-29)

La primera descripción de un sistema celular nace en 1947 en los laboratorios Bell, la cual consiste en cubrir una zona con la división de celdas. Cada celda es cubierta con una base transmisora o radiobase, permitiendo de esta manera el reúso de las frecuencias en zonas distintas dentro de la misma ciudad, sin que se interfieran, optimizando de esta manera el espectro radioeléctrico. En la Figura 3-2 se observa el concepto de una red celular, mostrando las celdas, cada una servida

por una radiobase; cada color de la celda representa una frecuencia del espectro, y de esta manera se muestra el reuso de las frecuencias (Rodríguez Gámez, Hernández Perdomo, Torno Hidalgo, García Escalona, & Rodríguez Romero, 2005).



**Figura 3-2:** Reuso de frecuencias en una red de celdas  
Fuente: (Sgomag, 2015)

Más adelante, en 1970, la FCC (*Federal Communications Commission*) reservó frecuencias de su espectro radioeléctrico para la telefonía celular, y la primera concesión se la presentó en 1977 con tecnología “Sistema Americano de Telefonía Móvil”, AMPS (*American Mobile Phone System*). De este modo, se puso en operación el primer sistema público en Estados Unidos el 13 de octubre de 1983, por parte de la empresa RBOC (*Regional Bell Operating Companies*); sin embargo, los dispositivos o teléfonos eran de gran dimensión y eran instalados en los vehículos de los usuarios (Tecnologías de Radiocomunicación, 2012, págs. 17-29).

Con este antecedente, el primer teléfono móvil como tal fue el Motorola DynaTAC 8000X que se muestra en la Figura 4-2, y pesaba casi un Kilo. La primera llamada desde este teléfono la realizó el entonces director de Motorola, Martín Cooper; la parte anecdótica de esta llamada es que la realizó a su principal rival y competidor, Joel Engel de AT&T (Infobae, 2017).

Entonces la telefonía móvil inició en los años 80, con los primeros sistemas analógicos: AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), NMT (*Nordic Mobile Telephone*), ETAC (*Extended Total Access Communication System*), entre otros, y su despliegue y evolución ha sido apresurado. En los años 90 se introduce la tecnología digital, siendo GSM el principal estándar, a partir del cual se ha llegado a estándares mejorados como UMTS y LTE. Estas tecnologías serán explicadas más adelante.





**Figura 4-2:** Primer teléfono móvil, Motorola DynaTAC 8000x

**Fuente:** (Redrum0486, 2008)

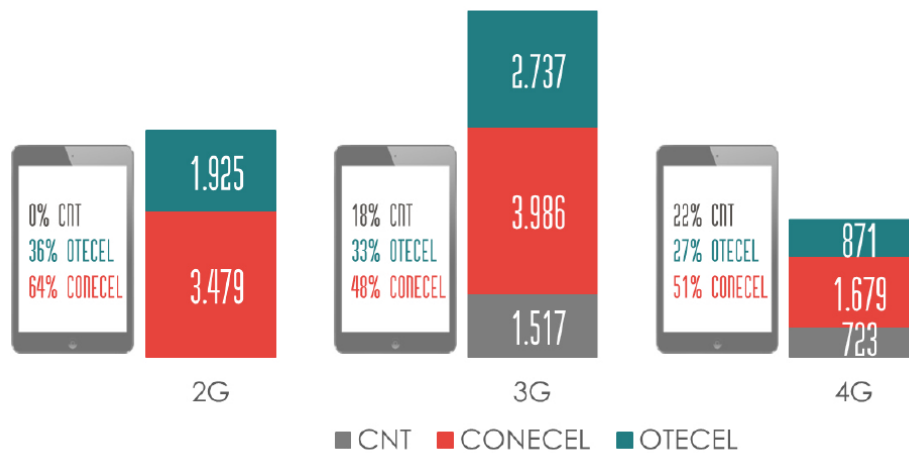
#### *2.2.1.2. Generaciones de la telefonía móvil*

La evolución de la telefonía móvil ha sido marcada por los cambios tecnológicos en sus redes. Estos hitos han dividido la evolución en generaciones, cada una con características especiales, iniciando con la primera generación (1G), siendo esta totalmente analógica, hasta llegar hoy en día a contar con una tecnología de cuarta generación (4G), que se encuentra desplegándose por el mundo. Cabe destacar que la quinta generación (5G) ya se encuentra en estudio y se proyecta que su lanzamiento sea para el 2020; sin embargo, en este trabajo solo analizaremos hasta la generación 4G, por ser la más avanzada en nuestro país.

Por otra parte, una radiobase o estación base, es el conjunto de antenas, transmisores y receptores que sirven en telefonía celular para formar las celdas y brindar el servicio móvil a los teléfonos celular, de una forma inalámbrica. En un mismo sitio físico o estación física (caseta y torre) pueden encontrarse instaladas radiobases de diferentes tecnologías conviviendo independientemente; inclusive de diferentes operadoras, con el uso de compartición de infraestructura.

En lo que respecta al Ecuador, hasta enero del 2018 se tuvieron instaladas un total de 16.917 radiobases de telefonía celular en todo el territorio nacional, entre las tres operadoras: CNT EP, CONECEL (Claro) y OTECEL (Movistar), tomando en cuenta todas las tecnologías presentes en el país (2G, 3G y 4G). Como muestra la Figura 5-2, 3G es la tecnología más desplegada en el país, con 8.240 radiobases; también se puede observar el porcentaje de despliegue que tiene cada

operadora en el país, siendo CONECEL la operadora con mayor expansión en las tres tecnologías (Infraestructura del Servicio Móvil Avanzado, 2017).



**Figura 5-2:** Cantidad de radiobases del Servicio Móvil Avanzado en Ecuador  
Fuente: (Infraestructura del Servicio Móvil Avanzado, 2017)

En las siguientes secciones se describe brevemente las principales características de cada una de las generaciones de telefonía celular, para luego centrarnos en las tecnologías de 4G, que es la que hoy en día presenta las mayores velocidades de datos y que es la tecnología en la cual se basa el presente trabajo de investigación.

➤ **Generación cero**

Esta generación inicia con la telefonía móvil pero es previa a la celular, ya que en ella aún no se divide la zona en celdas; más bien usaban una estación base con una gran potencia de transmisión, para poder servir a toda la zona, la estación base se encontraba conectada a la red de telefonía fija y los usuarios utilizaban los llamados radioteléfonos. Un ejemplo de estos dispositivos se muestra en la Figura 6-2, el teléfono MTA fabricado por la empresa Ericsson, el cual era de gran peso (50 Kg aproximadamente) y se lo instalaba en vehículos y camiones.



**Figura 6-2:** MTA, teléfono móvil desarrollado por Ericsson en 1956  
**Fuente:** (Urzainqui, 2015)

La tecnología principal de la generación cero fue IMTS (*Improved Mobile Telephone System*), que utiliza canales analógicos con “Acceso Múltiple por División de Frecuencia”, FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) y sentido de transmisión FDD (*Frequency División Duplexing*), con 23 canales distribuidos de 150 a 450 MHz. Según como fue creciendo la demanda del sistema, este pronto colapsó por el reducido número de canales que soportaba, ocasionando que los usuarios esperen un largo tiempo hasta poder obtener tono de marcado. Otro problema presentado fue el de las estaciones bases, que debían estar separadas varios kilómetros para evitar interferencias; todo esto no hizo práctico el sistema (El sistema telefónico móvil, 2003).

### ➤ **Primera generación**

En esta primera generación (1G), es donde se aplica el concepto “celular”, ya que se crean celdas manejadas por varias estaciones bases, distribuida en una zona de cobertura, ligadas con un centro de conmutación y una función de control.

De igual manera es en esta generación que ya se inicia a aplicar el concepto de *handover* (traspaso), el cual consiste en transferir una comunicación de un canal de voz a otro, sea en la misma estación base o desde una base distinta, con la finalidad de mejorar la comunicación cuando la señal de recepción es insuficiente.

Esta generación se caracteriza por usar FDMA, tener baja calidad de los canales de voz, imprecisa transferencia entre celdas, baja capacidad de usuarios, así como falta de seguridad en las comunicaciones.

La aparición de 1G, se da lugar en los años 80 y el servicio brindado era solo de voz, con el uso de tecnología analógica. Los primeros sistemas comerciales fueron: en Europa NMT (*Nordic Mobile Telephone*), y en Estados Unidos AMPS, adaptado en Europa como “Sistema de Comunicación de Acceso Total”, TACS (*Total Access Communication System*), siendo esta generación predominada por la tecnología AMPS. En la Tabla 1-2 se muestra algunas de las tecnologías usadas en la primera generación, donde se muestra el país donde se originó, el número de canales usados para las comunicaciones de voz y el espaciamiento entre los canales.

**Tabla 1-2:** Sistemas de telefonía celular 1G

Sistema	País	Nº de canales	Espaciamiento (KHz)
AMPS	EE.UU	832	30
C-450	Alemania	573	10
ETACS	Reino Unido	1240	25
JTACS	Japón	800	12,5
NMT-900	Escandinavia	1999	12,5
NMT-450	Escandinavia	180	25
NTT	Japón	2400	6,25
Radiocom-2000	Francia	560	12,5
RTMS	Italia	200	25
TACS	Reino Unido	1000	12,5

Fuente: (León, 2007)

### ➤ Segunda generación

La segunda generación (2G) inicia en los años 90 y se caracteriza por ser ya digital; de esta manera, se logra optimizar el recursos del espectro; es decir, que el mismo canal de frecuencia usado en las redes de primera generación, ahora puede ser compartido entre más usuarios, haciéndolo más eficiente y aumentando de esta forma la capacidad del sistema.

La digitalización pudo realizarse con el cambio del método de acceso, sea este “Acceso Múltiple por División de Tiempo”, TDMA (*Time Division Multiple Access*) o “Acceso Múltiple por División de Código”, CDMA (*Code Division Multiple Access*).

Entre otras cosas, en esta generación se logra terminar con la clonación de la señal, ya que usa sistemas de codificación; es decir, seguridad en la comunicación. Por otra parte se optimiza el uso de potencia de los dispositivos, lo que hace que su batería dure más y se reduzca su tamaño. Algo importante es que se logra interoperabilidad entre operadoras telefónicas, ya que se usa lenguajes

comunes que hacen que los dispositivos se puedan interconectar, lo que se conoce como *Roaming*.

Otra de las características de esta generación es que se ofrece servicios adicionales a parte de la voz, como es el “Servicio de Mensajes Cortos”, SMS (*Short Message Service*) y las primeras conexiones a Internet.

Las principales tecnologías de esta generación son:

- IS136 (D-AMPS, usa TDMA).
- IS95 basado en CDMA
- “Servicio de Comunicación Personal”, PCS (*Personal Communication Services*).
- “Sistema Global para Comunicaciones Móviles”, GSM (*Global System for Mobile Communications*).

GSM fue la tecnología de mayor apogeo. En la Tabla 2-2 se muestra un resumen de las principales tecnologías de 2G y sus características en cuanto a la banda de operación en el espectro radioeléctrico, el ancho de canal y el número de usuarios que soporta cada canal; así como las técnicas que usan para separar los canales para el acceso múltiple a los mismos.

**Tabla 2-2:** Sistemas de telefonía celular 2G

Tecnologías	Banda de Frecuencias de Operación	Ancho de Canal	Número de Usuarios por Canal	Separación de Canales
<b>D-AMPS</b>	800 & 1900 MHz	30 KHz	3	Frecuencia y Tiempo
<b>GSM</b>	900 & 1800 MHz (Europa) 800 & 1900 (EE.UU)	200 KHz	8	Frecuencia y Tiempo
<b>CDMA</b>	800 & 1900 MHz	1,25 MHz	Cerca de 20	Frecuencia y Código

Fuente: (Luca, 2014)

### ➤ Generación 2,5

La generación 2,5 (2,5 G) se caracteriza por ser superior a la 2G; sin embargo, de menores prestaciones que la 3G, siendo una generación intermedia, y surge por la necesidad de mejorar el servicio previo a la llegada de 3G. Uno de los cambios que se dio con respecto a la 2G, es la migración a una conmutación por paquetes, que permitía mejores prestaciones que su antecesora que usaba conmutación por circuitos.

Esta generación brinda nuevos servicios como lo son: “Servicio de Mensajería Mejorada”, EMS (*Enhanced Messaging Service*) y “Sistema de Mensajería Multimedia”, MMS (*Multimedia Messaging Service*). En el caso del servicio EMS, permite enviar un mensaje incluyendo a éste melodías e íconos; aumentando por ende el tamaño del mensaje y llegando a equivaler de 3 a 4 SMS. Mientras que el servicio MMS incluye la adición de imágenes, sonidos y videos.

En esta generación la velocidad de datos se incrementó con la tecnología “Servicio General de Paquetes vía Radio”, GPRS (*General Packet Radio Service*), la cual ofrece velocidades teóricas de hasta 171.2 Kbps (8 time slots de 21.4 Kbps cada uno).

En esta generación también se destacan las tecnologías: “Datos por Conmutación de Circuitos de Alta Velocidad”, HSCSD (*High-Speed Circuit-Switched Data*) y “Tasa de Datos Ampliadas Para la Evolución de GSM”, EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*).

En cuanto a HSCSD, cabe indicar que este asigna a un usuario mayor cantidad de canales temporales, además que usa un menor nivel de corrección de errores comparado con GSM, lo que le permite ofrecer velocidades de 57.6 Kbps, superior a las 9.6 Kbps que soporta GSM. HSCSD al operar sobre GSM, no requiere que el operador de telefonía móvil invierta en hardware adicional, siendo necesario solo actualización de software.

EDGE por su parte es una mejora de GPRS y opera sobre redes GSM, ya que trabaja sobre el mismo canal lógico, ancho de portadora de 200 KHz y usa TDMA. Además en esta tecnología se usa modulación 8-PSK y se triplica la capacidad de GSM, brindando velocidades de hasta 384 Kbps. En ocasiones a EDGE se la cataloga como tecnología 2,75G por su cercanía a la 3G.

### ➤ **Tercera generación**

La tercera generación (3G) de telefonía celular está definida por el estándar global “Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000”, IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*); el cual a su vez está determinada por estándares de la “Unión Internacional de Telecomunicaciones”, ITU (*International Telecommunication Union*). Esta generación se caracteriza por la convergencia que tiene en voz y datos, así como los servicios de altas capacidades de información, con tasas de transmisión que van desde los 144 Kbps hasta 2 Mbps; esto permite un alto tráfico de conexión a Internet y abrió las puertas a servicios multimedia adicionales como video, música, video conferencia, entre otras. Estas mejoras en los servicios contribuyeron también al desarrollo de los teléfonos inteligentes, así como permitió ofrecer nuevos servicios de Internet móvil a través de módem USB.

Entre las tecnologías que están dentro de 3G tenemos: W-CDMA, UMTS, FOMA y CDMA2000. UMTS fue adoptada en Europa, CDMA2000 en Estados Unidos, WCDMA y UMTS en China y Corea.

El “Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles”, UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es el estándar más importante de 3G, que emplea codificación W-CDMA, con portadoras de 5MHz. UMTS ha sido estandarizado por el “Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones”, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) y este ofrece tres modalidades en tasa de transferencia, las cuales son:

- 144 Kbps para usuarios con movilidad elevada (menor de 500 Km/h)
- 384 Kbps para usuarios con movilidad limitada (menor de 120 Km/h)
- 2 Mbps en ambientes estacionarios en interiores o caminando a 10 Km/h. (Millán, 2000)

A la tecnología UMTS se le realizaron mejoras para poder brindar mayores velocidades tanto de *uplink* como de *downlink*, llegando así a la definición de la tecnología “Acceso a Paquetes a Altas Velocidades”, HSPA (*High Speed Packet Access*), que ofrece altas prestaciones de voz y datos, acelerando el mercado de IP multimedia móvil.

HSPA es la fusión de dos protocolos móviles: “Acceso de Paquetes a Alta Velocidad en Enlace Descendente”, HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y “Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad”, HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*), siendo el primero considerado de generación 3.5G y el segundo como de 3.75G o 3.5G Plus. Con lo cual HSPA puede ofrecer velocidades de descarga teóricas de hasta 14.4 Mbps, superando a los 2 Mbps teóricos de UMTS, y de 5.76 Mbps de subida.

HSDPA se encuentra especificado dentro de la “3GPP *release 5*”, y se caracteriza por la mejora el uso del espectro de los 5 MHz de canal de bajada de W-CDMA, usando una modulación de amplitud en cuadratura 16 QAM y codificación variable de errores; además que usa un nuevo canal compartido entre los usuarios llamado “Canal de Control de Alta Velocidad-Compartida”, HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Channel*). Por otra parte, además de mejorar la velocidad de datos, esta tecnología también logra disminuir la latencia de los paquetes (Pogo, 2011)

HSUPA en cambio se encuentra especificado dentro de la “3GPP *release 6*” y es una evolución de HSDPA, que mejora la velocidad de enlace *uplink* con el “Canal Dedicado Mejorado”, E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*).

En el “3GPP *release 7*” se especifica el HSPA+, en la cual se utiliza una modulación de 64QAM en el enlace *downlink* y 16QAM en el *uplink*, con lo que se puede llegar en descarga hasta 28

Mbps y en subida hasta 11.5 Mbps. Mientras que el “*release 8*” especifica el “HSPA+ MIMO” que ofrece descargas de hasta 42 Mbps.

### ➤ **Cuarta generación**

Las especificaciones de la cuarta generación (4G) son definidas por el comité creado por la ITU, denominado IMT-Advanced, en el cual se especifica el principal requisito: la velocidad máxima de datos, la cual puede ir de 100 Mbps en movimiento hasta 1 Gbps en reposo. Además 4G ofrece “Calidad de servicios”, QoS (*Quality of Service*) y seguridad extremo a extremo, estando conformada en su totalidad por el protocolo IP; es decir, se convierte en una red netamente de conmutación por paquetes, desapareciendo la conmutación por circuitos, y esto también se da por la convergencia de redes cableadas e inalámbricas. En consecuencia, 4G como tal no se considera una tecnología o estándar específico sino un conjunto de tecnologías y protocolos interoperables que permiten brindar el mejor rendimiento.

Con la gran velocidad que brinda esta generación, se puede brindar servicios adicionales como: Internet móvil, TV móvil HD, juegos *online*, *Cloud Computing*, entre otros.

Cabe indicar que existen análisis que describen una generación previa a la 4G; la 3.9G. En esta última se encuentran tecnologías como la LTE y WiMAX 802.16e, ya que no cumplen en su totalidad con los requisitos de la cuarta generación, por tener velocidades menores a 1Gbps. No obstante, al ser estas tecnologías un avance con cambios radicales en la estructura de sus redes en comparación a la 3G, que es lo que se considera para que sea una generación totalmente aparte, y además por presiones de marketing, el 6 de diciembre de 2010 la ITU consideró a estas tecnologías como de 4G (Rathi, Narang, Kumar Rai, Aggarwal, & Kalra, 2013). El tema ha generado muchas controversias, sin embargo se ha podido observar que la tecnología LTE en nuestro país sí se la cataloga como de 4G.

Por otro lado, las tecnologías que cumplen en su totalidad con las especificaciones de 4G de IMT-Advanced están: LTE-Advanced y WiMAX 802.16m. En el presente trabajo nos centraremos en LTE y LTE-Advanced.

#### 2.2.1.3. LTE

LTE (*Long Term Evolution*), es un estándar de telefonía móvil desarrollado por la 3GPP y descrito en su *release 8*, con su versión completa publicada en el 2009. LTE es una tecnología



que soporta gran cantidad de datos con baja latencia, es económica y compatible con HSPA y sistemas anteriores, para una sencilla migración para las operadoras móviles.

LTE siendo una red robusta, basada en IP y con QoS, ofrece servicios de mejor calidad al usuario como: navegación web, FTP, video *streaming*, voz sobre IP (VoLTE), juegos en línea (ZAVIA, 2012).

LTE, por su diseño y rendimiento de red tiene las siguientes características:

- Separación del “Plano de Control” y “Plano del Usuario”.
- Latencias de 100 ms para el Plano de Control y 10 ms par el Plano del Usuario.
- Ancho de banda adaptativo, hasta 20 MHz, que pueden ser: 1.25 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz; con separación de subportadoras de 15 KHz.
- Puede trabajar en muchas bandas de frecuencia.
- Velocidades teóricas en enlace descendente: 326.5 Mbps para antenas 4x4 y ancho de banda de 20 MHz; 172.8 Mbps para antenas 2x2; 86 Mbps para antenas 1x2 con comulación 64QAM y 58 Mbps con antenas 1x2 con 16QAM.
- Velocidades teóricas en el enlace ascendente: 86,4 Mbps con ancho de banda de 20 MHz y modulación 64 QAM.
- *Handover* transparente entre celdas 2G, 3G y LTE.
- Funcionamiento en modo TDD (*Time Division Duplex*) para tráfico asimétrico de subida y bajada como por ejemplo navegación web y FDD (*Frequency Division Duplex*) para comunicaciones simétricas como llamadas de voz.
- Incremento de eficiencia espectral (número de bits por hercio), siendo 100 hasta 200% superior a HSPA.
- Modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM.
- Adaptación de la tasa binaria en función del estado del canal de propagación.
- Retransmisiones con ARQ híbrido, “Solicitud de Repetición Automática Híbrida”, HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*), el cual se describe en el capítulo 2.2.3.

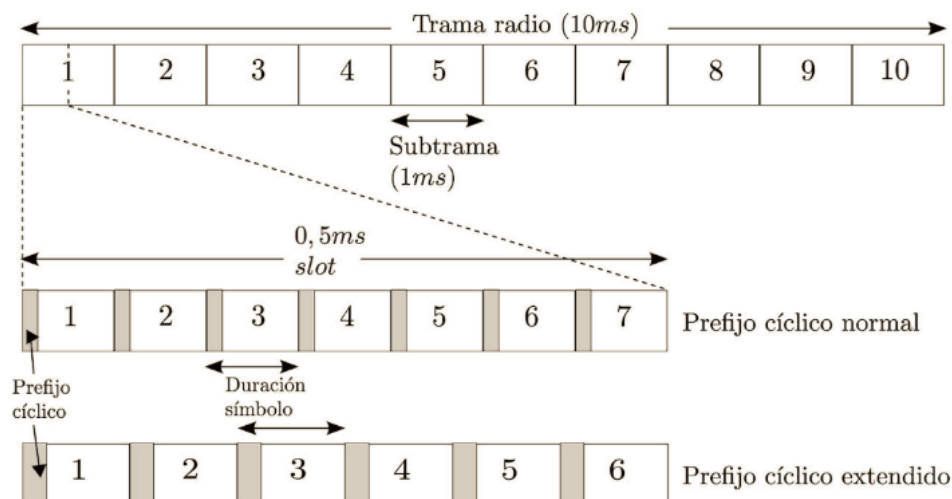
Cabe indicar que LTE utiliza varias tecnologías que le permiten brindar las características antes mencionadas; a continuación se describen algunas de ellas:

- **“Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales”, OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*):** permite gran ancho de banda para datos, con gran protección frente a reflexiones e interferencias e incremento de la eficiencia espectral con canales entre 1.25 a 20 MHz. OFDM es usado en el *downlink*, mientras que para el *uplink*, se usa “Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única” SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access), que aprovecha la limitación de potencia, siendo este más adecuado para dispositivos móviles alimentados por baterías.

- **“Múltiples Entradas Múltiples Salidas”, MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*):** es una técnica que saca provecho a las antiguas desventajas del “multitrayecto” que sufrían las ondas electromagnéticas por las reflexiones, ya que en esta técnica se usan las múltiples señales recibidas para aumentar el rendimiento. En MIMO se realiza una multiplicación espacial, con varias antenas transmisoras y varias receptoras y se usa en configuraciones de matrices 2x2 (2 antenas transmisoras y 2 antenas receptoras), 4x2 o 4x4. Aunque esto aumenta la complejidad del sistema al tener que diferenciar las señales recibidas, e incrementar el número de antenas en los dispositivos móviles, las ventajas de esta técnica son considerables.
- **“Evolución de la Arquitectura del Sistema”, SAE (*System Architecture Evolution*):** es una nueva arquitectura de red que acerca las funciones a la periferia, es decir las funciones de red que antiguamente se encontraban en el núcleo, ahora se las ha movido más cerca del usuario, lo que ayuda a disminuir la latencia, proporcionando una red plana. (Tecnologías de Radiocomunicación, 2012, págs. 249-260)

#### ➤ **Trama LTE**

Los recursos físicos en LTE se dividen en el dominio temporal a través de las llamadas tramas, tanto para *downlink* como para *uplink*. Las tramas duran 10 ms y se dividen en 10 subtramas de 1 ms cada una, y estas a su vez se subdividen en 2 *slots* de 0.5 ms. En la Figura 7-2 se muestra una trama FDD. En cada slot pueden caber 7 símbolos OFDM, y su prefijo cíclico dura 5.2  $\mu$ s en el primer símbolo y 4.7  $\mu$ s en el resto. Se utilizan solo 6 símbolos si el prefijo cíclico es extendido (17  $\mu$ s); la parte útil del símbolo OFDM siempre dura 66.67  $\mu$ s. El prefijo extendido se utiliza en macro celdas rurales donde el canal presenta mayor dispersión temporal (Cardona, Olmos, García, & Moserrat, 2011).



**Figura 7-2:** Estructura de tramas en la capa física de LTE

Fuente: (Cardona, Olmos, García, & Moserrat, 2011)

### ➤ Señales de Referencia

Las señales de referencia se sitúan en ciertos recursos elementales (una subportadora y un símbolo), estando separadas en el dominio de la frecuencia por seis (6) subportadoras; existen señales de referencia primarias (RSP) y secundarias (RSS). Estas señales sirven para obtener medidas de calidad en el enlace *downlink*, y permiten implementar mecanismos de búsqueda de celda y sincronización inicial.

### ➤ Bandas de frecuencias de operación

LTE puede operar en diferentes bandas de frecuencias, lo que lo hace muy flexible en la implementación sobre bandas liberadas de 2G y 3G; así mismo puede usar bandas bajas con mejores características de propagación. Además LTE puede operar con anchos de banda que van de 1.25 a 20 MHz, lo que permite a las operadoras montar esta tecnología sobre pequeños rangos de espectros e ir incrementando conforme se migre de tecnología.

Como se había mencionado antes, LTE puede funcionar en modo FDD (que utiliza una frecuencia para transmisión y una para recepción) y TDD (que usa la misma frecuencia para transmisión como para recepción pero en diferentes instantes de tiempo), para estas diferentes modalidades la 3GPP ha identificado diferentes bandas que se muestran en la Tabla 3-2, donde se detalla el número de banda de operación del “Acceso de Radio Terrestre Universal - Evolucionado” E-UTRA, (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*), y las bandas usadas para la transmisión y recepción de la Estación Base, respecto a la comunicación con el “Equipo de Usuario” UE (*User*

equipment). Estas bandas se denominan “bandas de operación *downlink*” y “bandas de operación *uplink*” respectivamente.

Por otra parte LTE posee un método para la identificación de la frecuencia central de la portadora tanto en el enlace *downlink* como el *uplink*, denominado: “Número de Canal de Radiofrecuencia Absoluto E-UTRA”, EARFCN (*E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number*), el cual es un número entre 0 y 65535, usado para el proceso de planificación y mantenimiento de RF, básicamente dando una manera fácil para la representación de la frecuencia.

**Tabla 3-2:** Banda de Frecuencias para E-UTRA

E-UTRA Banda de Operación	Banda de Operación <i>Uplink</i> (UL) Recepción de Estación Base Transmisión UE	Banda de Operación <i>Downlink</i> (DL) Transmisión de Estación Recepción Base UE	Modo Dúplex
	FUL_low – FUL_high	FDL_low – FDL_high	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9 MHz	1475.9 MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
15	Reservado	Reservado	FDD
16	Reservado	Reservado	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	
21	1447.9 MHz – 1462.9 MHz	1495.9 MHz – 1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz – 3490 MHz	3510 MHz – 3590 MHz	FDD
23	2000 MHz – 2020 MHz	2180 MHz – 2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
42	3400 MHz – 3600 MHz	3400 MHz – 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz – 3800 MHz	3600 MHz – 3800 MHz	TDD

Nota 1: La Banda 6 no es aplicable.

Fuente: (ETSI TS 136 104 V10.5.0 (2012-01), 2012)

La relación entre el EARFCN para el enlace *downlink* y la frecuencia portadora en MHz está dada por la ecuación 1-2 (ETSI TS 136 104 V10.5.0 (2012-01), 2012):

$$F_{DL} = F_{DL\_low} + 0.1(N_{DL} - N_{offs-DL}) \quad (1-2)$$

De donde:

- $F_{DL}$ : Frecuencia de *downlink* en MHz.
- $F_{DL\_low}$ : Frecuencia de *downlink* baja.
- $N_{DL}$ : EARFCN para el enlace *downlink*.
- $N_{offs-DL}$ : *Offset* usado para el cálculo de EARFCN del enlace *downlink*.

De igual manera la relación entre el EARFCN para el enlace *uplink* y la frecuencia portadora en MHz está dada por la ecuación 2-2 (ETSI TS 136 104 V10.5.0 (2012-01), 2012):

$$F_{UL} = F_{UL\_low} + 0.1(N_{UL} - N_{offs-UL}) \quad (2.2)$$

De donde:

- $F_{UL}$ : Frecuencia de *uplink* en MHz.
- $F_{UL\_low}$ : Frecuencia de *uplink* baja.
- $N_{UL}$ : EARFCN para el enlace *uplink*.
- $N_{offs-UL}$ : *Offset* usado para el cálculo de EARFCN del enlace *uplink*.

En la Tabla 4-2, se muestra la relación de cada una de las variables antes describas, esto permite el cálculo de la frecuencia portadora en LTE tanto para el enlace *downlink* como para el *uplink*, con un EARFCN asignado.

**Tabla 4-2: Número de Canales E-UTRA**

Banda de Operación E-UTRA	Downlink			Uplink		
	F <sub>DL_low</sub> [MHz]	N <sub>Offs-DL</sub>	Rango de N <sub>DL</sub>	F <sub>UL_low</sub> [MHz]	N <sub>Offs-UL</sub>	Rango de N <sub>UL</sub>
1	2110	0	0 – 599	1920	18000	18000 – 18599
2	1930	600	600 – 1199	1850	18600	18600 – 19199
3	1805	1200	1200 – 1949	1710	19200	19200 – 19949
4	2110	1950	1950 – 2399	1710	19950	19950 – 20399
5	869	2400	2400 – 2649	824	20400	20400 – 20649
6	875	2650	2650 – 2749	830	20650	20650 – 20749
7	2620	2750	2750 – 3449	2500	20750	20750 – 21449
8	925	3450	3450 – 3799	880	21450	21450 – 21799
9	1844.9	3800	3800 – 4149	1749.9	21800	21800 – 22149
10	2110	4150	4150 – 4749	1710	22150	22150 – 22749
11	1475.9	4750	4750 – 4949	1427.9	22750	22750 – 22949
12	729	5010	5010 – 5179	699	23010	23010 – 23179
13	746	5180	5180 – 5279	777	23180	23180 – 23279
14	758	5280	5280 – 5379	788	23280	23280 – 23379
...						
17	734	5730	5730 – 5849	704	23730	23730 – 23849
18	860	5850	5850 – 5999	815	23850	23850 – 23999
19	875	6000	6000 – 6149	830	24000	24000 – 24149
20	791	6150	6150 - 6449	832	24150	24150 - 24449
21	1495.9	6450	6450 – 6599	1447.9	24450	24450 – 24599
22	3510	6600	6600-7399	3410	24600	24600-25399
23	2180	7500	7500 – 7699	2000	25500	25500 – 25699
24	1525	7700	7700 – 8039	1626.5	25700	25700 – 26039
25	1930	8040	8040 - 8689	1850	26040	26040 - 26689
...						
33	1900	36000	36000 – 36199	1900	36000	36000 – 36199
34	2010	36200	36200 – 36349	2010	36200	36200 – 36349
35	1850	36350	36350 – 36949	1850	36350	36350 – 36949
36	1930	36950	36950 – 37549	1930	36950	36950 – 37549
37	1910	37550	37550 – 37749	1910	37550	37550 – 37749
38	2570	37750	37750 – 38249	2570	37750	37750 – 38249
39	1880	38250	38250 – 38649	1880	38250	38250 – 38649
40	2300	38650	38650 – 39649	2300	38650	38650 – 39649
41	2496	39650	39650 – 41589	2496	39650	39650 – 41589
42	3400	41590	41590 – 43589	3400	41590	41590 – 43589
43	3600	43590	43590 – 45589	3600	43590	43590 – 45589

Fuente: (ETSI, 2012)

➤ **Estructura de canales en LTE**

La interfaz radio de LTE se conforma de tres capas: la capa física, la capa de “Control de Acceso al Medio”, MAC (*Medium Access Control*) y la capa de “Control de Recursos de Radio”, RRC (*Radio Resource Control*); además tiene tres categorías de canales de datos que son:

- **Físicos:** Son canales de transmisión que llevan datos del usuario y mensajes de control a la “interfaz aire”.
- **Transporte:** Los canales de transporte de la capa física ofrecen la transferencia de información a la capa MAC y capas superiores.

- **Lógicos:** Los canales lógicos otorgan servicios a la subcapas del control de acceso al medio (MAC), dentro de la estructura de LTE. (Tecnologías de Radiocomunicación, 2012, pág. 279)

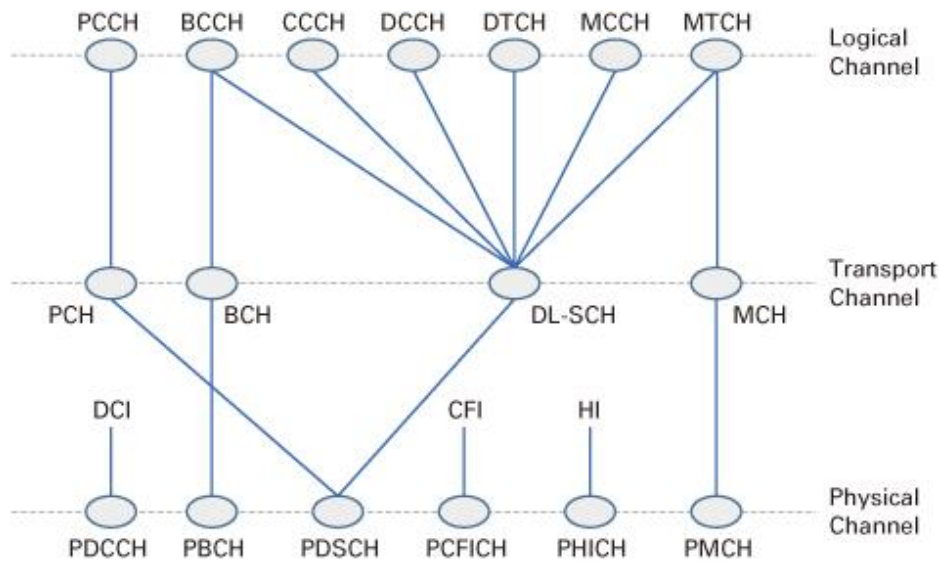
Dentro de estas categorías existen canales en el enlace descendente (*downlink*) y ascendente (*uplink*), los cuales se enumeran en la Tabla 5-2, donde se muestran los canales físicos, de transporte y lógicos en los enlaces descendentes como ascendente.

**Tabla 5-2:** Canales de LTE en el enlace descendente y ascendente

<b>Canales Físicos en Enlace Descendente</b>	<b>Canales Físicos en Enlaces Ascendente</b>
PBCH ( <i>Physical Broadcast Channel</i> )	PUCCH ( <i>Physical uplink control channel</i> )
PCFICH ( <i>Physical Control Format Indicator Channel</i> )	PUSCH ( <i>Physical uplink shared channel</i> )
PDCCH ( <i>Physical Downlink Control Channel</i> )	PRACH ( <i>Physical random access channel</i> )
PDSCH ( <i>Physical Downlink Shared Channel</i> )	
PMCH ( <i>Physical Multicast Channel</i> )	
PHICH ( <i>Physical Hybrid ARQ Indicator Channel</i> )	
<b>Canales De Transporte en Enlace Descendente</b>	<b>Canales De Transporte en Enlace Ascendente</b>
BCH ( <i>Broadcast Channel</i> )	UL-SCH ( <i>Uplink Shared Channel</i> )
DL-SCH ( <i>Downlink Shared Channel</i> )	RACH ( <i>Random Access Channel</i> )
PCH ( <i>Paging Channel</i> )	
MCH ( <i>Multicast Channel</i> )	
<b>Canales Lógicos en Enlace Descendente</b>	<b>Canales Lógicos en Enlace Ascendente</b>
BCCH ( <i>Broadcast Control Channel</i> )	DTCH ( <i>Dedicated Traffic Channel</i> )
PCCH ( <i>Paging Control Channel</i> )	MTCH ( <i>Multicast Traffic Channel</i> )
CCCH ( <i>Common Control Channel</i> )	
MCCH ( <i>Multicast Control Channel</i> )	
DCCH ( <i>Dedicated Control Channel</i> )	

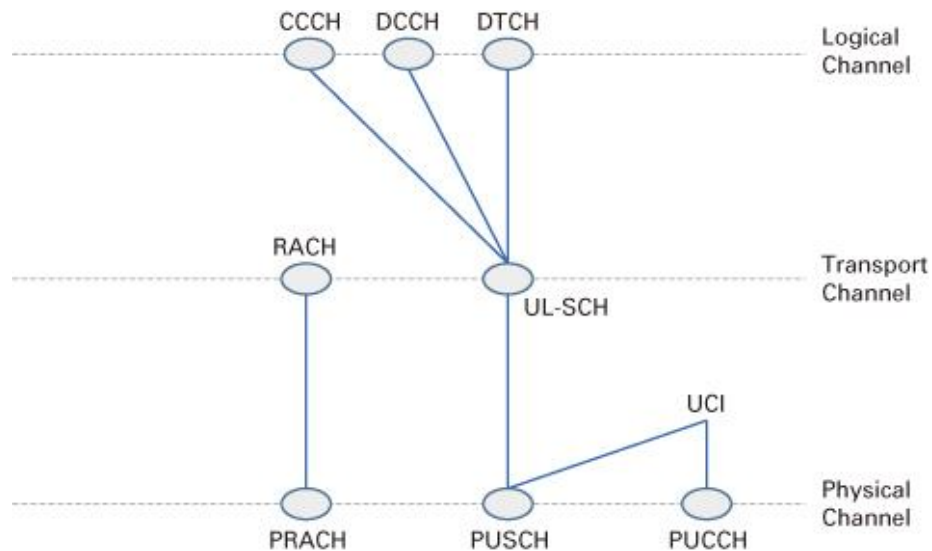
Fuente: (Satpathy, 2011)

En la interfaz aire de LTE los canales son mapeados a un único canal compartido, como muestra la Figura 8-2. Aquí se observa el mapeo de los canales lógicos, de transporte y físicos en el enlace descendente.



**Figura 8-2:** Mapeo de Canales en el enlace descendente  
Fuente: (Artiza Networks, 2017)

Mientras que en la Figura 9-2 se muestra el mapeo de los canales en el enlace ascendente, en donde el canal más importante es el PUSCH (*Physical Uplink Shared Channel*), que se encarga de transportar: señalización, datos de usuario e información de la calidad de la señal.



**Figura 9-2:** Mapeo de Canales en el enlace ascendente  
Fuente: (Artiza Networks, 2017)



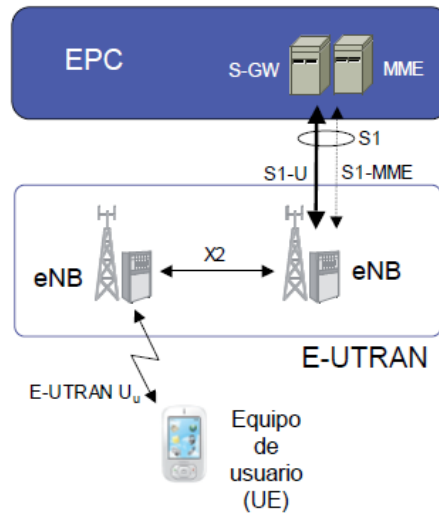
## ➤ **Arquitectura de red LTE**

La arquitectura de red LTE se la denomina “Sistema de Paquetes Evolucionado”, EPS (*Evolved Packet System*) también llamado “Evolución de la Arquitectura del Sistema”, SAE (*System Architecture Evolution*), y está conformado por tres partes, las cuales se describen a continuación:

- **Equipos de usuario:** Es un dispositivo mediante el cual el usuario puede adquirir los servicios que le proporciona la red LTE, denominado UE; este cuenta con un “Módulo de Identificación de Suscripción”, SIM (*Subscriber Identity Module*) el cual contiene la información necesaria para conectarse a la red, a través de la interfaz aire.
- **Red de Acceso:** Realiza la conexión del UE con la red troncal, y es la responsable de gestionar los recursos radio de una forma eficiente, para lograr el flujo de los servicios. En LTE esta se denomina “Red de Acceso de Radio Terrestre Universal – Evolucionado, E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*).
- **Red Troncal:** Es la parte del sistema que se encarga del control de acceso a la red LTE, además es responsable de la gestión de la movilidad de los usuarios, autenticación, interconexión con otras redes, control y señalización en llamadas de voz, entre otras. En LTE esta red se denomina “Núcleo de Paquete Evolucionado”, EPC (*Evolved Packet Core*).

En la Figura 10-2, se puede observar las tres partes que conforman la red EPS de LTE, el equipo de usuario (UE), la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC. Además se puede observar que la red de acceso E-UTRAN está conformada por el “Nodo B Mejorado”, eNode B (*Enhanced Node B*), también denotadas como eNB, que son las estaciones base en LTE. Estos nodos eNB se encuentran conectados entre sí en una red mallada (*mesh*), a través de las interfaces X2, con la finalidad de intercambiarse mensajes de señalización para la gestión eficiente de los recursos de radio así como procesos de *handover*. La red E-UTRAN se conecta con la EPC a través de la interfaz S1, que conecta el eNB a la “Entidad de Gestión de la Movilidad”, MME (*Mobility Management Entity*) y al “Servidor de Puerta de Enlace”, SGW (*Serving Gateway*), y finalmente la red E-UTRAN se conecta al UE a través de la interfaz E-UTRAN Uu.

Cabe indicar que la interfaz S1 se divide en dos interfaces: S1-MME para el plano de control y S1-U para el plano del usuario. El plano del usuario se refiere al conjunto de protocolos usados para el envío del tráfico del usuario por una interfaz, mientras que el plano de control, se refiere a los protocolos y procedimientos necesarios para gestionar dicha interfaz.

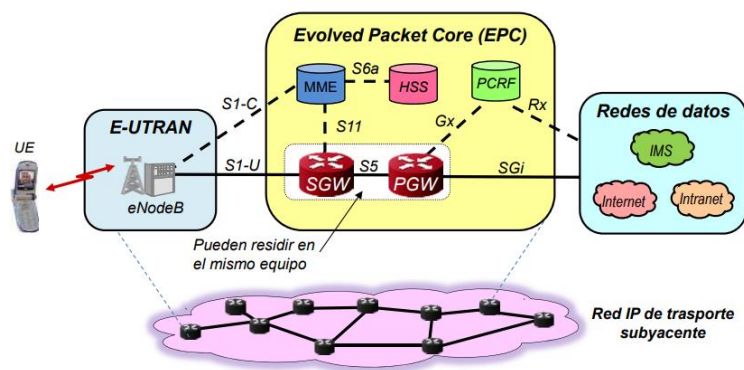


**Figura 10-2:** Arquitectura EPS para red LTE  
Fuente: (Almansa López, 2013)

Como se había indicado la red E-UTRAN está conformada por nodos eNB, la cual soporta la interfaz aire, y el control de acceso radio, y tiene las siguientes funciones:

- “Administrador de Recurso Radio”, RRM (*Radio Resource Management*): Se encarga de las características físicas de la interfaz aire: modulación, demodulación, codificación de canal, cifrado, detección y corrección de errores
- “Control de Portadora Radio”, RBC (*Radio Bearer Control*): Administra las portadoras en cuanto a: asignación, cambio y liberación.
- “Control de Admisión Radio”, RAC (*Radio Admission Control*): Se encarga de admitir o rechazar nuevas conexiones de portadoras en base a la disponibilidad y a la QoS de las conexiones en curso.

Por otra parte la red troncal EPC está conformada por elementos netamente de red de paquetes de protocolo IP, constituida por entidades como: MME, S-GW, “Puerta de Enlace de la Red de Paquete de Datos”, P-GW (*Packet Data Network Gateway*), la base de datos principal de 3GPP denominada “Servidor Local de Abonado” y HSS (*Home Subscriber Server*). Estos son los elementos básicos para la provisión de conectividad IP entre la E-UTRAN y la red externa a través de la red troncal EPC, como se puede observar en la Figura 11-2, donde también se muestra la “Función de Política y Reglas de Cargas”, PCRF (*Policy Charging and Rules Function*) que proporciona gestión de políticas QoS y tarificación.



**Figura 11-2:** Red troncal EPC de la arquitectura LTE

Fuente: (Campana, 2015)

La red LTE puede conectarse con redes externas como Internet o servicios como el “Subsistema Multimedia IP”, IMS (IP *Multimedia Subsystem*); además cada entidad se conecta entre sí mediante interfaces, las cuales se detallan en la Figura 11.2.

Dentro de la arquitectura EPC las principales entidades lógicas se describen en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Principales entidades que conforman la red troncal EPC de LTE

ENTIDADES	SIGNIFICADO DE ACRÓNIMO	FUNCIONES
MME	Entidad de Gestión de la Movilidad, <i>Mobility Management Entity</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor de señalización.</li> <li>- Gestión de movilidad y sesiones.</li> <li>- Recolección de información de facturación.</li> <li>- Autenticación con el HSS.</li> <li>- Autentica, autoriza y selecciona red externa para servicios externos.</li> </ul>
SGW	Servidor de Puerta de Enlace, <i>Serving Gateway</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de plano de usuario controlado por el MME.</li> <li>- Intercambio de tráfico de usuario entre la E-UTRAN y el de la red IP.</li> <li>- Conexión con otras redes 3GPP.</li> <li>- Punto de monitoreo de las políticas establecidas por el PCRF.</li> <li>- Administrador de Calidad de Servicios (QoS).</li> </ul>
PGW	Puerta de Enlace de la Red de Paquete de Datos, <i>Packet Data Network Gateway</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambio de tráfico con redes externas.</li> <li>- Asignación de dirección IP al UE.</li> <li>- Traspaso con redes no 3GPP.</li> <li>- Filtrado de paquetes.</li> </ul>
HSS	Servidor Local de Abonado, <i>Home Subscriber Server</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos de usuarios.</li> <li>- Identidades, datos de servicio, localización de usuarios.</li> </ul>
PCRF	Función de política y reglas de cargas, <i>Policy Charging and Rules Function</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de políticas de QoS y facturación.</li> </ul>

Realizado por: César Iniguez, 2018

Como se observa en la Figura 11-2 existen interfaces que conectan cada uno de los elementos de la arquitectura EPS de LTE, un resumen y características de estas interfaces se detalla en la Tabla 7-2.

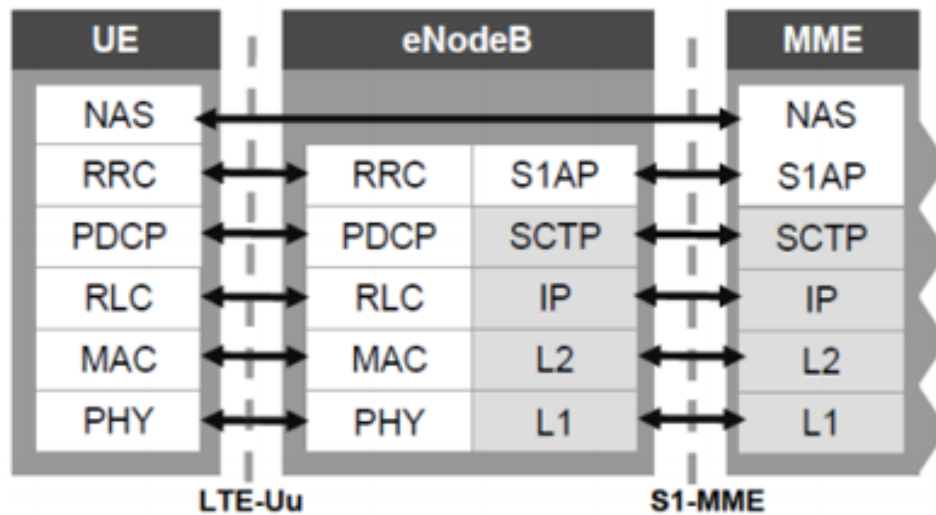
**Tabla 7-2:** Interfaces de la red EPS de LTE

INTERFAZ	CARACTERÍSTICAS
S1-MME	Punto de referencia entre la E-UTRAN y MME, dentro del plano de control.
S1-U	Punto de referencia entre el SGW y el E-UTRAN.
S2	Conexión entre la PGW y redes IP externas no-3GPP.
S3	Permite el intercambio de información con redes 3GPP.
S4	Control y soporta la movilidad entre redes 3GG y LTE/SAE.
S5	Interconecta PGW y SGW, y hace <i>tunneling</i> de los datos del plano del usuario entre estas dos interfaces.
S6a	Brinda la información del usuario que se encuentra en el HSS para la autenticación del mismo.
S7	Brinda la transferencia de políticas de cobro y QoS desde el PCRF.
S8	Brinda los plano de usuario y control entre el SGW en la red visitante y al red local.
S9	Brinda el control de cobro y QoS de PCRF local al PCRF visitante.
S10	Punto de referencia entre las MME.
S11	Punto de referencia entre SGW y MME.
S12	Punto de referencia para formar tunneling entre SGW y E-UTRAN.
S13	Interconexión entre “Registro de la Identificación de Equipo” EIR, ( <i>Equipment Identity Register</i> ) y el MME.
SGi	Punto de referencia entre la “Red Pública de Datos”, PDN ( <i>Public Data Network</i> ) y el PGW.
Rx	Conecta el PCRF a otras redes IP de otros operadores.

**Fuente:** (Tecnologías de Radiocomunicación, 2012, págs. 292, 293)

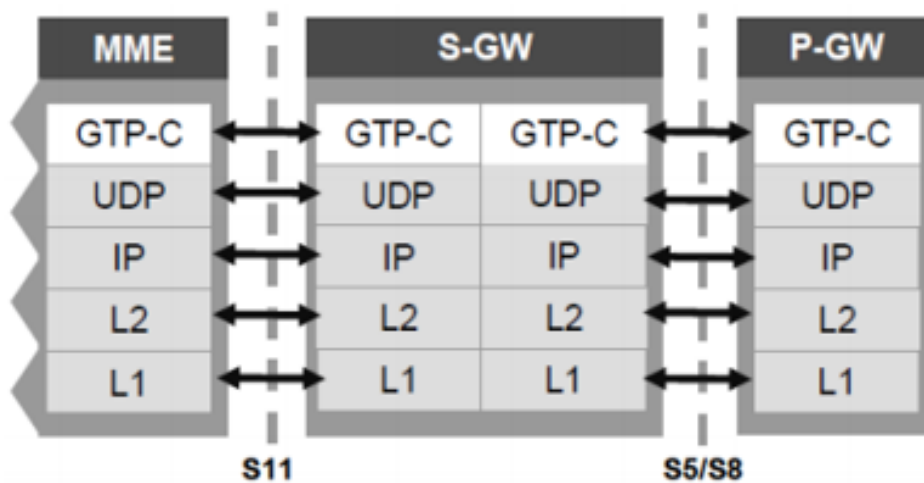
➤ **Protocolos de la arquitectura EPS LTE**

La pila de protocolos entre el UE y MME de la red troncal, pasando a través de eNodeB, denominada el plano de control, se muestra en la Figura 12-2, donde se observa que el protocolo NAS (*Non Access Stratum*)- que es un protocolo encargado de la autenticación, autorización y gestión de la movilidad de terminales que no tienen sesión establecida RRC- , corre directamente entre el UE y el MME.



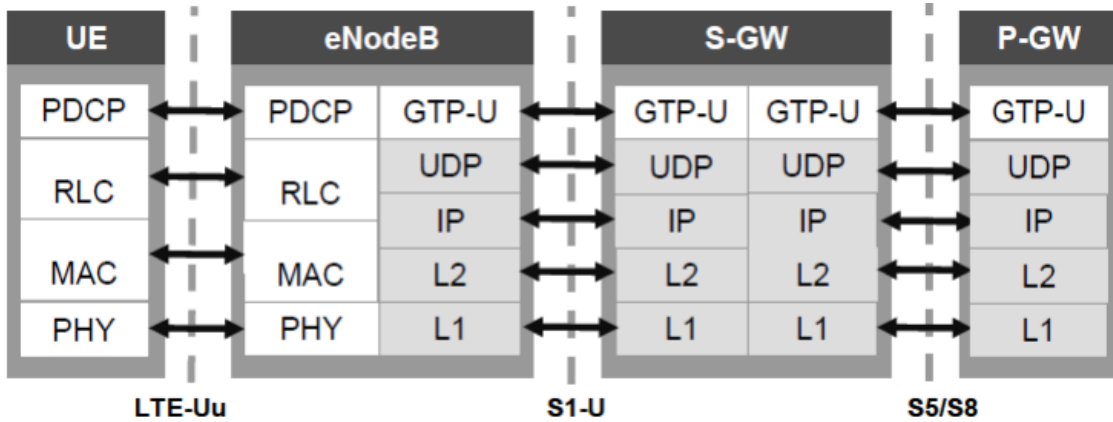
**Figura 12-2:** Pila de protocolos en las interfaces LTE-Uu y S1-MME  
Fuente: (Hernández Bonilla & Quintero Flórez, Víctor Manuel , s.f.)

De la misma manera, en la Figura 13-2 se muestra la pila de protocolos entre el MME y el S-GW hacia el P-GW con las interfaces S11 y S5/S8, donde se usa el protocolo GTP-C (*General Tunneling Protocol-Control plane*).



**Figura 13-2:** Pila de protocolos en las interfaces S11 y S5/S8  
Fuente: (Hernández Bonilla & Quintero Flórez, Víctor Manuel , s.f.)

Dentro del plano del usuario en la Figura 14-2 se muestra la pila de protocolos desde el UE, eNodeB, S-GW hacia P-GW, con las interfaces LTE-Uu, S1-U y S5/S8.

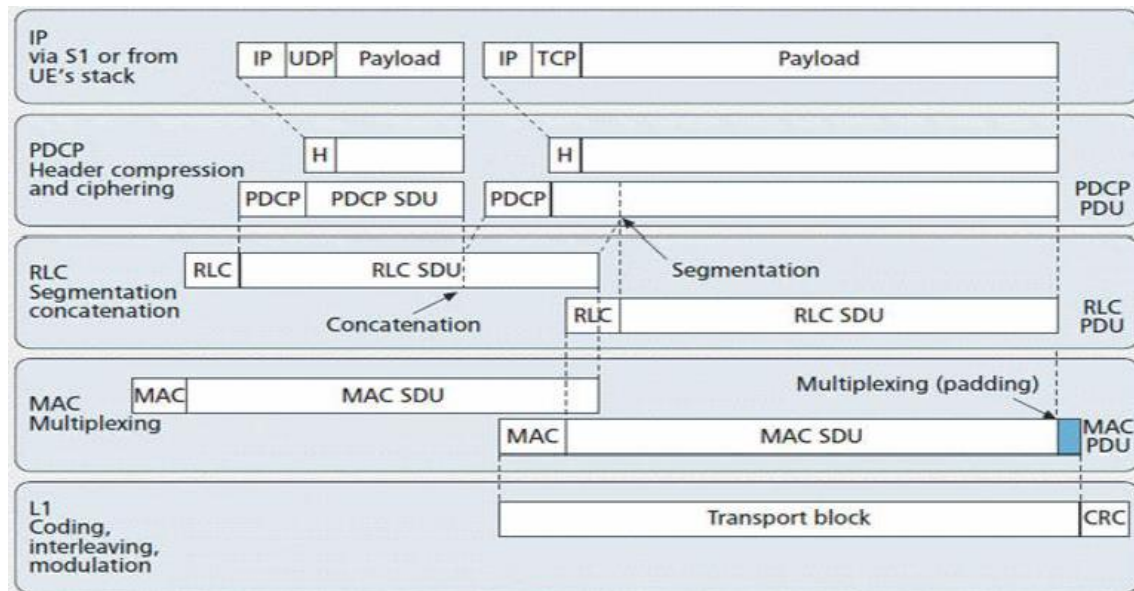


**Figura 14-2:** Pila de protocolos en las interfaces LTE-Uu, S1-U y S5/S8  
**Fuente:** (Hernández Bonilla & Quintero Flórez, Víctor Manuel , s.f.)

La descripción de los protocolos se detalla a continuación:

- “Control de Recurso Radio”, **RRC** (*Radio Resource Control*): Controla el uso de los recursos de radio como son: asignación, configuración y liberación en el UE y en la E-UTRAN.
- “Protocolo de Convergencia de Datos de Paquete”, **PDCP** (*Packet Data Convergence Protocol*): Capa superior de la pila de protocolos, entregan y reciben los paquetes IP. Realiza compresión de cabeceras de paquetes IP y cifrado.
- “Control de Enlace de Radio”, **RLC** (*Radio Link Control*): Se encarga de enviar de forma fiable los paquetes PDCP entre eNodeB y el UE, con mecanismos de corrección errores, usando “Solicitud de Repetición Automática”, ARQ (*Automatic Repeat Request*). Además realiza concatenación, reensamblado y segmentación.
- “Control de Acceso al Medio”, **MAC** (*Medium Access Control*): Controla el acceso al canal radio. Planifica datos acorde a las prioridades, multiplexa canales RLC. Además realiza corrección de errores con HARQ. Con una única entidad MAC por celda.
- “Capa Física”, **PHY** (*Physical Layer*): Interfaz radio que realiza el transporte de la información, tiene funciones de modulación, codificación del canal y usa la técnica MIMO. Esta capa ofrece canales de transporte a la capa MAC y al igual que la capa MAC existe una sola entidad en la celda.

A través de la pila de protocolos se forma los paquetes con la adición de cabeceras y características como concatenación, segmentación, multiplicación, etc, que ya se ha descrito anteriormente; esta conformación de paquetes se puede observar en la Figura 15-2.



**Figura 15-2:** Conformación de paquetes en la pila de protocolos

Fuente: (Núñez Morfa, 2013, pág. 34).

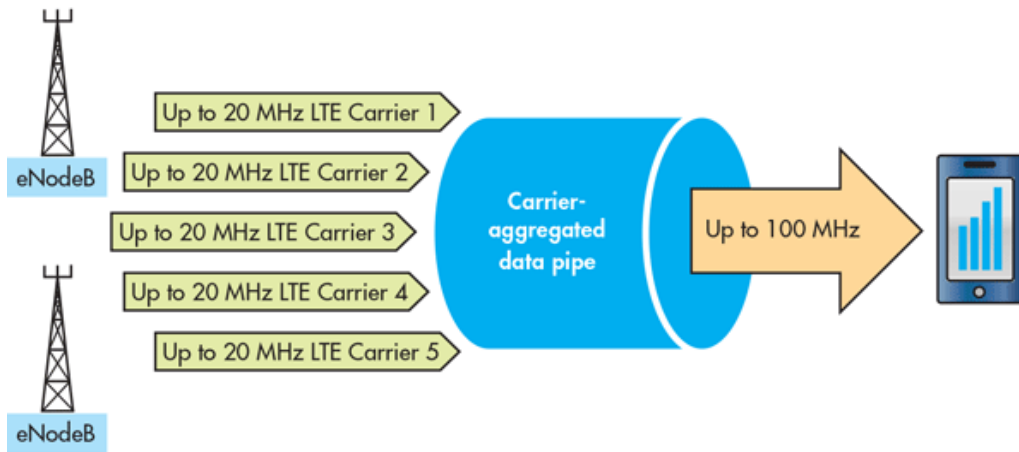
#### 2.2.1.4. LTE advanced

LTE Advanced es el sistema definido por el *Release 10* del 3GPP LTE, y fue diseñado como una evolución de LTE, lo que lo hace compatible con este. Esta tecnología se la considera verdaderamente de 4G, por cumplir con los requisitos que define la IMT-Advanced. Además esta tecnología reduce los gastos de inversión (CAPEX), como los de explotación (OPEX), siendo una ventaja considerable para las operadoras.

LTE Advanced integra mejoras a LTE, entre las que tenemos: sistema MIMO mejorado, “Agregación de Portadoras”, CA (*Carrier Aggregation*), mejoras al enlace ascendente, entre otras que se explican a continuación.

La Agregación de Portadora (CA) es una característica adicional que tiene LTE Advanced con respecto a su antecesor LTE. Esta técnica da cumplimiento a uno de los requerimientos de la IMT-Advanced que es un ancho de banda de 100 MHz; sin embargo, las operadoras no tienen ese recurso, más aún es complicado la concesión del espectro con un ancho de banda de esa magnitud. Es por este motivo que esta tecnología, combina diferentes porciones del espectro, ya sea en bandas contiguas como no contiguas, logrando mayores anchos de banda virtuales; esto da

como resultado un uso más eficiente del espectro. Como se ilustra en la Figura 16-2, con la agregación de cinco portadoras componentes de hasta 20 MHz de ancho de banda, se puede alcanzar el ancho de banda deseado de transmisión de 100MHz.



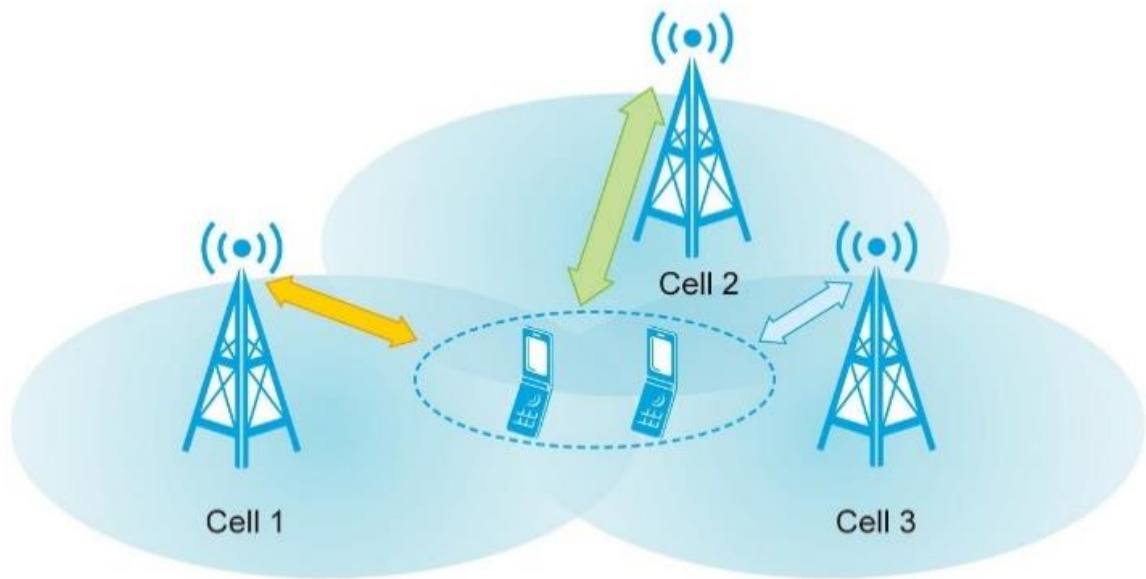
**Figura 16-2:** Agregación de portadoras en LTE  
Fuente: (Mahoney & Schnauffer, 2016)

LTE Advanced ha mejorado el enlace ascendente con el uso de técnicas de diversidad, como la “Transmisión de Diversidad”, TxD (*Transmit Diversity*), que emplea dos o cuatro antenas, para mejorar las condiciones de recepción, con el uso de una modulación más compleja; así mismo el uso de la “Diversidad Espacial Ortogonal de Recursos de Transmisión”, SortD (*Spatial Orthogonal Resource Transmit Diversity*), que es una técnica que transmite versiones independientes de una señal codificada, las que se modulan con secuencias de códigos ortogonales distintas para cada una de las antenas, esto permite al receptor obtener un señal de control más precisa; aunque esta técnica no incrementa la capacidad, es decir la velocidad de transmisión, si ayuda a mejorar el rendimiento y cobertura del sistema. (Tecnologías de Radiocomunicación, 2012, pág. 308)

En la parte MIMO, LTE Advanced puede usar arreglos de hasta 8x8 en el enlace *downlink* y de 4x4 en el *uplink*; de este modo, se puede llegar a capacidades elevadas, sumado a los altos rangos de modulación como por ejemplo 64 QAM.

En cuanto a la eficiencia espectral, esta es mejorada con el uso de “Transmisión Multipunto Coordinado”, CoMP, (*Coordinated MultiPoint Transmission*) tanto en *uplink* como en *downlink*. Esta técnica se usa en usuarios que se encuentren en el borde de la cobertura de dos estaciones base, permitiendo en el caso del *uplink* recibir información del UE desde las estaciones base y en el caso del *downlink*, el UE puede recibir información de las dos estaciones base. Este método puede observarse en la Figura 17-2.





**Figura 17-2:** Diagrama de operación de CoMP  
Fuente: (Dezhong, 2011)

Adicionalmente se puede mencionar que LTE Advanced adopta el concepto de “Redes Heterogéneas”, HetNet (*Heterogeneous Network*); esta técnica permite aumentar la cobertura y capacidad de la red, agregando redes o nodos pequeños de baja potencia o *small cells* (micro, pico y femtoceldas) a las macroceldas; inclusive se prevé agregar tecnologías muy distintas a las 3GPP como el caso de redes WiFi.

Con estas mejoras LTE Advanced puede llegar a tasas teóricas de 1Gbps en movilidad de baja velocidad y de 100 Mbps en movilidad de alta velocidad, con picos de eficiencia espectral de 30 bits por hercio en canales de 40 MHz. (Jain, 2014).

### 2.2.2. *Parámetros de identificación de red móvil LTE*

Al igual que GSM y UMTS, LTE también cuenta con códigos que permiten identificar la ubicación del usuario dentro de las redes móviles a nivel mundial, en la Tabla 8-2 se muestra un resumen de los códigos más utilizados.

**Tabla 8-2:** Identificadores de red LTE

PARÁMETRO	SIGNIFICADO DEL ACRÓNIMO	FUNCIONES
MCC	Código de País de Móvil ( <i>Mobile Country Code</i> )	Es un código de 3 dígitos decimales que identifica el país donde se encuentra la estación base.
MNC	Código de Red Móvil ( <i>Mobile Network Code</i> )	Es un código de dos dígitos decimales que identifica el operador de red móvil.
TAC	Código de Área de Seguimiento ( <i>Tracking Area Code</i> )	Es un código numérico de 16 bits que identifica un “ <i>Tracking Area</i> ”. Un <i>tracking area</i> es una zona que se encuentra conformada por algunos eNode B; es decir, son regiones que pueden ser estados pequeños o grandes ciudades.
CI	Identidad Celular ( <i>Cell Identity</i> )	Es un código que identifica una celda de red móvil y los sectores de la estación base. Es un número de 28 bits; los 20 primeros es el número eNode B, y los últimos 8 bits es el número de sector.
PCI (Phy Cell ID)	Identidad de celda física ( <i>Physical Cell Identity</i> )	Es un identificador de la celda dentro de la capa física de LTE, que se utiliza para la separación de diferentes transmisores. No es un identificador único, ya que solo se cuenta con 504 identificadores disponibles, por esto es importante que su reuso sea bien coordinado y no causar colisión y confusión.

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

### 2.2.3. Indicadores de medición de red LTE

En LTE existen ciertos indicadores que nos permiten evaluar el nivel de recepción y calidad de la señal. Estos valores son importantes para el UE en el proceso de *handover*, cuando el dispositivo debe evaluar las redes existentes y elegir la “mejor señal” para la conexión. Es así que a continuación se detallan algunos de los parámetros más importantes en cuanto a calidad, nivel y tasa de errores en las redes LTE.

#### 2.2.3.1. SINR

El “Cociente de Señal / Interferencia-Plus-Ruido” SINR (Signal to Interference Plus Noise Ratio), es la relación entre la potencia de todas las subportadoras que se levantan en una celda específica y la potencia de interferencias de otras celdas con la potencia de ruido. Esta medida indica la calidad del canal RF y está definido con la ecuación 3-2 (Arimas, 2016):

$$SINR = \frac{S}{I+N} \quad (3.2)$$

Donde:

S: Indica la potencia medida de las señales utilizables en toda la celda (sobre todo señales de referencia y PDSCH).

I: Indica la potencia media de interferencia, provenientes de canales de otras celdas.

N: Indica el ruido de fondo.

#### 2.2.3.2. RSSI

El “Indicador de Intensidad de Señal Recibida”, RSSI (*Receive Strength Signal Indicator*) mide la potencia total observada en símbolos OFDM que llevan símbolos de referencia del UE, procedente de la celda servida, así como del co-canal, ruido térmico e interferencia de canal adyacente (Afroz, Subramanian, Ramprasad, Heidary, Roshanak, Sandrasegaran, Kumbesan, & Ahmed, Solaiman, 2015).

#### 2.2.3.3. RSRP

La “Potencia Recibida de Señal de Referencia”, RSRP (*Reference Signal Received Power*) es el indicador que proporciona información de la intensidad de la señal y es uno de los parámetros más importantes para el UE, que serán usados en cada momento, desde que el UE se enciende hasta que se pone en modo *idle* (inactivo), ya que este valor le permite realizar la selección de celda, reelección de celda y *handover*.

El RSRP es el promedio lineal de las potencias de los recursos elementales (una subportadora y un símbolo) que contienen señales de referencia de enlace *downlink* a través del ancho de banda del canal considerado. El RSRP se mide en dBm en rangos de -44dBm (bueno) a -140dBm (malo) y se utiliza para indicar la cobertura de LTE.

#### 2.2.3.4. RSRQ

La “Calidad de Señal Recibida de Referencia”, RSRQ (*Reference Signal Received Quality*), es la relación entre la señal deseada y toda la potencia recibida. Al igual que la RSRP, es una medida

de la celda y sirve para evaluar la celda candidata en cuanto a su valor de calidad; como por ejemplo para la reelección o traspaso de celda. Este valor se considera cuando el valor de RSRP no es suficiente.

El RSRQ se obtiene con la aplicación de la siguiente ecuación 4-2 (USAT, s.f.):

$$RSRQ = N * (RSRP / RSSI) \quad (4-2)$$

Donde N es el número de “Bloques de Recursos”, RBs (*Resource Blocks*) del ancho de banda sobre el cual el RSSI es medido.

El rango de la medición RSRQ es de -19.5dBm a -3dBm, y los valores considerados como “buenos” y “malos” se muestran en la Figura 18-2, donde también se muestran los indicadores antes descritos: RSSI, SINR, RSRQ y RSRP para LTE, y su escala de valores de calificación: excelente (*excellent*), bueno (*good*), razonable (*fair*) y malo (*poor*).

Signal Quality	Technology	RSSI	SINR (dB)	RSRQ (dB)	RSRP (dBm)
	LTE and 3G	LTE only	LTE only	LTE only	
Excellent	> -65	> 12.5	> -5	> -84	
Good	-65 to -75	10 to 12.5	-6 to -10	-85 to -102	
Fair	-75 to -85	7 to 10	-6 to -10	-103 to -111	
Poor	< -85	< 7	< -11	< -112	

**Figura 18-2:** Valores de intensidad y calidad de señal LTE

Fuente: (USAT, s.f.)

### 2.2.3.5. BLER

La “Tasa de Error de Bloque”, BLER (*Block Error Rate*), es una medida que nos indica el éxito de la transmisión a nivel de interfaz aire; es decir, de las capas: física y MAC. La meta a alcanzar en esta medida es del 10%; es decir, que el 90% de la transmisión debe realizarse con éxito. Para las retransmisiones LTE se usa el protocolo HARQ.

HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*) es un método de corrección de errores. Cuando el receptor detecta que el paquete recibido contiene un error, a través de HARQ, el receptor solicita al transmisor con un mensaje NAK (*Negative Acknowledgment*), que se retransmita la información nuevamente, pero almacenando el paquete con errores. Al recibir nuevamente la información, esta es combinada con el primer paquete recibido para tratar de conseguir un solo

paquete sin errores; si aún existen errores, el receptor solicita nuevamente retransmisión. Con este mecanismo se llega a un máximo de 2 retransmisiones, luego de lo cual si aún existen errores, se considera que ha existido una falla.

El BLER se puede medir tanto en el enlace *downlink* como *uplink*, y es este parámetro en el enlace *downlink* (BLER DL) el principal factor de impacto sobre el *Throughput*; siendo de esta manera un parámetro importante de la calidad de LTE a nivel físico. En la Tabla 9-2 se detalla una escala cualitativa de los valores de BLER (Zhang, 2018, págs. 167-169).

**Tabla 9-2:** Intervalos de BLER DL

BLER DL	CALIFICACIÓN
0% - 1%	baja
1% - 2%	bajo – medio
2% - 5%	alto – bajo
5% - 10%	alto – medio
Sobre el 10%	alto

Realizado por: César Iñiguez, 2018

#### 2.2.4. Streaming de video

El *streaming* es una técnica usada para la difusión de contenido multimedia (audio o video) a través de IP. Antes de la aparición del *streaming* los contenidos multimedia debían ser descargados y almacenados en el dispositivo del usuario, para una vez culminada la descarga del contenido en su totalidad, poder reproducirlos. Con la aparición del *streaming* el contenido multimedia puede ser reproducido conforme los datos van arribando al dispositivo del usuario; sin necesitar ya descargar el contenido completo.

El *streaming* de video utiliza un *buffer*, que ayuda a almacenar temporalmente cierta cantidad de datos; con el cual se evita problemas en el video causado por inestabilidades en la red como: intermitencias o *jitter*; por ejemplo con el *buffer* de datos podemos evitar interrupciones en la reproducción del video. (Nacional, s.f.)

Los tipos de *streaming* para su mejor estudio en el presente trabajo se los ha dividido en tres tipos: directo, diferido y bajo demanda; y se describen a continuación:

- **Directo:** Las transmisiones de video *streaming* en “directo” son los que se visualizan en tiempo real, como eventos culturales, conciertos, acontecimientos deportivos, etc.

- **Diferido:** En este tipo de *streaming* los archivos de video se cargan previamente en un servidor, para que luego los usuarios puedan ingresar a visualizar el contenido cuando son transmitidos.
- **Bajo Demanda:** Los videos *streaming* bajo demanda (VoD) son los videos almacenados en un servidor y accedidos desde un cliente de forma remota, en donde el usuario puede elegir y visualizar el video que desee en cualquier momento.

El video “Bajo Demanda” es el tipo de *streaming* que se usa en el presente estudio, ya que es YouTube el servicio de VoD más popular que existe en la actualidad.

Por otra parte, al hablar de video *streaming* es necesario primero definir los parámetros o características que tiene un video, para luego analizar los protocolos que usa para su difusión sobre las redes IP; estos temas se describen en las siguientes secciones.

#### 2.2.4.1. Parámetros del video streaming

El video es una secuencia de imágenes o fotogramas (*frames*) que al mostrarlas de forma consecutiva a una cierta frecuencia se forma la “película”, pudiendo mostrar escenas en movimiento; sin embargo para que la imagen sea fluida, la frecuencia de los fotogramas debe ser mayor a 15 Hz.

Además cabe indicar que el video es también acompañado de otros elementos, como por ejemplo el audio. Tanto el video como el audio están grabados de forma separada, para luego ser reproducidos de forma simultánea.

Desde la digitalización del video se ha logrado optimizar más los recursos, sobre todo de almacenamiento, dando así cabida a una gran cantidad de codecs tanto de video como de audio, contenedores, etc; estos parámetros del video se describen a continuación.

#### ➤ **Códec de video**

Un códec básicamente es la forma o algoritmo de codificar y decodificar la información sea de video o audio. El proceso de codificación también se usa para comprimir la información, de tal forma que ocupe menos recursos; sin embargo, este proceso conlleva la pérdida de información, aunque existen codecs que no poseen pérdidas. Para la visualización de contenido el propio códec se encarga de descomprimir los datos a través de su algoritmo.

A continuación se enlistan algunos tipos de codecs de video: Xvid, AC3, H.261, H.262, H.264, X264, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, WMV, Theora, VP8, etc.

Por ejemplo H.264, es un códec de video de alta compresión desarrollado por la ITU-T, VCEG (*Video Coding Experts Group*), y es un método de transmisión de video compatible con redes de datos, que brinda alta calidad de imagen con poco ancho de banda.

#### ➤ **Códec de audio**

Los codecs de audio, al igual que los codecs de video, tienen la función de codificar y decodificar el contenido de audio; así como comprimirlo. Los codecs de audio más conocidos son los siguientes: AAC, AC3, FLAC, MP3, Vorbis, WMA.

#### ➤ **Contenedor de video**

El contenedor de video es la forma de ordenar dentro de un mismo archivo diferente contenido multimedia codificada, como video, audio, incluso información adicional como texto; es decir, permite unir o multiplexar toda la información de video, audio y subtítulos, cada uno con su respectivo códec. Posteriormente a través de la aplicación se abre el archivo contenedor, se demultiplexa y decodifica tanto audio como video para poder ser ya visualizado; por eso es importante que el reproductor o sistema sea capaz de soportar a parte del contenedor de archivos, también el códec que se pretenda utilizar. Tenemos algunos contenedores multimedia como: AVI, MOV, MPG, OGG, RMVB, Matroska, ASF, MP4, MPEG, MXF, Quicktime, etc.

Por ejemplo el contenedor MP4, especificado en el estándar ISO/MPEG-4, soporta streaming de VoD vía IP en Internet; integrando varias pistas de audio y video, subtítulos, así como diferentes *frames* por segundos y *bitrate*. La extensión de este contenedor es la .mp4.

#### ➤ **Resolución de video**

Con la llegada de la imagen digital, llega el concepto de “*pixel*”, que es la unidad básica de imagen. El *pixel* está conformado por los tres colores básicos: rojo, verde y azul (RGB), a partir de los cuales se puede conformar una imagen en dispositivos como televisores, monitores o celulares.

La resolución indica el número de *pixels* presentes en una pantalla tanto en ancho como en alto, y dependiendo de estas resoluciones se tiene el aspecto de la imagen; los aspectos más conocidos son: 4:3, 16:9, 16:10 y 17:9. Por ejemplo el aspecto 4:3 quiere decir que por cada 4 unidades de largo tendremos 3 de alto.

Así mismo la resolución nos dirá la nitidez con la que se verá la imagen, ya que a mayor resolución, mayores los números de *pixels* y por ende mayor claridad en la imagen. La resolución nos indica el número de *pixels* en lo ancho y lo alto; por ejemplo la resolución 768 x 576 en el caso del estándar de televisión en SD, PAL, quiere decir que posee 768 *pixels* en horizontal y 576 líneas en vertical.

**Tabla 10-2:** Resoluciones de video

RESOLUCIÓN	DEFINICIÓN	ASPECTO
640x480	VGA	4:3
720x480	SDTV	4:3
720x576	SDTV	4:3
1280x720	HD READY	1,5
1920x1080	FULL HD	16:9
3840x2160	4K	16:9

**Fuente:** (Cátedra Comunicación 3, 2014)

**Elaborado por:** César Iñiguez, 2018

En la Tabla 10-2, se describen algunas de las resoluciones que existen actualmente, su aspecto y su definición, sea “Arreglo de Video Gráfico”, VGA (*Video Graphics Array*), “Definición Estándar de Televisión”, SDTV (*Standard Definition Television*), “Alta Definición”, HD (*High Definition*) y “Alta Definición Completa”, FULL HD (*Full High Definition*), 4K (*Ultra HD 4K*, abreviatura de 4.000 píxeles).

### ➤ Tasa de transferencia

La tasa de transferencia o *bitrate* es la tasa de datos o cantidad de información por unidad de tiempo que ocupa una transmisión de video y se mide en Kbps. Al igual que la resolución es un factor que afecta la calidad de video, es así que mientras el video tiene mayor resolución, el *bitrate* debe aumentar para mantener la calidad; por ejemplo YouTube para las transmisiones de un video de resolución de 1080 píxeles (1920x1080) especifica un rango de *bitrate* de entre 3,000 a 6,000 Kbps. (YouTube, 2018)



#### 2.2.4.2. Protocolos de streaming de video

En esta sección se detallan algunos de los protocolos usados por el *streaming* de video para la transmisión, control e interacción de contenidos. Los paquetes generados por estos protocolos se anidan en otros, como por ejemplo en protocolos de transporte como TCP o UDP, protocolos de acceso al medio como Ethernet, para finalmente ser transmitidas por las redes IP.

##### ➤ TCP

El “Protocolo de Control de Transmisión”, TCP (*Transmission Control Protocol*), es un protocolo orientado a conexión, el cual se creó para proporcionar una comunicación confiable extremo a extremo sobre un red no confiable, y operar sobre un protocolo de mejor esfuerzo, como lo es IP.

TCP se definió inicialmente en el RFC 793 y posteriormente se actualizó en el RFC 1323. Este protocolo realiza la comunicación cliente servidor y establece una conexión punto a punto en ambos sentidos, con la creación de puntos terminales llamados “*sockets*”, los cuales están conformados por una dirección IP y un puerto.

El puerto de comunicación es un número de 16 bits que se crea localmente en el *host*; básicamente TCP realiza la conexión entre el *socket* de una máquina emisora y el *socket* de una receptora. Los números de puertos menores a 1024 se los llama “puertos bien conocidos” y se los reserva para servicios estándar, algunos de estos se muestran en la Tabla 11-2.

**Tabla 11-2:** Puertos bien conocidos TCP

Puerto	Protocolo	Descripción
21	FTP	Transferencia de archivos
22	SSH	<i>Secure Shell</i>
23	TELNET	Inicio remota de sesión
25	SMTP	Correo electrónico (saliente)
80	HTTP	<i>World Wide Web</i>
443	SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>

Fuente: (Barceló Ordinas, Grieria, Escalé, Olivé, & Tornil, 2004)

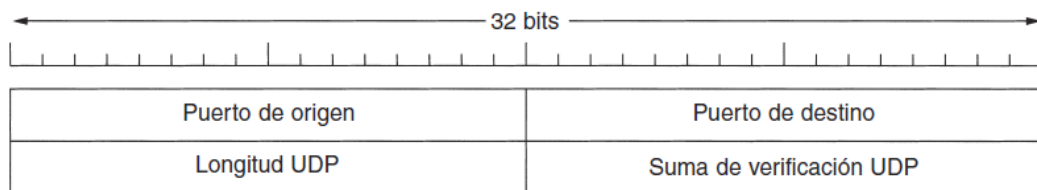
##### ➤ UDP

El “Protocolo de Datagramas de Usuario”, UDP (*User Datagram Protocol*) es un protocolo de transporte no orientado a conexión; es decir, las aplicaciones envían datagramas sobre el

protocolo IP sin tener una conexión establecida. Aunque UDP es un protocolo no seguro en cuanto a la entrega, como a duplicados, ahorra recursos de red y disminuye la latencia, que son ventajas para ciertos servicios sobre las redes. Este protocolo se encuentra definido en el RFC 768 y al igual que TCP, se basa en comunicación de *sockets*.

Un protocolo orientado a conexión tiene características de: control de flujo, control de errores y entrega en secuencia; sin embargo, hay aplicaciones que no necesitan de estas características, por lo que un protocolo no orientado a la conexión sería el más apropiado. UDP ahorra la transmisión de datos y procesamiento, muy adecuado para aplicaciones en tiempo real como voz, audio y video.

Las ventajas que brinda UDP nacen de la sencillez de su estructura y operación; es así que transmite segmentos que constan de una cabecera de 8 bytes, seguida de su carga útil. Como se observa en la Figura 19-2 la cabecera consta de algunos elementos como: puertos de origen y destino, longitud del paquete UDP y la suma de verificación de UDP, que se la usa para la detección de errores, y ayuda a que se tome la decisión de descartar o no el paquete, sin realizar acciones adicionales como reenvío.



**Figura 19-2:** Encabezado del protocolo UDP

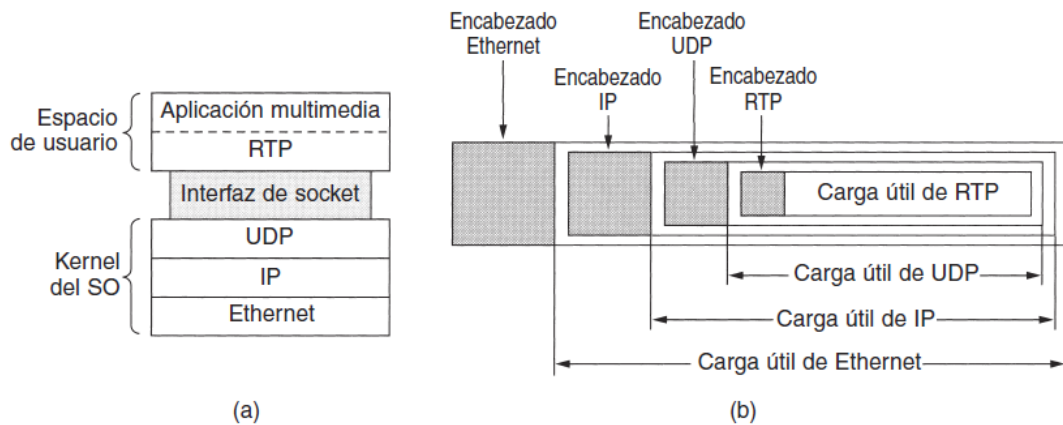
Fuente: (Tanenbaum A. S., 2003)

## ➤ RTP

El protocolo de “Transporte en Tiempo Real”, RTP (*Real-time Transport Protocol*), fue definido por primera vez en el RFC 1889 y actualmente está definido en el RFC 3550, y se lo usa para transmitir información en tiempo real como audio y video. Como se observa en la Figura 20-2 literal a), RTP se encuentra ubicado, dentro de la pila de protocolos, entre UDP y la aplicación multimedia; es decir, RTP hace uso de UDP para su operación, anidando sus paquetes en los de UDP, IP y en protocolos de acceso al medio como por ejemplo Ethernet. Esta anidación de protocolos podemos visualizarlos en el literal b) de la Figura 20-2.

La función básica de RTP es multiplexar varios flujos de datos de tiempo real sobre un solo flujo UDP, que puede enviarse de manera “unicast” o “multicast”. Además este protocolo envía los datos sin importar el tipo de codificación entregada por la aplicación.

Para la recepción de los paquetes sobre RTP, este protocolo asigna a cada uno de los paquetes una numeración; de esta manera el receptor puede saber si falta alguno, y si fuera este el caso, RTP completa el paquete faltante con métodos como la interpolación. RTP incluye los mecanismos para cubrir las limitantes de usar UDP (que no tiene control de flujo, confirmación de recepción, control de errores, ni mecanismo de solicitud de retransmisión).



**Figura 20-2:** Ubicación de RTP sobre la pila de protocolos (a) Anidamiento de paquetes  
Fuente: (Tanenbaum A. S., 2003)

Por otra parte RTP utiliza marcación de tiempo (*timestamping*), el cual consiste en asociar una marca de tiempo con la primera muestra de cada paquete en el origen; de esta manera el destino realiza un ordenamiento con cada milisegundo exacto de las muestras en su *buffer* independientemente del orden de llegada de los paquetes. Este mecanismo sirve para la sincronización entre la imagen y el audio en el caso de video.

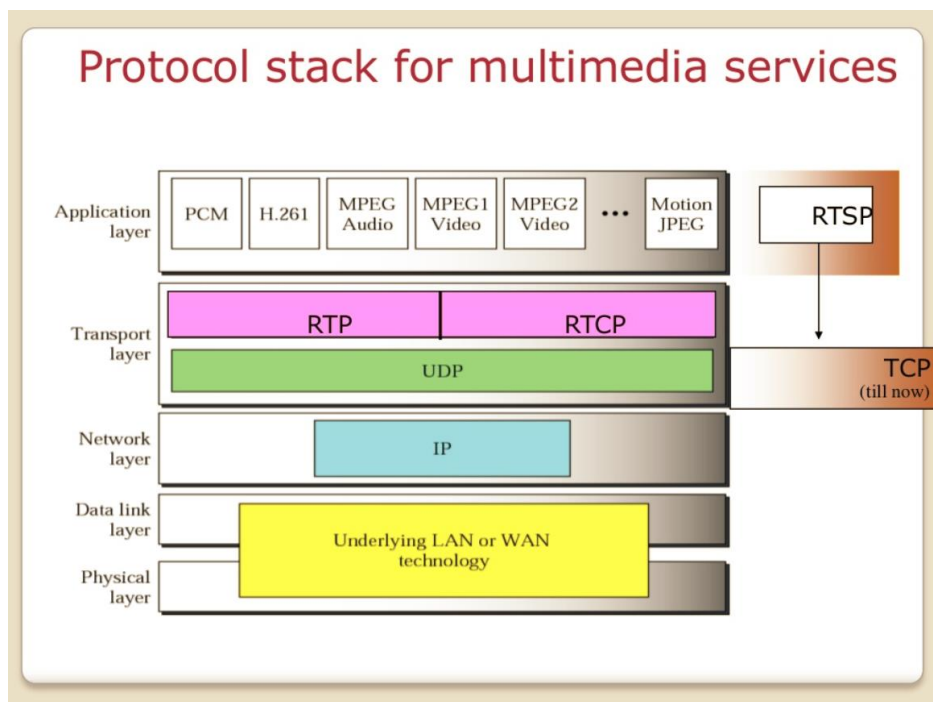
### ➤ RTCP

El “Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real”, RTCP (*Real Time Control Protocol*) no transmite información, más bien ayuda a RTP a realizar control; como por ejemplo: maneja retroalimentación en caso de retardos, fluctuaciones, congestión y otros fenómenos propios de las redes. RTCP puede informar el ancho de banda existente en el canal, para adaptar la codificación en el origen y mejorar la calidad del contenido.

Por otra parte este protocolo puede manejar sincronización e interfaz de usuario, por ejemplo se puede agregar cierta información en un texto ASCII para ser presentado en el video como información para el espectador. (Tanenbaum A. S., 2003).

## ➤ RTSP

El “Protocolo de Transmisión en Tiempo Real, RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) permite a un cliente realizar tareas de control sobre el servidor de video, como un control remoto de televisión (play, pausar, parar, etc) para mejorar la interacción con el usuario; es decir, no envía datos de audio y video (de esto puede encargarse RTP). En la Figura 21-2 se muestra la ubicación de RTSP en la pila de protocolos, situándose sobre TCP y UDP. (Tanenbaum A. S., 2003)



**Figura 21-2:** Ubicación de RTSP sobre la pila de protocolos  
Fuente: (Heba, 2013)

Cabe indicar que RTSP es un protocolo a nivel de aplicación y puede usar ambos protocolos de transporte tanto TCP como UDP y su operación es similar a HTTP, aunque mantiene algunas diferencias que se detallan a continuación:

- El servidor necesita mantener el estado de la conexión.
- Tanto el servidor como el cliente pueden enviar peticiones.
- Es compatible con unicast y multicast.
- Tiene la capacidad de multi-servidor.

## ➤ HTTP

HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) es un protocolo con estructura cliente-servidor; es decir la petición del recurso o dato es iniciada por el cliente (navegador web), proceso conocido como “petición”; mientras que los mensajes enviados por el servidor se denominan “respuesta”, esto a través de comandos.

HTTP es un protocolo de la capa de aplicación que usa el protocolo de transporte TCP (por defecto en el puerto 80); fue diseñado a inicio de los años 90 y aunque fue creado para la transmisión de documentos de hipertexto, ha evolucionado y en la actualidad se lo utiliza para la transmisión de música, imágenes, video entre otros. En la Tabla 12-2 se muestran algunos comandos que usa este protocolo.

**Tabla 12-2:** Comandos HTTP

Comando	Descripción
GET	Solicita el recurso ubicado en la URL
HEAD	Solicita el encabezado del recurso ubicado en la URL
POST	Envía datos al programa ubicado en la URL
PUT	Envía datos a la URL
DELETE	Borra el recurso ubicado en la URL

Fuente: (Vialfa, 2018)

Los protocolos de tiempo real descritos en las secciones anteriores han ido disminuyendo en su uso, y hoy en día la mayoría de proveedores de video *streaming* utilizan el protocolo HTTP para la transmisión de videos a sus clientes. HTTP ha sobresalido de los protocolos de tiempo real por su gran interoperabilidad tanto en el servidor como en el cliente, llegando a ser muy utilizado para el servicio de VoD y por supuesto usado por el proveedor más grande de VoD, YouTube.

### 2.2.5. *Streaming de video YouTube*

YouTube es un sitio web que permite a sus usuarios compartir videos de manera gratuita y los mismos pueden ser vistos en línea. YouTube fue creado en el año 2005 y actualmente tiene cerca de 5 billones de videos reproducidos por día (Donchev, 2017).

YouTube nació como un sitio para compartir videos personales; hoy existe todo tipo de videos cargados, tales como: videos musicales, deportes, series, etc. De igual manera el medio se usa

para el marketing de algunas empresas; cabe mencionar que existen políticas de derechos de autor que el sitio exige al material a compartir.

YouTube en 2006 fue adquirido por Google; y es a partir de aquí que la red de YouTube empezó a desplegarse por todo el mundo, con servidores en muchos continentes y países; mejorando así considerablemente su rendimiento. La información de esta nueva estructura de red de YouTube se volvió restringida; es por este motivo que la comunidad científica con la finalidad de aportar con datos que permitan comprender la operación de YouTube en Internet, ha visto la necesidad de recolectar datos a través de mediciones, que permitan deducir por “ingeniería inversa” la manera de operación de YouTube.

Con la ayuda de investigaciones se ha podido por ejemplo distinguir que el sistema de entrega de YouTube tiene tres partes principales: un espacio de *id* de video (conjunto de 11 caracteres entre letras y números dentro de la URL del sitio, que identifica un video en los servidores de YouTube), múltiples espacios de DNS y una jerarquía de caché de tres niveles, estos elementos que intervienen en el proceso de entrega de video de YouTube se lo analiza en la siguiente sección.

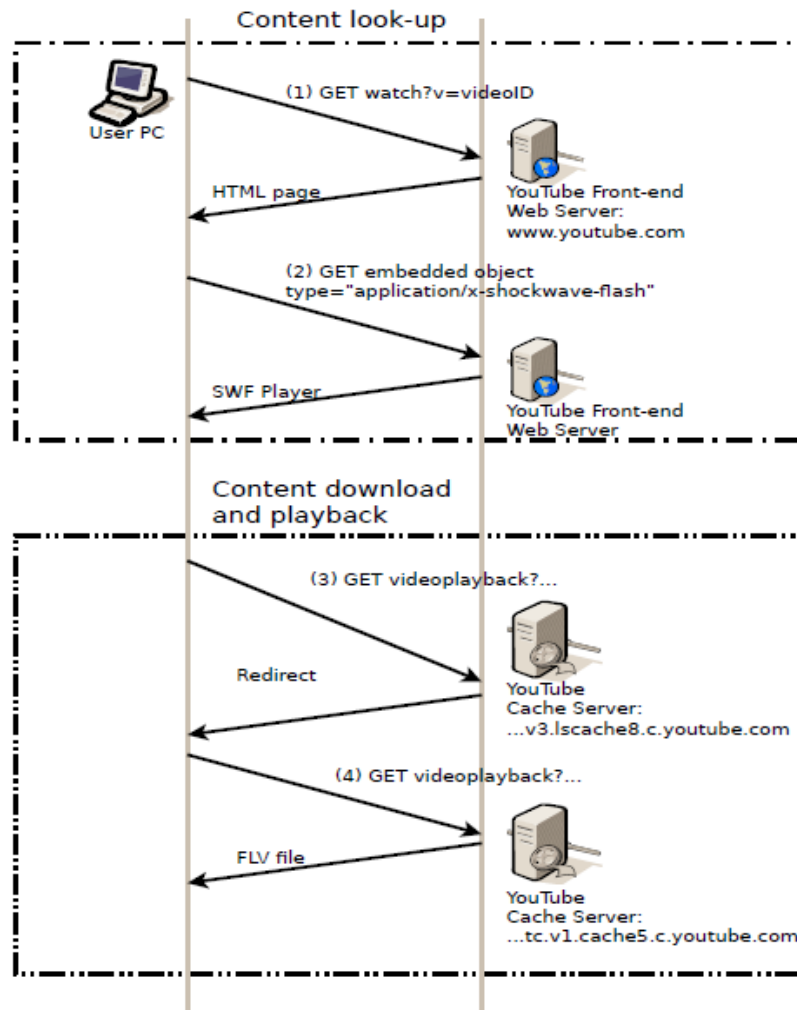
Muy pocos servicios de *streaming* de video usan UDP como protocolo de transporte, ya que este protocolo suele ser bloqueado por *firewalls*; es por esto que la mayoría de proveedores actualmente, incluido YouTube, utilizan el protocolo HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) para ejecutar sus videos. Como ya se mencionó en la sección anterior, HTTP utiliza el protocolo de transporte TCP, por lo que se garantiza que los videos se entreguen sin interrupciones; así como por la ventaja que tiene por la utilización del método de retransmisión para paquetes defectuosos.

#### 2.2.5.1. Entrega de Video de YouTube

Para la visualización de un video en YouTube, intervienen diferentes servidores; por ejemplo, los servidores web *front-end* que entregan la página base y los servidores de caché que entregan el contenido del video. YouTube soporta los contenedores Flash y HTML5 para la transmisión de los videos. Para el contenido Flash el usuario debe contar con el plug-in “Adobe Flash Player” en su navegador.

Tal como puede ser observado en el navegador de Internet, YouTube proporciona una URL específica para cada video que se visualiza, por ejemplo al visualizar el video “Ecuador – País Único” nos direcciona a la URL: <https://www.youtube.com/watch?v=leLvXpgOu78>, dentro de esta URL podemos encontrar el *id* de video que se especifica con 11 caracteres (entre letras y números) que se localiza a continuación del siguiente elemento de la URL: <https://www.youtube.com/watch?v=>; para el ejemplo planteado el *id* de video sería:

leLvXpgOu78. No obstante, para poder visualizar este video primero ocurre un proceso con algunos pasos en que, como se mencionó antes, intervienen algunos servidores.



**Figura 22-2:** Esquema del proceso para la visualización de un video en YouTube  
**Fuente:** (Hoßfeld, Schatz, Biersack, & Plissonneau, 2013, pág. 268)

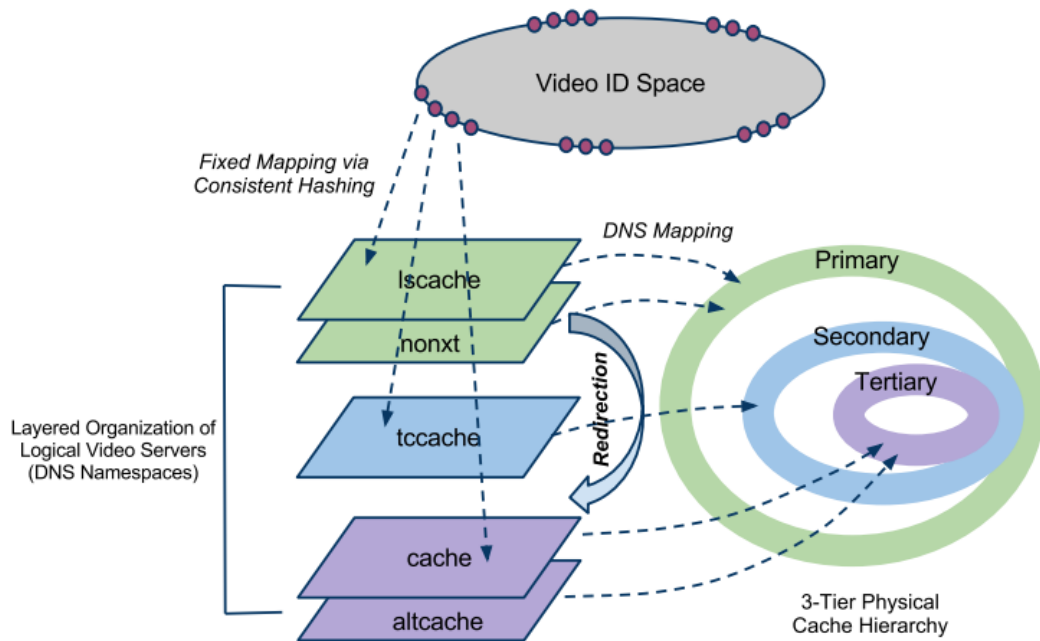
Los pasos que se llevan a cabo para que un usuario visualice un video se muestran en la Figura 22-2; así mismo cada paso se describe a continuación:

1. El usuario solicita un video en la página web de YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=videoID>, que se resuelve en el DNS local, y llega al servidor web, el cual entrega el HTML de la página.
2. Luego de descargar la página web base, se solicita el contenido de video con el *Shockwave Flash Player*.
3. El contenido del video es solicitado desde un servidor caché (lscache server); si este servidor caché está sobrecargado, este envía al usuario un mensaje de redirección a otro servidor caché.

- El usuario envía una solicitud para el video a otro servidor caché (tccache server), el cual se entrega al usuario mientras el mismo se reproduce. (Hoßfeld, Schatz, Biersack, & Plissonneau, 2013, pág. 267)

#### 2.2.5.2. Servidores caché de YouTube

Los usuarios reciben los videos solicitados desde los nodos de caché, lo cuales se encuentra dentro de un *clúster* de caché y estos a su vez están organizados en tres niveles jerárquicos: primarios, secundarios y terciarios como muestra la Figura 23-2.



**Figura 23-2:** Arquitectura de diseño de YouTube  
Fuente: (Kumar Adhikari, Jain, Chen, & Zhang)

Según investigaciones realizadas hasta el 2011, se localizó servidores caché, en 47 localidades de 4 continentes, de los cuales 10 principales se encontraban alojados dentro de ISP (*Internet Service Provider*); estos servidores se describen a continuación:

- 38 *clusters* caché primarios (lscache y nonxt), con alrededor de 5000 direcciones IP únicas.
- 8 *clusters* caché secundarios (tccache), con aproximadamente 650 direcciones IP.
- 5 *clusters* caché terciarios (cache y altcache), con 300 direcciones IP. (Hoßfeld, Schatz, Biersack, & Plissonneau, 2013, pág. 269)

Cada caché dentro de los *clusters* tienen una estructura de nombre lógico descrito a continuación:



- Cada *cluster* de cache primario tiene un total de 192 caches lógicos con la siguiente estructura de nombre: `city_code.v[1-24].lscache[1-8].c.youtube.com`. Donde “city\_code” es un código de tres letras del aeropuerto más cercano al *cluster*.
- De igual manera, en los *clusters* secundarios existen 192 caches lógicos con la siguiente estructura de nombre: `tc.v[1-24].cache[1-8].c.youtube.com`.
- Los *clusters* terciarios tienen un total de 64 caches lógicos entre los “cache” y “altcache”

Con esta arquitectura YouTube pretende servir a los usuarios desde el *cluster* de caché más cercano; así mismo realiza una redirección interna a otro *cluster* para el balanceo de carga a través de HTTP.

### 2.2.5.3. Gestión de tráfico en la capa de aplicación

Los videos de YouTube se transfieren mediante HTTP sobre el protocolo de transporte TCP, y su técnica puede variar dependiendo del tipo de contenedor, tipo de dispositivo (PC o celular) como del navegador usado.

TCP con sus funciones de control de errores y congestión, introduce desventajas para el *streaming* de video, como es el caso de un alto *jitter*, y no se garantiza que los datos se transfieran a una velocidad alta como con la que cuentan los usuarios. Por lo tanto, Youtube realiza un almacenamiento masivo de *buffer*, para la reproducción inicial con 40 segundos para Flash y de 10 a 15 Mbyte para HTML5 con “Internet Explorer” como navegador (40 segundos aproximadamente de video), luego de cual transmite lo más pronto posible hasta terminar el video.

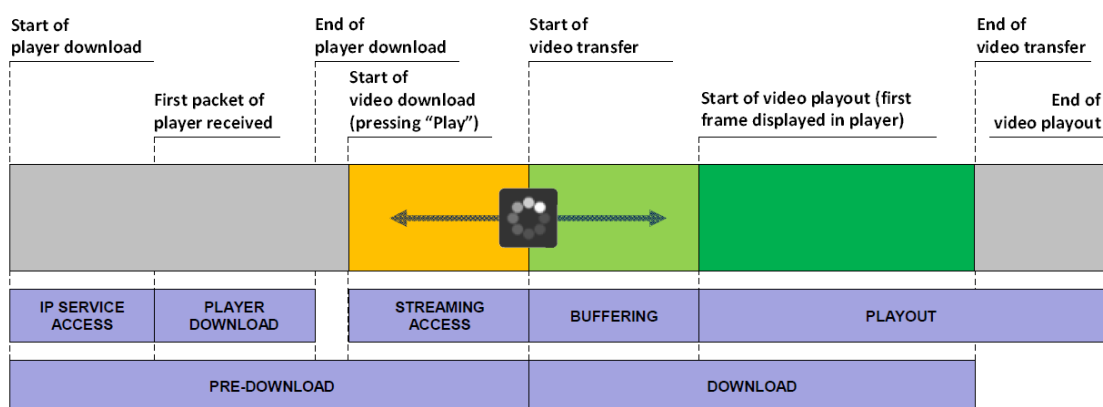
### 2.2.6. Calidad de servicios (QoS) de video basado en TCP como YouTube

La “Calidad de servicios”, QoS (*Quality of Service*) es el rendimiento de los servicios de red visto por el usuario, en este caso del video *streaming* de YouTube, la medición de los parámetros de rendimiento son de carácter técnico y cuantitativos.

En esta sección se analiza el proceso desde la solicitud hasta la reproducción del video *streaming* basado en TCP, como es el caso de YouTube, que como ya se mencionó usa el reproductor *Flash* sobre HTTP.

### 2.2.6.1. Fases de los servicios de video basados en TCP

La mayoría de servicios basados en TCP, como el caso de YouTube, se componen de algunas fases, en donde interviene principalmente la descarga del reproductor y el flujo del video en sí. Estas fases se muestran en la Figura 24-2. Además en esta Figura se muestran algunos eventos o activadores que indican el inicio o fin de cada una de las fases; por ejemplo: en la fase “*IP service access*” inicia con el activador “*start of player download*” y finaliza con “*first packet of player received*” (European Telecommunications Standards Institute, 2013).



**Figura 24-2:** Fases típicas de los servicios de video basados en TCP

**Fuente:** (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

Cada una de las fases que se muestran en la Figura 24-2, son detalladas en la Tabla 13-2.

**Tabla 13-2:** Descripción de las fases de los servicios de video basados en TCP

<i>IP Service Access</i>	Inicia con la solicitud tanto del contenido HTML como de la descarga de la configuración del reproductor. Termina al recibir el primer <i>byte</i> de datos de contenido HTML.
<i>Player download</i>	Inicia con la descarga de la información de contenido HTML y la secuencia de comandos de configuración del reproductor. Luego de lo cual el reproductor está listo para iniciar.
<i>Streaming access</i>	Inicia al presionar el botón “ <i>play</i> ” y termina con la recepción del primer paquete de video en TCP.
<i>Buffering</i>	Inicia al recibir el primer paquete de video y culmina cuando inicia la reproducción del video.
<i>Playout</i>	Inicia con la reproducción propiamente dicho del video y representa todo el tiempo de emisión completo para su reproducción, esta se superpone a la fase de “ <i>download</i> ”. Durante esta fase pueden presentarse congelamientos ( <i>freezes</i> ) de la visualización y saltos de video.
<i>Pre-download</i>	Está constituido por el “ <i>IP service access</i> ”, “ <i>player download</i> ” y el “ <i>streaming access</i> ”
<i>Download</i>	Constituido por el “ <i>buffering</i> ” y la transferencia de contenido de video restante. Inicia al recibir el primer paquete de video en el buffering y termina al recibir el último paquete de contenido del video.

**Fuente:** (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

**Elaborado por:** César Iñiguez, 2018

### 2.2.6.2. Parámetros de QoS para servicios de video basados en TCP

Los parámetros de QoS propuestos en el reporte técnico: ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12) para medir los servicio de video, se relacionan con una o varias de las fases de los servicio de video basados en TCP descritos en la sección anterior. Así mismo estos parámetros de QoS se clasifica en diferentes tipos, los cuales sirven para determinar el método de cálculo del parámetros (European Telecommunications Standards Institute, 2013).

En la Tabla 14-2. Se muestra la clasificación de cada uno de los parámetros QoS, así como su relación con una o varias de las fases descritas.

**Tabla 14-2:** Descripción general de los parámetros de QoS y mapeo a las fases típicas de los servicios de video basados en TCP

Fases relacionadas	Nombre de parámetro QoS	Tipo de parámetro QoS
IP service access	Player IP Service Access Failure Ratio	Failure Ratio
IP service access	Player IP	Duration
Player download	Player Download Cut-off Ratio	Cut-off Ratio
Player download	Player Download Time	Duration
IP service access, Player download	Player Session Failure Ratio	Failure Ratio
IP service access, Player download	Player Session Time	Duration
Streaming access	Video IP Service Access Failure Ratio	Failure Ratio
Streaming access	Video IP Service Access Time	Duration
Buffering	Video Reproduction Start Failure Ratio	Failure Ratio
Buffering	Video Reproduction Start Delay	Duration
Streaming access, Buffering	Video Play Start Failure Ratio	Failure Ratio
Streaming access, Buffering	Video Play Start Time	Duration
Pre-download	IP Service Access Failure Ratio	Failure Ratio
Pre-download	IP Service Access Time	Duration
Streaming access, Buffering, Payout	Video Session Cut-off Ratio	Cut-off Ratio
Streaming access, Buffering, Payout	Video Session Time	Duration
Streaming access, Buffering, Payout	Impairment Free Video Session Ratio	Calculation
Download	Video Expected Size	Size
Download	Video Downloaded Size	Size
Download	Video Compression Ratio	Calculation
Download	Video Transfer Cut-off Ratio	Cut-off Ratio
Download	Video Transfer Time	Duration
Download	Video Mean User Data Rate	Calculation
Payout	Video Payout Cut-off Ratio	Cut-off Ratio
Payout	Video Payout Cut-off Time	Duration
Payout	Video Expected Duration	Duration
Payout	Video Payout Duration	Duration
Payout	Video Freeze Occurrences	Count
Payout	Accumulated Video Freezing Duration	Calculation
Payout	Video Skip Occurrences	Count
Payout	Accumulated Video Skips Duration	Calculation
Payout	Video Maximum Freezing Duration	Calculation
Payout	Video Freezing Impairment Ratio	Failure Ratio
Payout	Video Freezing Time Proportion	Calculation
Whole session	End-to-End Session Failure Ratio	Failure Ratio

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

A continuación se describirá cada uno de los tipos de parámetros QoS descritos en la Tabla 14-2:

- *Calculation*: Se calculan en función de otros parámetros de QoS.
- *Count*: Se calcula con el conteo de eventos durante un período de tiempo dentro de una medición.
- *Duration*: Se asigna a los parámetros QoS donde este está representado en un periodo de tiempo esperado.
- *Size*: Son los parámetros de QoS que determinan un tamaño de una cantidad.
- *Failure y Cut-off Ratio*: Se asigna a los parámetros de QoS que representan una falla o una relación de corte. Se obtiene dividiendo los intentos fallidos para todos los intentos y es expresado en porcentaje.

En la Tabla 15-2 se muestra una descripción general de los puntos de activación utilizados para definir cada uno de los parámetros QoS. A cada punto de activación se le asigna un ID; desde el “tr-1” al “tr-8”. Este ID se usará más tarde en el capítulo III “Metodología” para definir los parámetros de QoS utilizados en este trabajo.

**Tabla 15-2:** Descripción de los IDs de los activadores usados para definir los parámetros QoS

ID de Activador	Descripción abstracta	Descripción técnica
tr-1	Inicio de la descarga del reproductor ( <i>Start of player download</i> )	TCP SYN hacia la plataforma de transmisión
tr-2	Primer paquete recibido del player ( <i>First packet of player received</i> )	HTTP 200 OK es recibido, de la solicitud para el <i>player</i> , en segmentos de datos TCP
tr-3	Fin de la descarga del player ( <i>End of player download</i> )	Último paquete recibido del <i>player</i>
tr-4	Inicio de la descarga del video ( <i>Start of video download</i> ). Presionando " <i>Play</i> "	TCP SYN hacia la plataforma de transmisión
tr-5	Inicio de la transferencia de video ( <i>Start of video transfer</i> )	Recepción de HTTP 200 OK para la carga de video en segmentos de datos TCP
tr-6	Inicio de reproducción de video ( <i>Start of video playout</i> )	Primer fotograma demostrado en el reproductor
tr-7	Fin de la transferencia de video ( <i>End of video transfer</i> )	Recepción del último paquete del contenido del video
tr-8	Se alcanzó el final previsto de la reproducción de video ( <i>Intended end of video playout reached</i> )	-

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

### 2.2.7. Calidad de experiencia (QoE) en streaming de video

La Calidad de Experiencia (QoE), según la UIT es “el grado de deleite o molestia del usuario de una aplicación o servicio” (International Telecommunication Union, 2016). En otras palabras, se trata de un parámetro de medida subjetiva del usuario que puede variar por muchos factores de percepción humana, como: antecedentes culturales del usuario, factores socio-económicos, estado emocional, perfil psicológico del usuario, etc. Es por esto que la QoE puede diferir de una persona a otra.

A pesar de lo antes mencionado la QoE se ha convertido en un factor importante a la hora de elegir un operador, ya que gran cantidad de los usuarios insatisfechos, son propensos a cambiar de proveedor; es así que aunque este concepto es nuevo, está tomando más fuerza e importancia. A diferencia del QoS que mide el rendimiento de la red, el QoE analiza el servicio final, siendo por tanto un desafío en la industria de telecomunicaciones,

En lo que tiene que ver QoE en *streaming* de video, las métricas se las puede clasificar en: “subjetivas” y las “objetivas”. Las subjetivas como ya se mencionó, se refieren a valores de opinión proporcionadas por el usuario; un ejemplo de este tipo de métrica es el MOS (Mean Opinion Score) que se califica en una escala del uno (más bajo) al cinco (más alto).

En cambio las métricas “objetivas” son las obtenidas en mediciones realizadas por equipamientos (no humano); es decir, parámetros de carácter técnico, medidos desde el dispositivo del usuario final.

Estas métricas objetivas son los “Indicadores Clave de Desempeño”, KPIs (*Key Performance Indicator*) que nos presenta la plataforma de software “*Tems Pocket*”, en el presente trabajo. Estas métricas nos ayudan a cuantificar y evalúan el desempeño del servicio de *streaming* de video. Con la ayuda de estos KPIs o métricas de carácter “objetivas” y con la ayuda del estándar PEVQ-s, a través de un proceso de estimación, se logra relacionar estas métricas (objetivas) a un valor de métrica “subjetiva”, permitiendo así contar con una forma práctica de medir QoE sin la necesidad de contar con personas que estén evaluando subjetivamente el servicio, lo cual es poco práctico y resultaría muy tedioso.

A continuación se enumeran algunas de las métricas objetivas o KPIs que pueden influir en la QoE de *streaming* de video:

- **Buffering Time:** Es el tiempo que demora en llenarse el *buffer* sin que se reproduzca el video.
- **Re-buffering Time:** Es el tiempo que demora en cargar nuevamente el video, luego de haberse detenido.

- **Access Time:** Es el tiempo que demora en acceder al servicio *streaming*.
- **Rebuffering Count:** Es un contador de uso de rebuffering; es decir, el número de paradas en el video.
- **Average Bitrate:** Es el promedio de bits por segundo recibidos durante la reproducción del video.

#### 2.2.7.1. Evaluación de QoE

La evaluación de QoE es el proceso de “medir” o “estimar” la QoE de un servicio, tomando en cuenta los parámetros que influyen sobre este. Esta evaluación puede ser exhaustiva cuando se incluye muchas métricas, mientras que es limitada cuando se incluye pocas métricas, la diferencia de estas dos formas de evaluar la QoE se describe a continuación:

- **Medir:** Hay que realizar una encuesta a los usuarios del servicio, básicamente de carácter “subjetivo”, lo cual puede ser muy complejo.
- **Estimar:** Se trata de emular la opinión promedio de los usuarios a través de algoritmos, basado en parámetros medibles (objetivos).

#### 2.2.7.2. Medidas de QoE de video

En redes de paquetes existen varios tipos de degradación en la imagen, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- Errores de crominancia.
- Efecto de bloques.
- Falta de definición.
- Efecto escalera (Joskowicz, 2017)

Una de las formas más confiables de medir la QoE es la subjetiva, evaluando la percepción del usuario a través del MOS (Mean Opinion Score), en base a la escala de valores que se muestra en la Tabla 16-2.

**Tabla 16-2:** Escala de MOS

DESCRIPCIÓN	PUNTAJE
Excelente	5
Buena	4
Regular	3
Mediocre	2
Mala	1

**Fuente:** (SERIE P: Calidad de Transmisión Telefónica, Instalaciones Telefónicas y Redes Locales, 1999)

**Elaborado por:** César Iñiguez, 2018

En la ITU-T P.910 (1999) se describe los siguientes “Métodos de evaluación subjetiva de la calidad de vídeo para aplicaciones multimedia” (Unión Internacional de las Telecomunicaciones, 1999):

- “Índices por Categorías Absolutas”, ACR (*Absolute Category Rating*)
- “Índices por Categorías de Degradación”, DCR (*Degradation Category Rating*)
- “Método de comparación por pares”, PR (*Pair Comparison*)

Existen también medidas objetivas para la medición de calidad en video, como por ejemplo:

- “La Relación Señal a Ruido de Pico”, PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*): usado para medir la calidad en reconstrucción de compresión de imagen.
- ITU-T G.1070: *Opinion Model for video-telephony applications*: es un algoritmo de estimación de la calidad de video teléfonos en ambientes de redes de datos.

Si bien, como se mencionó anteriormente, las medidas subjetivas suelen ser complejas y hasta resultar tediosas, se ha visto la necesidad de automatizar el proceso de control de calidad, ya que es poco práctico tener gente siempre realizando evaluaciones del servicio. Es así que se han diseñado algunos algoritmos, que si bien no pueden dar una medida exacta de la QoE, permiten medir objetivamente factores que influyen sobre la QoE, y de esta manera se puede estimar el valor subjetivo.

Para la evaluación objetiva de la voz se ha llegado a tener los procesos y estándares muy bien definidos; sin embargo, en el video aún se debe mejorar los métodos de evaluación; más aún cuando el video tiene mayor complejidad en comparación con la voz; esto ya que lleva consigo

contenido de imagen y audio. Entre los estándares que se ha popularizado en la estimación de QoE para *streaming* de video con mediciones objetivas, tenemos por ejemplo la “Evaluación Perceptual de la Calidad de Video Streaming” PEVQ-s (*Perceptual Evaluation of Video Quality Streaming*); que presenta como resultados de las mediciones valores dentro de una escala MOS. Este estándar se lo analizará en la sección 2.2.7; por ahora nos centraremos en analizar los tipos de métodos usados para las mediciones objetivas.

#### ➤ **Métodos referenciales y sin referencia**

Entre los métodos de evaluación objetiva de calidad tenemos los “referenciales” y “sin referencia”; las características de cada uno se describen a continuación:

- **Referenciales:** En este método se compara el video origen con el video recibido por el usuario; es decir, el origen se usa como referencia. Por ejemplo si un *frame* de video del origen es idéntico al presentado al usuario, tiene una puntuación alta, mientras que si al usuario le llega con distorsión su puntuación disminuye.
- **Sin Referencia:** Al contrario de los “Referenciales”, este método no usa el origen de referencia; solo mide valores en la recepción del usuario, y usa para el análisis otras características de calidad. Se usa cuando es imposible tener datos del video origen.

Al tener el método referencial mayores datos, este método proporciona una mejor medición de calidad de video.

#### ➤ **Degradación durante la transferencia de datos**

Problemas en la red como la pérdida de paquetes o retardo a nivel de transporte, pueden ocasionar problemas a nivel de aplicación; en este caso el video *streaming*. Dichos problemas son por ejemplo: baja velocidad de *frames*, tiempo de iniciación muy largos (hasta que los datos se carguen en el *buffer*), paradas de video (que ocasionan un *rebuffer*); aunque en el caso del *buffer*, en cuanto a su capacidad, depende también del diseño de la aplicación. Todos estos factores influyen directamente sobre la QoE.

La provisión y evaluación de la calidad de *streaming* de video en comparación al audio (que ya se encuentra estandarizado) es mucho más complejo, ya que parámetros como el *buffer* no se encuentran estandarizados, además de la gran cantidad de elementos que usa como *codecs*,



protocolos de transporte, protocolos de tiempo real, etc, hace necesario que el tema se lo maneje de una manera pragmática. (Ascom, 2009).

### 2.2.8. Estándar PEVQ-s

La “Evaluación Perceptual de la Calidad de Video Streaming, PEVQ-s (*Perceptual Evaluation of Video Quality Streaming*), es un estándar para la medición de la calidad de experiencia (QoE) de video *streaming*, de una manera comparativa o “referencial”. PEVQ-s usa la combinación del estándar PEVQ, que analiza la calidad de imagen perceptual de referencia completa, y una aplicación instalada en el usuario.

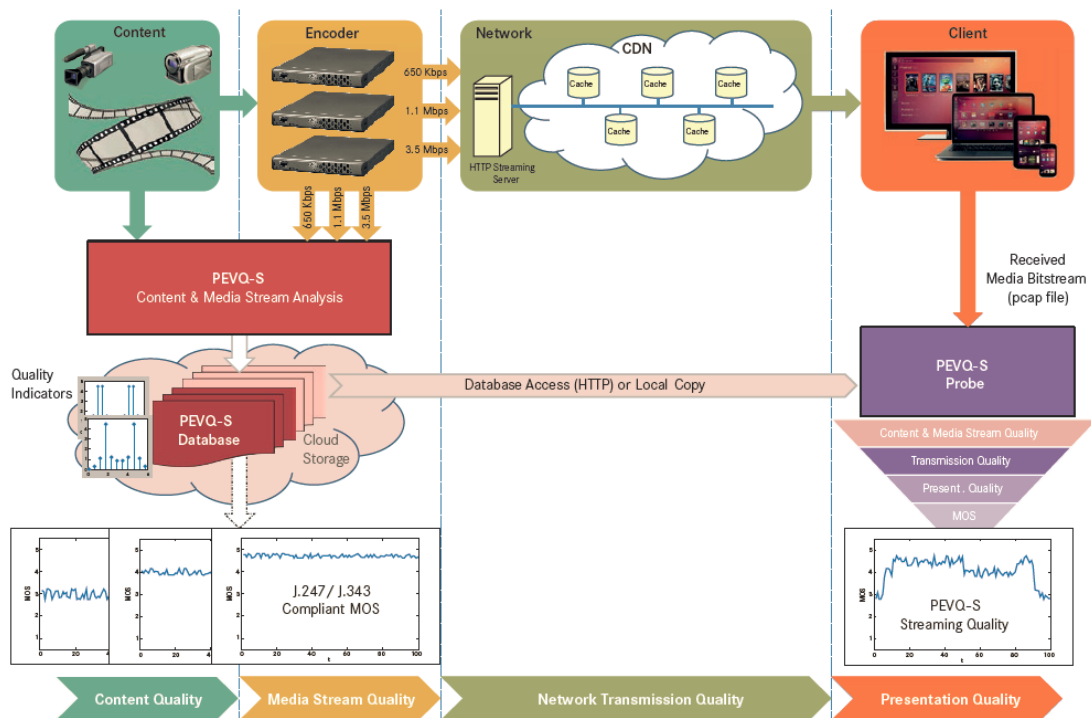
Algunas de sus características se describen a continuación:

- Evaluación perceptual de la calidad de video, combinando la evaluación de imagen en base a píxeles y el análisis de *bit-stream*, proporcionando de esta manera una predicción o “estimación subjetiva”.
- Estandarizado según las recomendaciones UIT-T J.247 y J.343.
- Califica al codificador y la calidad de imagen multimedia con respecto a la referencia del estudio *master*.
- Permite la calificación MOS de la calidad en tiempo real; es decir mientras el video se reproduce (Opticom, 2015).

Soporta los siguientes protocolos:

- YouTube HTTP/HTTPS
- Apple HTTP Live Streaming (HLS)
- Microsoft Smooth Streaming

La empresa OPTICOM ofrece una solución con PEVQ-s para la medición de QoE, el cual usa una arquitectura híbrida que se divide en dos partes fundamentales: el análisis de contenido y *media streaming*, y la exploración del cliente (*Client Probe*) que se muestran en la Figura 25-2.



**Figura 25-2:** Resumen de Sistema para el uso de PEVQ-s  
**Fuente:** (Opticom, 2015)

De igual manera en la Figura 25-2, se observa las cuatro capas que conforman esta arquitectura: *Content Quality*, *Media Stream Quality*, *Network Transmission* y *Presentation Quality*. PEVQ-s evalúa las cuatro capas de calidad y calcula una puntuación MOS; es decir, toma en cuenta todo el proceso desde el contenido sin compresión, pasando por la codificación, transcodificación (cambio de codecs), calidad en la transmisión dentro de la red (protocolos, ancho de banda, paquetes perdidos), hasta la calidad en el usuario (por ejemplo *Rebuffering*). Un mayor detalle de esta solución con las características de sus capas se muestra en la Figura 26-2.



**Figura 26-2:** Capas de Calidad que usa PEVQ-s  
**Fuente:** (Opticom, 2015)

### 2.2.9. KPIs de QoS y QoE

Los KPIs analizados en este trabajo se muestran en la Tabla 17-2. Aquí se indica la definición y el ID de activador de inicio y finalización para cada KPI; dichos activadores se definieron en la sección 2.2.6.2 “Parámetros de QoS para servicios de video basados en TCP”.

**Tabla 17-2:** Definición y detalle de activadores para cada KPI analizado

Nombre de KPI	Definición	Activador de inicio y fin
<i>Session Cutoff Ratio (%)</i>	Es la relación de corte general para la sesión de video, esta incluye “ <i>streaming access</i> ”, “ <i>buffering</i> ” y “ <i>playout</i> ”.	ID activador de inicio: tr-4 ID activador de finalización: tr-8
<i>Play Start Failure Ratio (%)</i>	Es la tasa de fallas general al iniciar la reproducción del video	ID activador de inicio: tr-4 ID activador de finalización: tr-6
<i>Playout Cutoff Ratio (%)</i>	Es la relación de corte general para la reproducción del video	ID activador de inicio: tr-6 ID activador de finalización: tr-8
<i>Impairment Free Video Session Ratio (%)</i>	Es la proporción general de todos los videos que se han reproducido sin ningún tipo de molestia para el usuario, en relación con el número total de intentos de reproducción de video. Teniendo en cuenta las siguientes falencias: fallas en el inicio, congelaciones de video, omisiones de video, fallas en la descarga	ID activador de inicio: tr-4 ID activador de finalización: tr-8
<i>Video Play Start Time (s)</i>	El tiempo que tardó en comenzar la reproducción del video	ID activador de inicio: tr-4 ID activador de finalización: tr-6
<i>Service Access Time (s)</i>	El tiempo que tardó en iniciarse la transferencia del video	ID activador de inicio: tr-4 ID activador de finalización: tr-5
<i>Reproduction Start Delay (s)</i>	El tiempo que tardó en mostrar el primer <i>frame</i> en el reproductor	ID activador de inicio: tr-5 ID activador de finalización: tr-6
<i>Average Video Quality (MOS)</i>	Es el promedio de puntuación MOS de video (PEVQ-s); sigue la Recomendación UIT-T J.343.	ID activador de inicio: tr-6 ID activador de finalización: tr-8

**Fuente:** (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

**Elaborado por:** César Iñiguez, 2018

Algunos tiempos dentro de las fases de los servicios de video basados en TCP, recomendados en la ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12), se toman en cuenta en el presente trabajo para calcular las metas de los KPIs. Los tiempos recomendados se muestran en la Tabla 18-2.

**Tabla 18-2:** Tiempos recomendados para video basado en TCP

Descripción	Tiempo recomendado (s)	Fase relacionada	ID de Activador de inicio
<i>Player IP Service Access timeout</i>	30	<i>IP Service Access</i>	tr-1
<i>Player Download Time Timeout</i>	30	<i>Player Download</i>	tr-2
<i>Video IP Service Access timeout</i>	30	<i>Streaming Access</i>	tr-4
<i>Video reproduction start delay timeout</i>	20	<i>Buffering</i>	tr-5

**Fuente:** (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

**Elaborado por:** César Iñiguez, 2018

Para el análisis de los KPIs, estos han sido clasificados de la siguiente forma:

- Sesión (para QoS)
- Temporales (para QoS)
- Calidad (para QoE)

#### 2.2.9.1. KPIs de sesión

Los KPIs de sesión son presentados con valores porcentuales (%) y representan las fallas y aciertos en la sesión de video dentro de las fases del video basado en TCP. Estos valores obtenidos son comparados entre las tres operadoras móviles 4G.

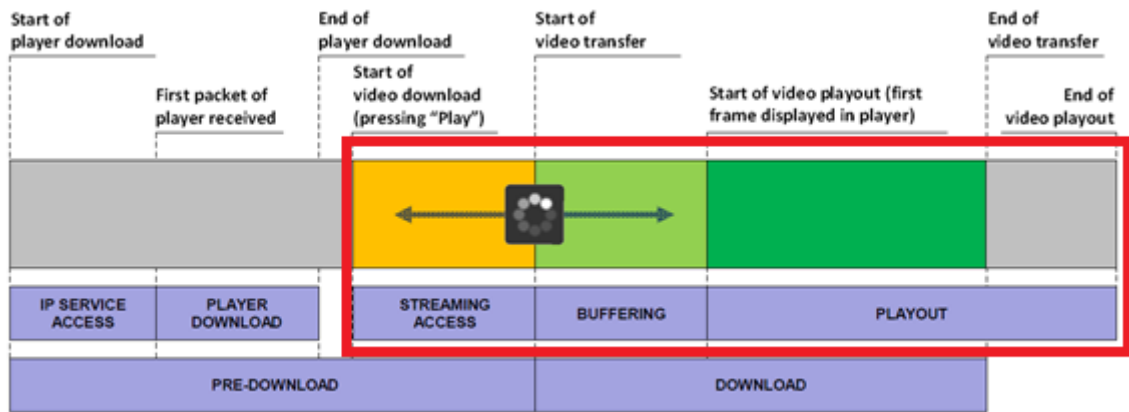
Los KPIs de sesión son:

- *Session Cutoff Ratio*
- *Play Start Failure Ratio*
- *Playout Cutoff Ratio*
- *Impairment Free Video Session Ratio*

A continuación se describe cada uno de ellos.

#### ➤ **Session cutoff ratio**

La “relación de corte de sesión” (*Session Cutoff Ratio*) es la relación de corte general para la sesión de video, esta incluye para su medición las fases de los servicios de video basados en TCP de: “*streaming access*”, “*buffering*” y “*playout*”; como lo muestra el recuadro rojo de la Figura 27-2.

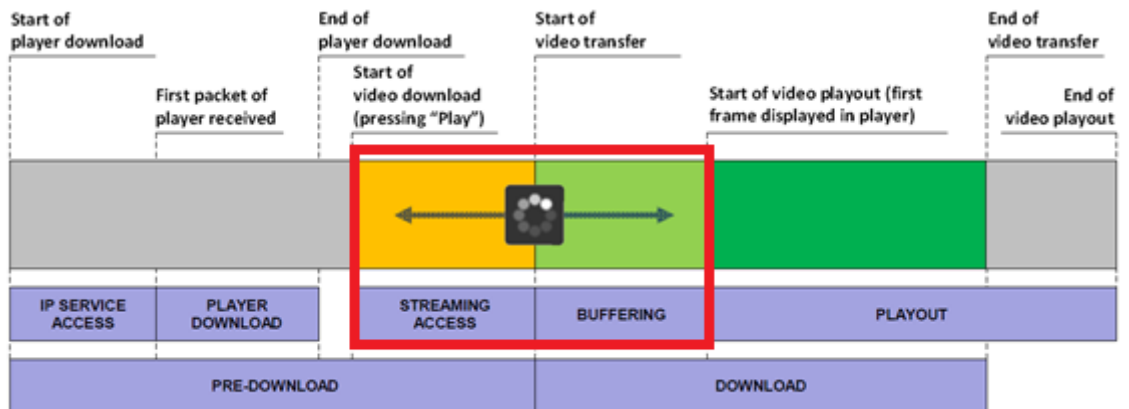


**Figura 27-2:** Fases que incluyen los KPIs "Session Cutoff Ratio" e "Impairment Free Video Session Ratio"

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

### ➤ Play start failure ratio

La "Relación de falla al iniciar el video" (*Play Start Failure Ratio*) es la tasa de fallas general al iniciar la reproducción del video; esta incluye para su medición las fases de los servicios de video basados en TCP de: "streaming access" y "buffering"; como lo muestra el recuadro rojo de la Figura 28-2.

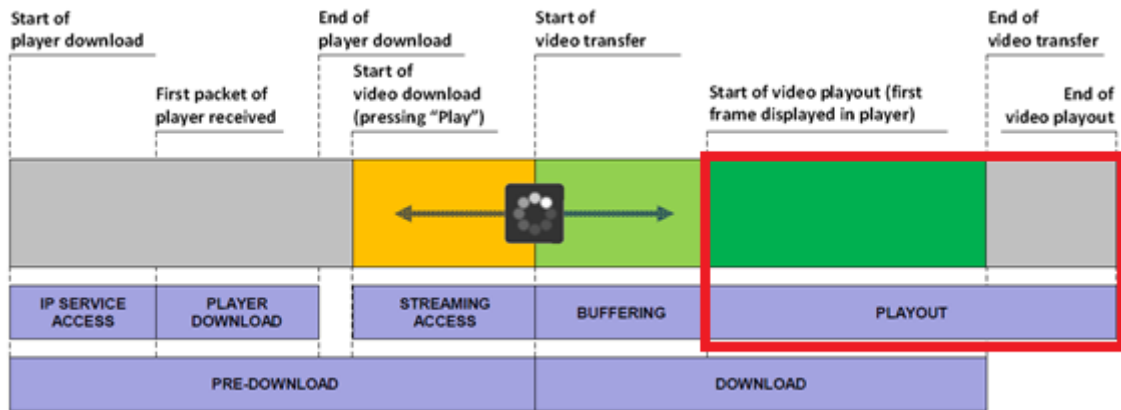


**Figura 28-2:** Fases que incluye el KPI "Play Start Failure Ratio"

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

➤ **Playout cutoff ratio**

La “Relación de corte de reproducción” (*Playout Cutoff Ratio*) es la relación de corte general para la reproducción del video, esta incluye para su medición la fase de “*playout*” de los servicios de video basados en TCP; como lo muestra el recuadro rojo de la Figura 29-2.



**Figura 29-2:** Fases que incluye el KPI "*Playout Cutoff Ratio*"

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

➤ **Impairment free video session ratio**

La “Proporción de sesiones de video sin problemas” (*Impairment Free Video Session Ratio*) es la proporción general de todos los videos que se han reproducido sin ningún tipo de molestia para el usuario, en relación con el número total de intentos de reproducción de video. Este KPI al igual que el KPI “*Session Cutoff Ratio*” incluye para su medición las fases de los servicios de video basados en TCP: “*streaming access*”, “*buffering*” y “*playout*”; como lo muestra el recuadro rojo de la Figura 27-2.

2.2.9.2. *KPIs temporales*

Para el análisis comparativo de los KPIs se toma en cuenta valores referenciales, mismos que son descritos en el reporte técnico ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12), y que se mostraron en la Tabla 18-2.

Los KPIs de carácter temporal representan la QoS de *streaming* de video medidos en ciertas fases del proceso de reproducción del video *streaming* basado en TCP. Al ser estos KPIs de carácter temporal, son medidos en segundos (s).

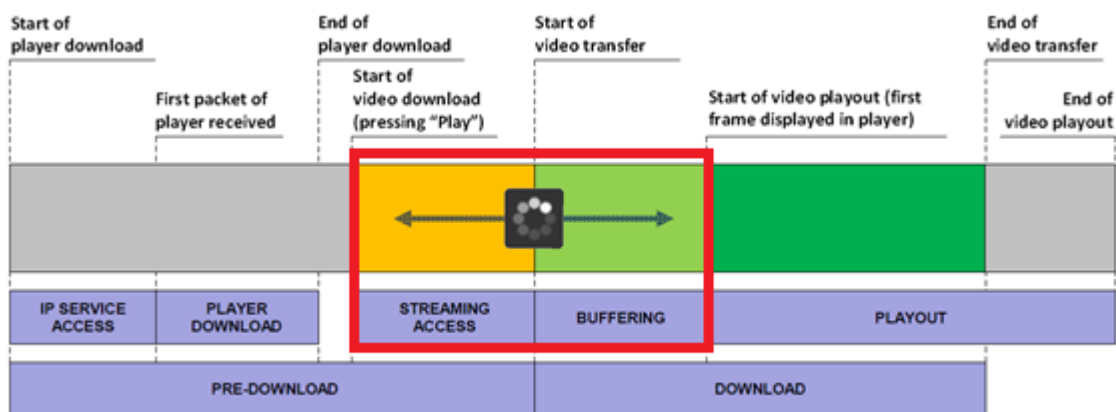
Los KPIs que están dentro de esta clasificación son:

- *Video Play Start Time*
- *Service Access Time*
- *Reproduction Start Delay*

Los mismos se analizan de manera individual a continuación.

➤ **Video play start time**

El “Tiempo de Inicio de Ejecución de Video” (*Video Play Start Time*) es el tiempo transcurrido entre el inicio de “*Streaming Access*” y la finalización del “*Buffering*”, esto dentro de las fases de los servicios de video basados en TCP, como lo muestra el recuadro rojo la Figura 30-2.



**Figura 30-2:** Fases que incluye el KPI "*Video Play Start Time*"

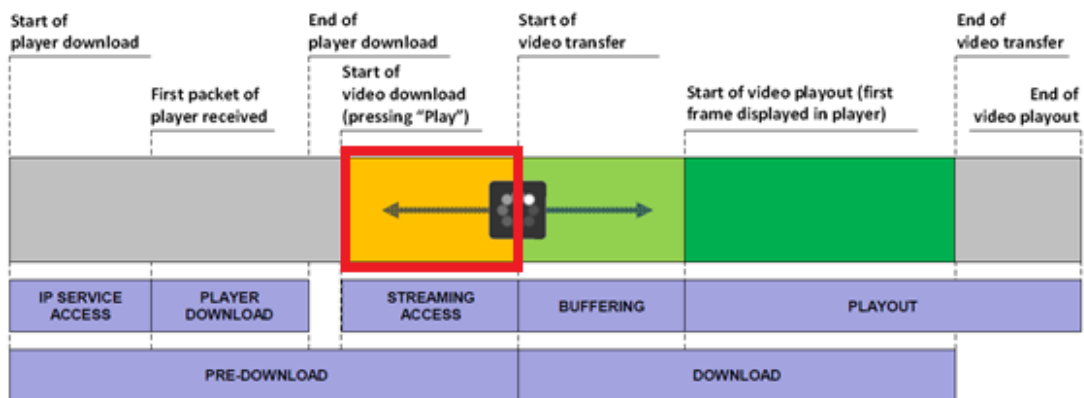
Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

Según lo indicado en la ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12), el tiempo recomendado máximo de “*Video IP Service Access timeout*”, que corresponde al tiempo máximo para el proceso de “*Streaming Access*” es de “30 s”; mientras que el “*Video reproduction start delay timeout*”, que es el tiempo máximo que se recomienda para el proceso de “*Buffering*”, es de “20 s” (tal como se mostró en la Tabla 18-2); por lo que, el tiempo recomendado para el KPI “*Video Play Start Time*”

que representa la suma de ambos tiempos, sería de “50 s”. Mientras más bajo sea el valor de este KPI con respecto al recomendado, mucho mejor será el parámetro de QoS.

➤ **Service access time**

El “Tiempo de acceso al servicio” (*Service Access Time*) es el tiempo que transcurre para que se dé inicio a la transferencia del video, y comprende las fase de “*Streaming Access*”, dentro de las fases de los servicios de video basados en TCP, como lo muestra el recuadro rojo la Figura 31-2.



**Figura 31-2:** Fase que incluye el KPI "*Service Access Time*"

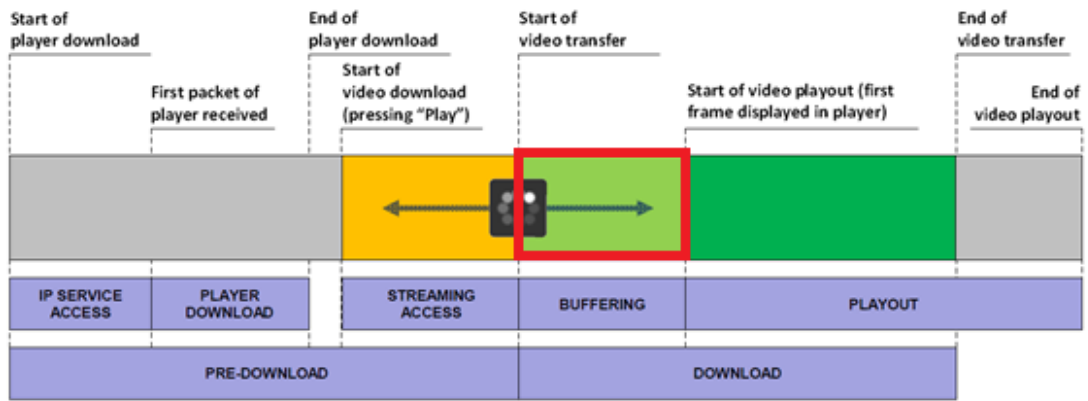
Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

Según lo indicado en la ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12), el tiempo recomendado máximo de “*Video IP Service Access timeout*”, que corresponde al tiempo máximo para el proceso de “*Streaming Access*” es de “30 s”, como se mostró en la Tabla 18-2.

➤ **Reproduction Start Delay**

El “Retardo de Inicio de Reproducción” (*Reproduction Start Delay*) es el tiempo que transcurre hasta que se muestre el primer *frame* en el reproductor, y comprende la fase de “*Buffering*”, dentro de las fases de los servicios de video basados en TCP, como lo muestra el recuadro rojo la Figura 32-2.





**Figura 32-2:** Fase que incluye el KPI "*Reproduction Start Delay*"

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

El valor recomendado por la ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12), para el "*Video reproduction start delay timeout*", que es el tiempo máximo para el proceso de "*Buffering*", es de "20 s", como se mostró en la Tabla 18-2.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipos y diseño de la investigación

Este trabajo utiliza el tipo de investigación *cuasi experimental* ya que no se tiene un control total de las variables que intervienen en la misma, específicamente sobre las operadoras móviles, cuyo diseño y despliegue está fuera de nuestro alcance.

Además es *cuasi experimental* porque se realiza un experimento sobre un escenario creado y definido por variables independientes y dependientes.

El experimento consiste en obtener métricas “objetivas” o KPIs de calidad del servicio de *streaming* de video de YouTube, realizando la reproducción de un video específico, sobre las tres redes de datos móviles 4G existente en el país.

Esta rama de la tecnología ha sido poco explorado y estudiada, por lo que los resultados obtenidos en el presente trabajo nos dan un amplio panorama sobre el mismo; por este motivo, la presente investigación tiene un diseño transversal. Además para este estudio se toma una instantánea de la población, durante un tiempo determinado, ya que no se pretende analizar las variables en distintos tiempos o periodos específicos, es decir el tiempo no interviene como variable principal.

#### 3.2. Métodos de la investigación

- **Método analítico**

Se describe las métricas “objetivas” o KPIs de calidad, obtenidos en los diferentes escenarios de medición para el servicio *streaming* de video de YouTube en las redes de datos móviles 4G y se compara las mismas entre las tres operadoras 4G.

- **Método científico**

Se sigue los pasos que describe el método científico para, a través de la observación, llegar a la demostración de la tesis.

- **Método hipotético-deductivo**

Se usa el método “hipotético-deductivo” ya que a partir de una hipótesis, se usa métodos para deducir si es verdadera o falsa.

### **3.3. Enfoque de la investigación**

La presente investigación tiene un enfoque “cuantitativo”, ya que la calidad de *streaming* de video de YouTube se lo analiza desde las métricas “objetivas”; es decir desde los KPIs obtenidos a través de un equipo especializado de medición, representado con valores numéricos y porcentuales.

### **3.4. Alcance de la investigación**

El presente estudio tiene un alcance “descriptivo”. Ya que se describe de manera individual el comportamiento del *streaming* de video de YouTube en las redes de datos móviles 4G en el Ecuador, en cuanto a los resultados obtenidos (KPIs) en los escenarios de medición.

### **3.5. Población de estudio**

La población de estudio corresponde al número de mediciones de KPIs realizadas en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, en las veintiún (21) ubicaciones geográficas *outdoor* fijas; dentro de la zona de cobertura 4G de las tres operadoras. En todas las veintiún (21) ubicaciones geográficas se realiza un total de ciento cincuenta (150) mediciones en cada operadora, con la ejecución de un *script* de medición.

Se observó que con mediciones menores a ciento cincuenta (150) por operadora, no se tenía los datos suficientes para procesar la información y que superior a ciento cincuenta (150) los resultados se replicaban. Por lo que la población del presente estudio es de ciento cincuenta (150) mediciones por operadora móvil 4G.

### **3.6. Unidad de análisis**

Los objetos de estudio de la presente investigación corresponden a cada escenario de prueba donde se realizan las mediciones para cada operadora, usando *smartphones* y el software *Tems Pocket*, (propiedad de la ARCOTEL). Las mediciones se las realiza simultáneamente, en un ambiente *outdoor* y fijo, en veintiún (21) sitios geográfico. Cada sitio geográfico tiene una característica de operación en la red móvil (señal de recepción RSRP, RSRQ, frecuencia, etc) por lo que corresponde a un escenario distinto. Con los veintiún (21) sitios geográficos se logra tener una variedad de características de red móvil como escenario y obtener así resultados de mediciones en cada uno de ellos.

La herramienta *Tems Pocket* tiene por defecto tres videos base para realizar mediciones, si realizáramos mediciones con cada una de los videos base y con cada operadora, la cantidad de información a procesar sería demasiado grande; por otra parte, dado que el presente trabajo tiene como finalidad realizar el análisis comparativo del servicio de streaming entre las tres operadoras móviles 4G, nos enfocamos en definir las variables independientes a las operadoras móviles 4G, y no los videos base, es así que se ha elegido solo un video base de medición de KPIs (video 1).

### **3.7. Selección de la muestra**

La muestra seleccionada corresponde a toda la población; es decir, se tendrá una muestra equivalente a 150 mediciones por cada operadora; que en total serían 450 mediciones.

### **3.8. Identificación de variables**

En el presente trabajo se define las variables independientes y las dependientes

#### ***3.8.1. Variables independientes***

La variable independiente es “Operadora de datos móviles 4G”, esta variable puede tomar tres estados, que son las tres empresas que brindas el servicio 4G en el Ecuador:

- Claro
- Movistar
- CNT

### 3.8.2. Variables dependientes

Las variables dependientes para el presente trabajo son dos:

- Calidad de Servicios (QoS) para el *streaming* de video de YouTube.
- Calidad de Experiencia (QoE) para el *streaming* de video de YouTube.

Dentro de las variables de QoS, estas se las divide para su estudio en dos tipos: de sesión y temporales. Mientras que de QoE solo se cuenta con una variable.

Los indicadores de las variables dependientes representan las métricas objetivas o KPIs que se miden, estas se muestran en la Tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Indicadores de las variables dependientes

Variables dependientes	Indicadores
Calidad de Servicios (QoS) para el <i>streaming</i> de video de YouTube	Indicadores de sesión (%): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Session Cutoff Ratio</li> <li>• Play Start Failure Ratio</li> <li>• Playout Cutoff Ratio</li> <li>• Impairment Free Video Session Ratio</li> </ul> Temporales (segundos): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Video Play Start Time</li> <li>• Service Access Time</li> <li>• Reproduction Start Delay</li> </ul>
Calidad de Experiencia (QoE) para el <i>streaming</i> de video de YouTube	Average Audio / Video Quality (MOS)

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

### 3.9. Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios

Las técnicas usadas en la presente investigación son:

- *Recopilación de información:* permite obtener la información de las variables tanto dependientes como independientes que se va a analizar, a través de mediciones experimentales en campo, a las tres operadoras móviles 4G de forma simultánea. Esto se realiza mediante *smartphones* que poseen el software “*Tems Pocket*”.
- *Observación:* permite verificar y determinar que los resultados de las mediciones realizadas a las diferentes operadoras 4G en el Ecuador sean datos confiables y coherentes.
- *Análisis:* permite establecer la comparación de los resultados de las mediciones realizadas a las diferentes operadoras.

### 3.10. Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios

Los KPIs medidos que nos entrega los equipos *Tems Pocket*, están contenidos en un archivo denominado “*log files*”; estos archivos generados al finalizar la ejecución de cada *script*, se los carga a un servidor FTP de propiedad de ARCOTEL y de igual manera se almacena automáticamente en cada uno de los terminales móviles.

Adicionalmente se realiza un registro en Microsoft Excel de datos como: dirección, coordenadas, hora y fecha de las mediciones; así como el registro de los puntos en Google Earth Pro. Estos datos sirven a la hora de procesar los archivos “*log files*”.

El *hardware* que se usa es el siguiente: Computador portátil con Windows 10, GPS, cámara de fotos, servidor FTP (de ARCOTEL), y la herramienta “*Tems Pocket*” desarrollada por “InfoVista” y propiedad de ARCOTEL, la cual se muestra en la Fotografía 1-3.

La herramienta de medición “*Tems Pocket*” contiene lo siguiente:

- Mochila y soporte interno para transporte.
- Ventiladores.
- Puntos de carga para celulares y baterías.
- Fuente de Poder.
- 3 baterías (*Power Banks*).
- 3 *Smartphones* Samsung SM-G920I (uno por operadora).
- 1 Tablet Samsung Galaxy Tab S2 (SM-T813).



**Fotografía 1-3:** Herramienta "Tems Pocket"  
Elaborado por: César Iñiguez, 2018

El *software* que se utiliza en el presente trabajo de investigación es el siguiente: Windows 10, Microsoft Word, Microsoft Excel, Google Earth Pro, servidor FTP y Tems Pocket versión 16.3.6.124.

### **3.11. Instrumentos para procesar los datos recopilados**

Para el procesamiento de los datos de medición se usa los programas informáticos: Microsoft Excel (*Microsoft Office Professional Plus 2013*), SPSS versión 23, R 3.5.1 y TEMS Discovery Device 20.1.0, que permite el análisis estadístico y posterior presentación gráfica de los resultados.

### 3.12. Escenarios de prueba

La herramienta “*Tems Pocket*” puede configurarse de tal forma que realice la ejecución de un programa de medición (*script*), previamente elaborado. Es así que se configura un *script* por operadora (idénticos) para que puedan ejecutarse en los tres teléfonos móviles simultáneamente. Esta ejecución es controlada desde un equipo *master (tablet)*, el cual se encuentra conectado con los teléfonos mediante *WiFi* y *Bluetooth*.

Los *scripts* se los ejecuta cuatro veces en promedio (dependiendo de la velocidad de cada operadora), en veintiún (21) puntos ubicados geográficamente (con diferentes características de red móvil) dentro de la cobertura 4G de las operadoras móviles, dentro de la ciudad de Cuenca.

En los veintiún (21) puntos geográficos se tendrán diferentes niveles de señal de las tres operadoras, por lo que se obtienen mediciones con una gran variedad de niveles RSRP.

#### 3.12.1. Diseño de los escenarios

Los escenarios consisten en correr los *scripts* simultáneamente, para medir los KPIs de calidad y evaluar la QoE del *streaming* de video de YouTube en las tres operadoras móviles 4G, en los veintiún (21) puntos geográficos (escenarios), distribuidos dentro de la cobertura 4G en la ciudad de Cuenca.

##### 3.12.1.1. Diseño de script

El *script* de medición es elaborado mediante el *software* “*Tems Pocket*”, en el cual intervienen las siguientes acciones:

- Almacenamiento de mediciones en un archivo *log file*.
- Ping.
- Dos mediciones de YouTube, con el “Video 1”, con una configuración de reproducción de 120 segundos.
- Envío del archivo “*log file*” a un servidor FTP.

En el *script* se debe iniciar con la habilitación de la grabación de todas las mediciones instantáneas generadas, en un archivo *log file*.



En cuanto a la medición de ping, es usado para dar seguimiento durante la ejecución del *script*, del acceso correcto a la nube y al servidor de YouTube.

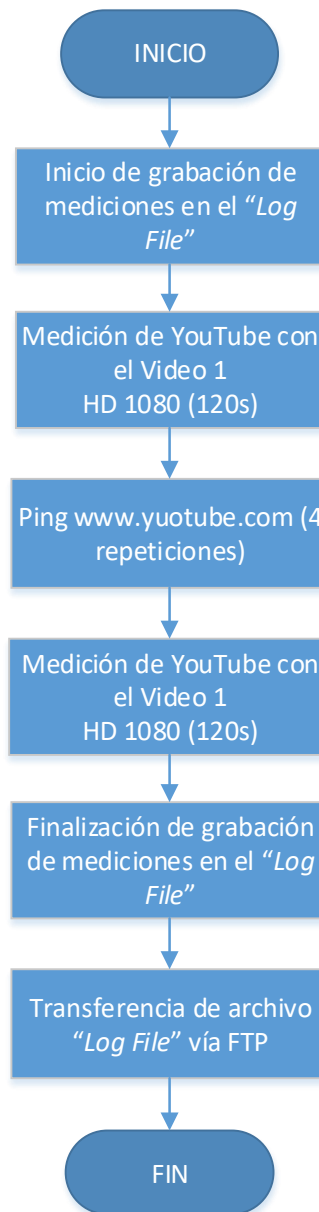
Para la medición de YouTube, existen tres video preestablecidos en el *software* “*Tems Pocket*” y son videos bases para las mediciones de calidad que posee la herramienta, para este trabajo se usa solo el “Video 1”, con un tiempo de reproducción de 120 segundos. Los parámetros del “Video 1” son los siguientes:

- **Contenedor:** MP4
- **Resolución:** 1920 x 1080
- **Longitud:** 4 m 29 s (solo se mide 120 segundos)
- **Códec:** H.264

Finalmente el archivo *log file* generado, se lo envía a través de la misma red de datos móviles, a un servidor FTP de propiedad de ARCOTEL, para su posterior procesamiento.

De acuerdo a lo antes descrito, la lógica del *script* diseñado se describe en el diagrama de flujo de la Figura 1-3.

Los pasos para la configuración de los *scripts* se lo detalla en el Anexo A del presente trabajo. Luego de la configuración del *script* en el programa *Tems Pocket*, se genera un archivo XML que contiene el código de la programación, este código se lo muestra en el Anexo B.



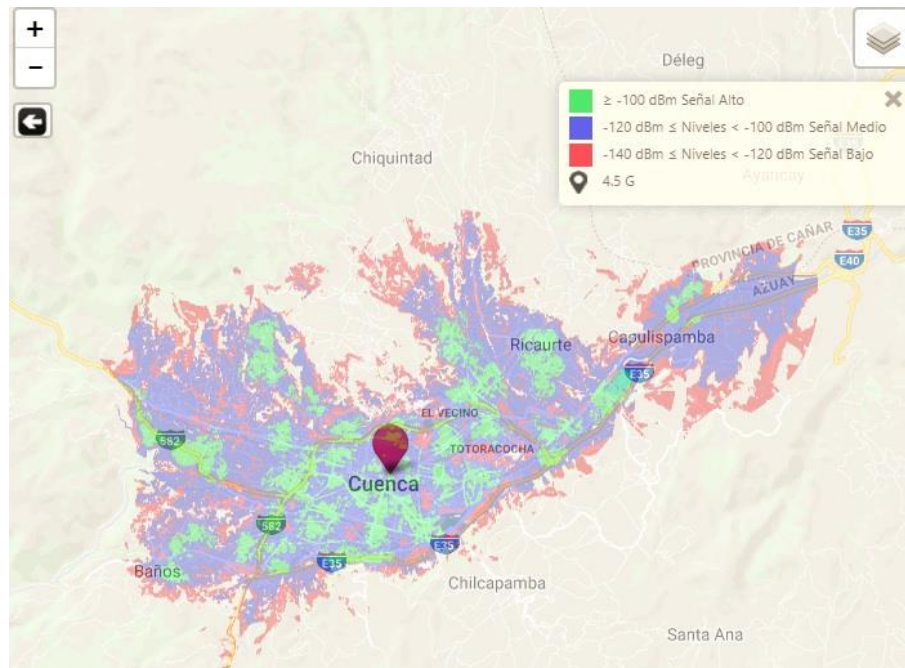
**Figura 1-3:** Diagrama de flujo del script  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

### 3.12.1.2. Cobertura 4G en la ciudad de Cuenca

Para la selección de los puntos geográficos para las mediciones, se toma en cuenta la cobertura 4G de las tres operadoras, las cuales se pueden obtener de la página web de cada empresa móvil; los *links* a dichas páginas se indican a continuación:

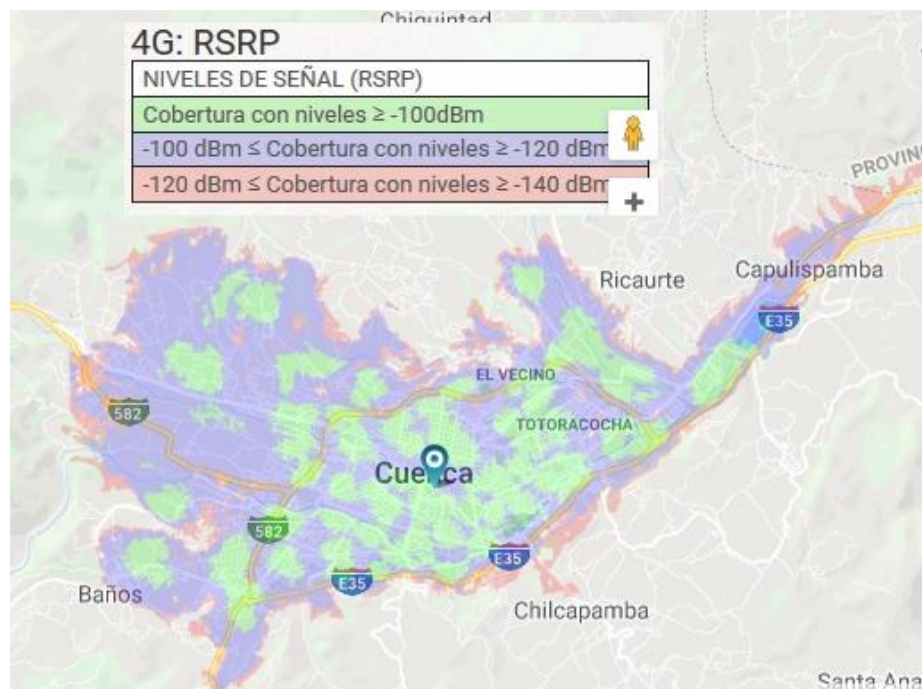
- CLARO: <https://www.claro.com.ec/personas/servicios/servicios-moviles/cobertura/>
- MOVISTAR: <https://www.movistar.com.ec/productos-y-servicios/cobertura>
- CNT E.P: <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal>

El mapa de cobertura de 4G de la operadora Claro en la ciudad de Cuenca se muestra en la Figura 2-3, donde se muestra en distintos colores los niveles de señal RSRP.



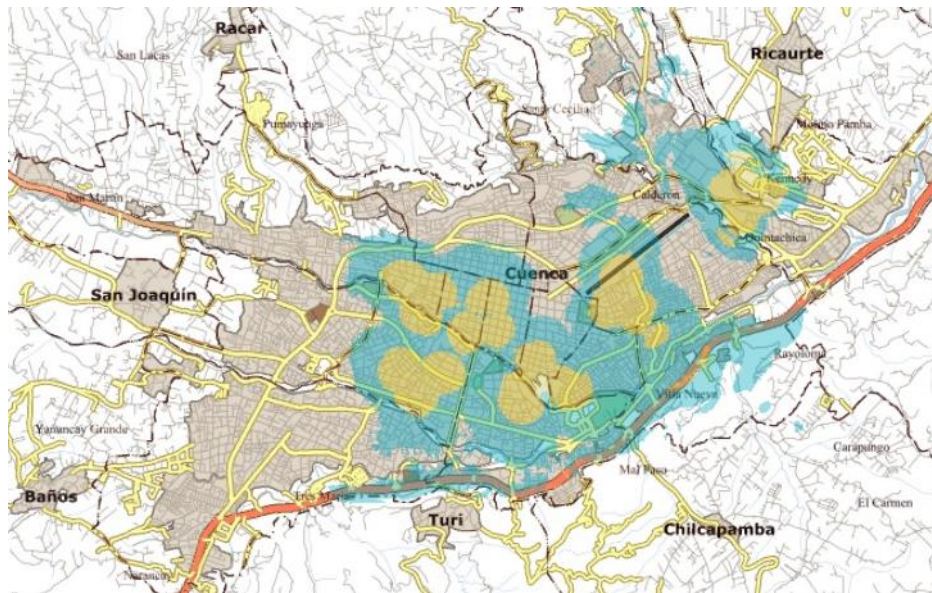
**Figura 2-3:** Cobertura de Claro en la tecnología 4G en la ciudad de Cuenca  
**Fuente:** (Claro Cobertura, 2018)

El mapa de cobertura de 4G de la operadora Movistar en la ciudad de Cuenca se muestra en la Figura 3-3, donde se muestra en colores los niveles de señal RSRP.



**Figura 3-3:** Cobertura de Movistar en la tecnología 4G en la ciudad de Cuenca  
**Fuente:** (Mapas de Cobertura, 2018)

El mapa de cobertura de 4G de la operadora CNT E.P en la ciudad de Cuenca se muestra en la Figura 4-3.



**Figura 4-3:** Cobertura de CNT E.P en la tecnología 4G en la ciudad de Cuenca  
Fuente: (CNT Geoportal, 2018)

De acuerdo a las gráficas citadas, CNT E.P es la operadora con menor cobertura 4G en la ciudad de Cuenca. Mientras que Claro y Movistar mantienen similitud en cobertura, aunque Movistar presentan mayor cobertura con niveles de RSRP de mayores o iguales a -100 dBm.

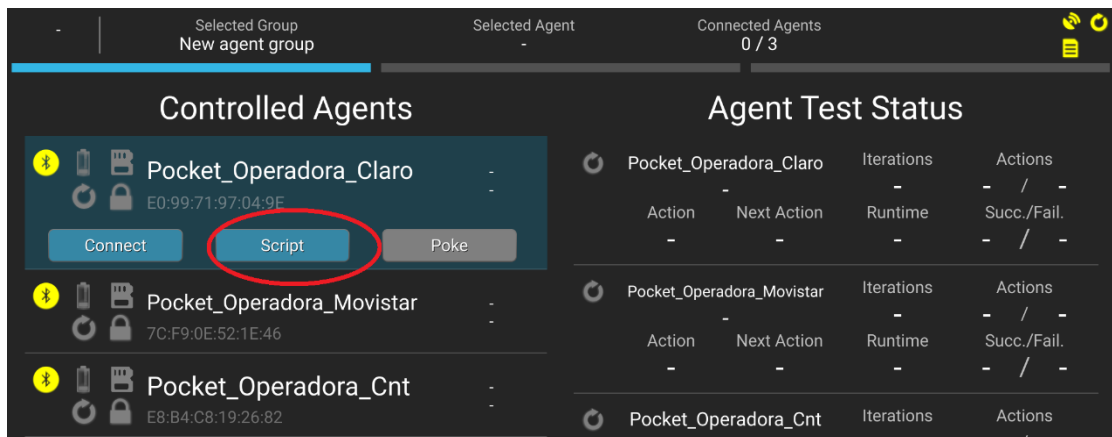
### 3.12.2. Implementación de escenarios

Para la operación de los escenarios de mediciones se realiza la programación de un *script* por operadora, los cuales siguen la misma lógica descrita en la sección anterior. A estos *scripts* se los nombra de la siguiente forma:

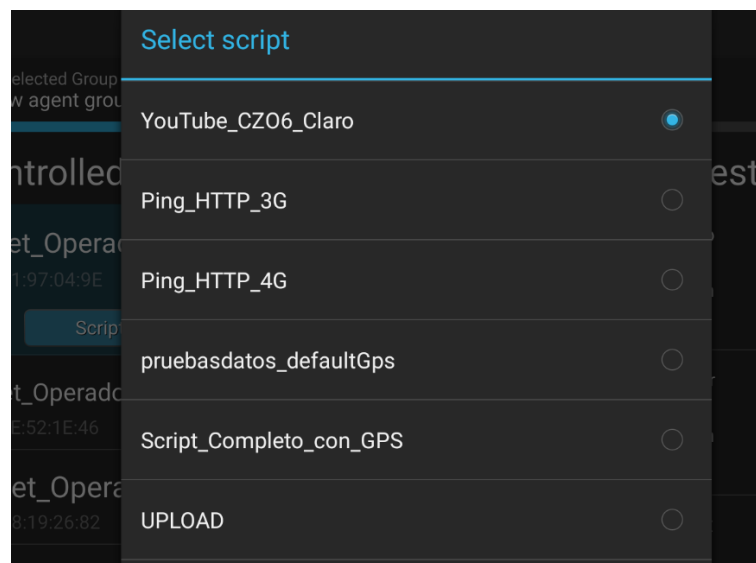
- Operadora Claro: YouTube\_CZ06\_Claro
- Operadora Movistar: YouTube\_CZ06\_Movistar
- Operadora CNT E.P: YouTube\_CZ06\_CNT

Cabe indicar que el parámetro CZ06 en el nombre de los *scripts*, representan a la “Coordinación Zonal 6” de la ARCOTEL, presente en la ciudad de Cuenca; esto nos sirve para identificar luego los *Log Files* en el servidor FTP de la ARCOTEL que almacena datos a nivel nacional.

Estos *scripts* son seleccionados en el dispositivo de cada operadora desde el dispositivo *master*, para su posterior ejecución, como muestra la Figura 5-3 y Figura 6-3.

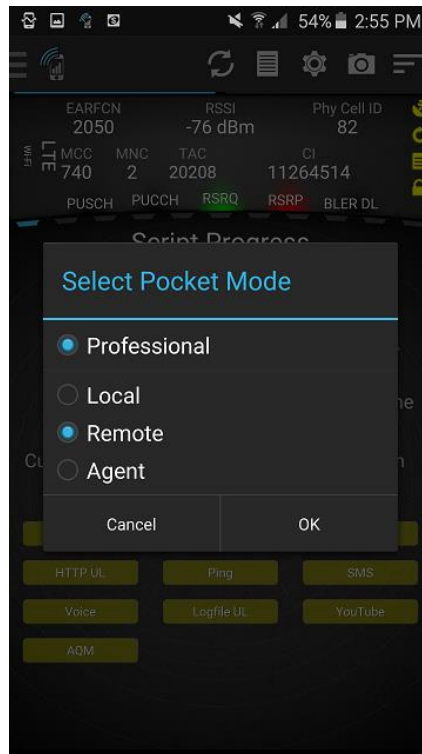


**Figura 5-3:** Tems Pocket en el dispositivo *master*, selección de *script* por operadora



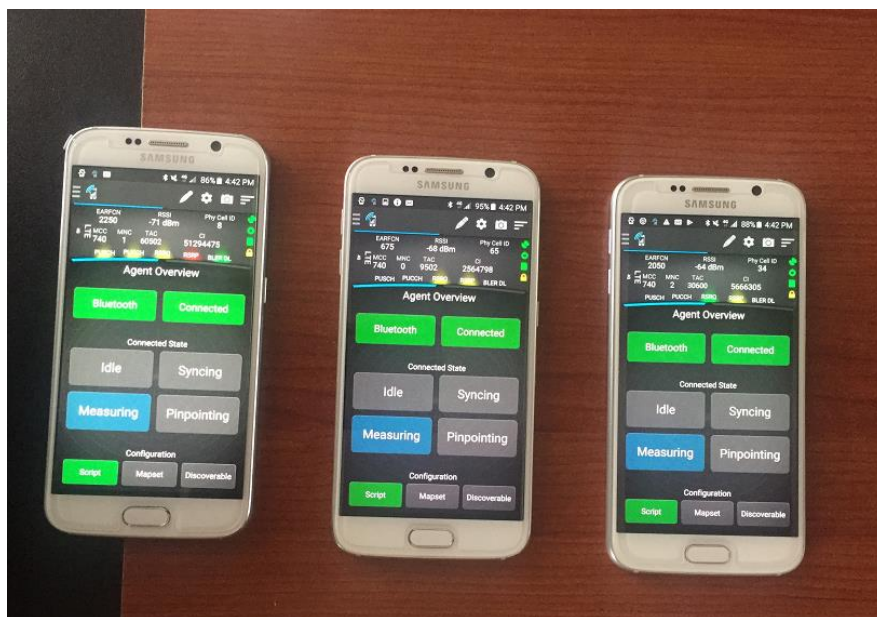
**Figura 6-3:** Selección de *script* por operadora

Para emparejar los teléfonos móviles con el dispositivo *master*, los teléfonos se deben configurar en modo “remoto” en el *software* “*Tems Pocket*” de cada dispositivo, como muestra la Figura 7-3.



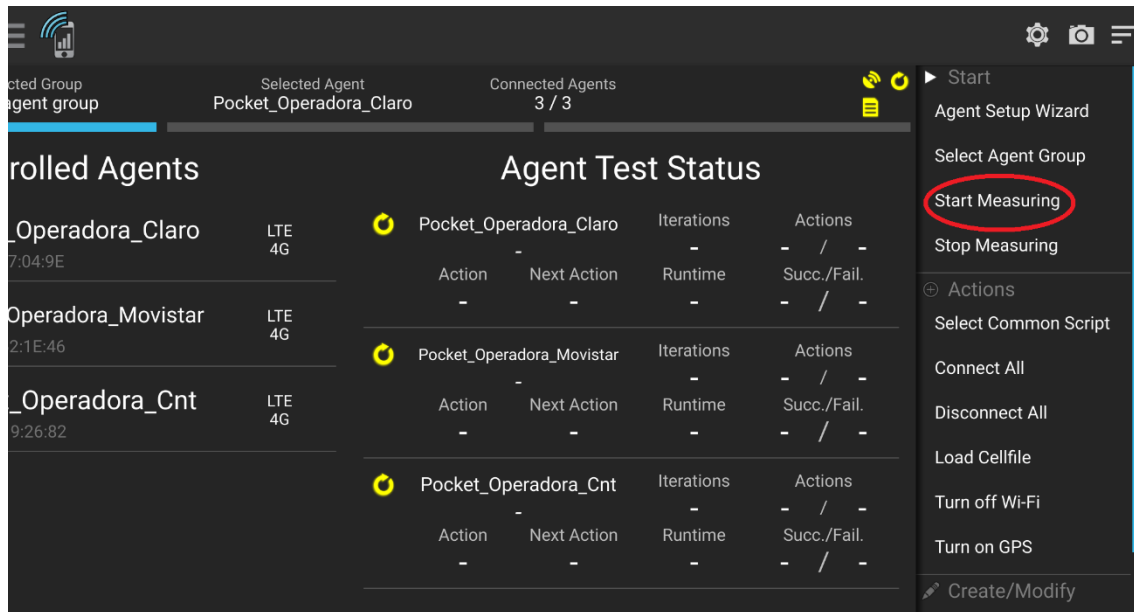
**Figura 7-3:** Selección del modo “remoto” en los teléfonos móviles

Cuando los teléfonos móviles se conectan con el dispositivo *master*, presentan el estado de “*connected*”, como muestra la Fotografía 2-3.



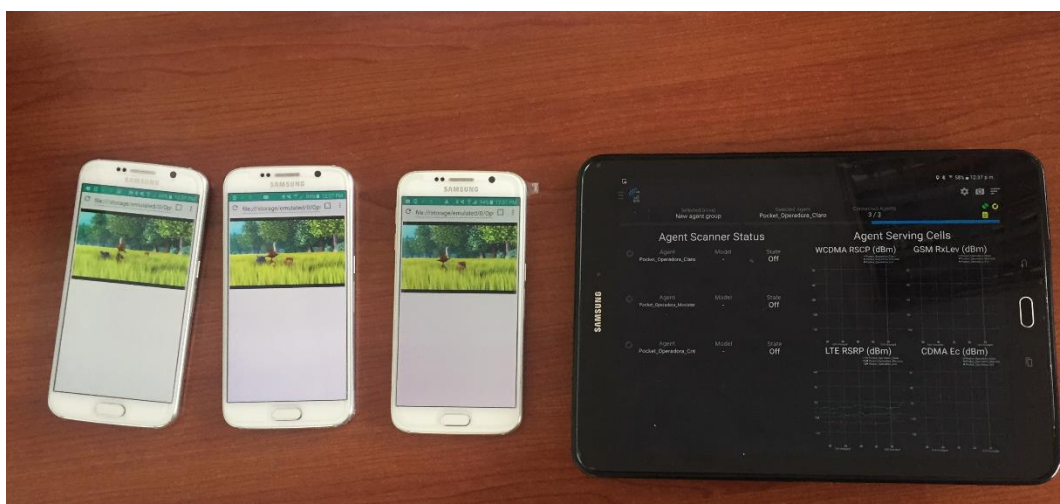
**Fotografía 2-3:** Teléfonos móviles conectados al master  
Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Una vez que los tres teléfonos móviles se encuentran conectados al *master* y ya se encuentre cargado los *script* en cada dispositivo móvil de cada operadora, se inicia la ejecución de los *scripts* desde el dispositivo *master*, como muestra la Figura 8-3.



**Figura 8-3:** Ejecución de los scripts desde el dispositivo *master*

De esta manera, el control de la ejecución de los *script* es efectuado desde el dispositivo *master* (*tablet*), realizando de esta manera las mediciones los teléfonos móviles tal como lo indica cada uno de los *scripts*. En la Fotografía 3-3 se muestra la operación de medición con los *scripts* en ejecución.



**Fotografía 3-3:** Operación de los script con el control desde el dispositivo master  
Elaborado por: César Iniguez, 2018

Las mediciones son realizadas en ambiente *outdoor* fijo, con los equipos ubicados en un vehículo de la ARCOTEL, como muestra la Fotografía 4-3.



**Fotografía 4-3:** Ubicación de la herramienta Tems Pocket en un vehículo de ARCOTEL  
Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Las mediciones se realizan en veintiún (21) sitios geográficos dentro las zonas de coberturas de las tres operadoras, dentro de la ciudad de Cuenca, durante 3 días. Los puntos seleccionados se describen en la Tabla 2-3.

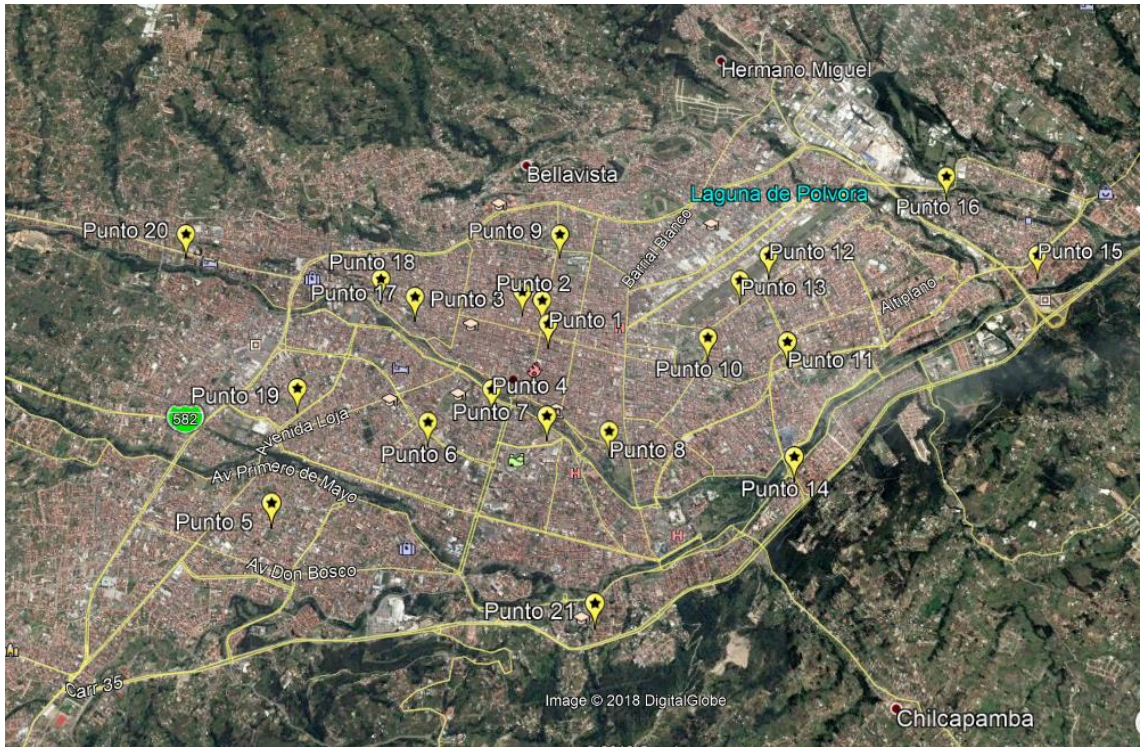


**Tabla 2-3:** Descripción de puntos geográficos seleccionados para los escenarios

SITIOS	COORDENADAS						ALTURA msnm	HORA	DIRECCIÓN
	LATITUD			LONGITUD					
	°	'	"	°	'	"			
Día 1									
PUNTO 1	2	53	50	79	0	11	2550	9:44	Simón Bolívar y Presidente Borrero
PUNTO 2	2	53	42,64	79	0	12,94	2550	10:12	Luis Cordero y Lama
PUNTO 3	2	53	40	79	0	19	2550	10:38	Lamar y Padre Aguirre
PUNTO 4	2	54	10,06	79	0	27,46	2531	12:07	Daniel Córdova y Federico Proaño (junto al Colegio Benigno Malo)
PUNTO 5	2	54	44	79	1	31	2560	12:45	Cristóbal Colón y Francisco de Orellana
PUNTO 6	2	54	20	79	0	46	2550	14:39	César Dávila Andrade y Padre Julio Matovelle
PUNTO 7	2	54	18	79	0	11	2550	15:17	Francisco Talbo entre 12 de abril y Florencia Astudillo
PUNTO 8	2	54	22,59	78	59	52,55	2520	16:04	Calle Larga y Huayna Cápac (Banco Central)
Día 2									
PUNTO 9	2	53	21,85	79	0	7,91	2562	8:54	Luis Cordero y Héroes de Verdeloma (Oficina Arcotel)
PUNTO 10	2	53	54	78	59	23	2510	10:26	Guapdongeling y Paseo Huagra Uma
PUNTO 11	2	53	55	78	58	59	2510	10:57	Av. González Suárez y Carpentier
PUNTO 12	2	53	28	78	59	4	2520	11:51	Av. Hurtado de Mendoza y Talday (Gasolinera)
PUNTO 13	2	53	36	78	59	13	2530	12:29	Rio Palora y Av. Hurtado de Mendoza
PUNTO 14	2	54	30	78	58	58	2510	14:33	Av. Max Uhle y Av. 24 de Mayo
PUNTO 15	2	53	27	78	57	41	2520	15:10	Telemaco y Martín Fierro
PUNTO 16	2	53	2	78	58	8	2520	15:45	San Pablo del Lago (Quinta Chica)
Día 3									
PUNTO 17	2	53	41,62	79	0	51,4	2557	9:45	E Arévalo y Miguel Heredia
PUNTO 18	2	53	36	79	1	12	2570	10:14	Av. 3 de Noviembre y Pio XIII
PUNTO 19	2	54	10	79	1	25	2570	10:47	Unidad Nacional y Bolivia
PUNTO 20	2	53	22	79	2	2	2570	11:28	Av. Ordóñez Lasso y s/n
PUNTO 21	2	55	12,5	78	59	56,27	2539	12:31	Las Garzas y Las Gaviotas

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

La ubicación geográfica de los puntos que se utiliza para los escenarios de medición, se describen en el mapa de la Figura 9-3.



**Figura 9-3:** Ubicación geográfica de los veintiún (21) sitios seleccionados para los escenarios de medición.

**Elaborado por:** César Iñiguez, 2018

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se realiza el análisis de los datos recolectados en los diferentes escenarios de medición. Este análisis se lo realiza con el uso de estadística descriptiva, con la ayuda de herramientas como: medidas de posición central y no central, medidas de dispersión, percentiles, pruebas de normalidad y de *Kruskal Wallis*.

#### 4.1. Análisis de datos por métrica objetiva o KPI

Las mediciones de *streaming* de YouTube, fueron realizadas simultáneamente para las tres operadoras móviles, en veintiún (21) sitios geográficos de la ciudad de Cuenca, considerando la cobertura 4G de las operadoras. Con lo que se obtuvieron 150 mediciones de *streaming* de video por operadora, es decir un total de 450 mediciones.

Para las mediciones realizadas se utilizó la herramienta “*Tems Pocket*” desarrollada por la empresa “InfoVista” y propiedad de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL).

Para el análisis de las mediciones realizadas o KPIs, estos se los ha clasificado de la siguiente forma:

- Sesión (para QoS)
- Estadísticas temporales (para QoS)
- Calidad (para QoE)

##### 4.1.1. Comparación de los KPIs de sesión entre las operadoras móviles 4G

Como se ha mencionado los KPIs de sesión son:

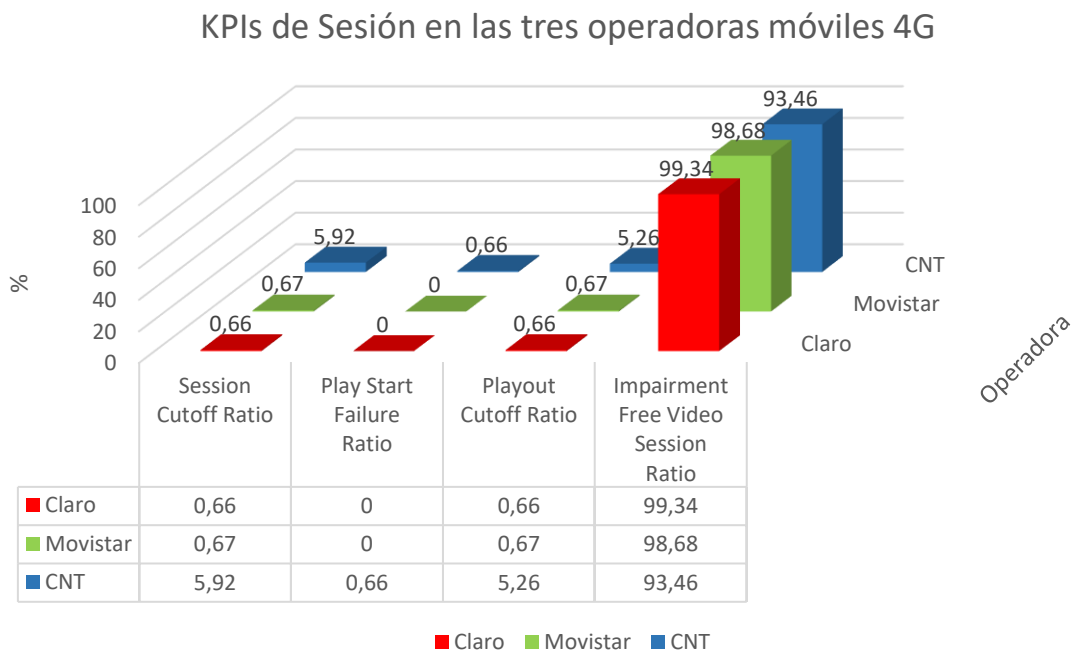
- *Session Cutoff Ratio*
- *Play Start Failure Ratio*

- *Playout Cutoff Ratio*
- *Impairment Free Video Session Ratio*

Los resultados obtenidos en estos KPIs de sesión se encuentran descritos en la Gráfica 1-4. Como se puede observar en dicha gráfica, el KPI “*Session Cutoff Ratio*” ha tenido menor porcentaje en la operadora Claro con 0,66% y mayor porcentaje en la operadora CNT con 5,92 %; dicho en otras palabras, en la descarga de video de YouTube mediante la operadora Claro se ha tenido menor número de cortes de sesión de video, desde que se presiona “play” hasta que se termina de reproducir el video y por ende tienen el mejor desempeño.

Por otra parte, se puede apreciar que en las operadoras Claro y Movistar se tiene un 0% de “*Play Start Failure Ratio*” lo que quiere decir que no han existido fallas al inicio de la reproducción del video; mientras que en CNT cuenta con un 0,66% de falla.

Si se observa los valores de “*Play Start Failure Ratio*” y “*Playout Cutoff Ratio*” al ser sumados nos da el valor de “*Session Cutoff Ratio*”. Es así que el porcentaje de cortes de sesión presentes en Claro y Movistar, solo son causados por el indicador de relación de corte en la reproducción “*playout*” (*Playout Cutoff Ratio*). Esto último es contrario a lo que pasa con CNT donde la “*Session Cutoff Ratio*” (5,92 %) está distribuida entre “*Play Start Failure Ratio*” (0,66%) y “*Playout Cutoff Ratio*” (5,26%).



**Gráfica 1-4:** Comparación de los KPIs de sesión entre las operadoras móviles 4G  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Finalmente se puede observar que la “Proporción de sesiones de video sin problemas” (*Impairment Free Video Session Ratio*) es el complemento del “*Session Cutoff Ratio*”. De la misma manera, se puede interpretar que Claro posee el mejor valor con un 99,34% y que CNT posee el valor más bajo con 93,46%; quedando Movistar en medio de ambas operadoras.

#### **4.1.2. Comparación de los KPIs temporales entre las operadoras móviles 4G**

Para el análisis comparativo de los KPIs se toma en cuenta valores referenciales, que se mostraron en la Tabla 18-2. Estos KPIs al ser temporales son medidos en segundos (s) y mientras más bajo sea el valor de estos KPIs con respecto a lo recomendado, mucho mejor será el parámetro de QoS.

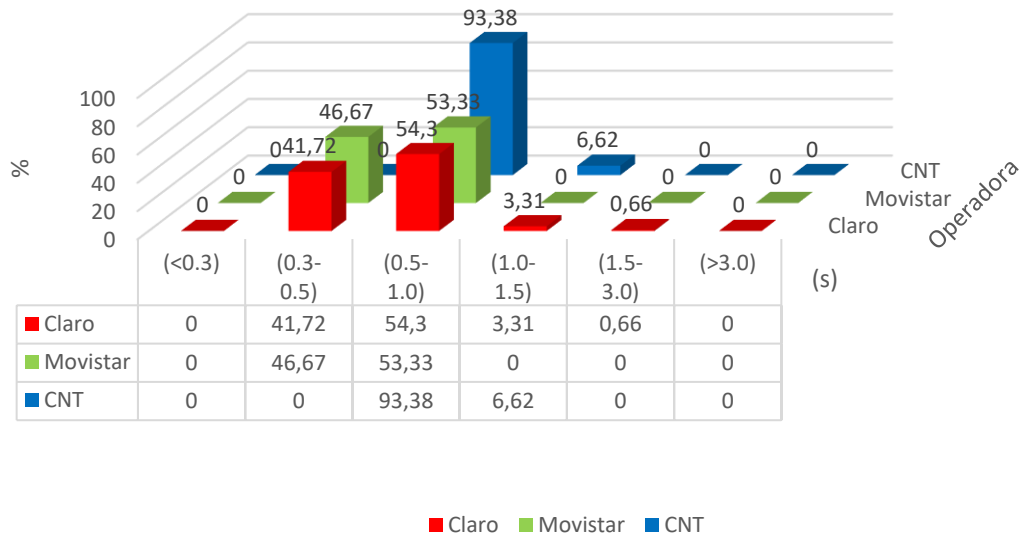
Los KPIs que están dentro de esta clasificación son:

- *Video Play Start Time*
- *Service Access Time*
- *Reproduction Start Delay*

##### **4.1.2.1. Análisis del KPI Video play start time**

Los valores del KPI “*Video Play Start Time*” medidos en las tres operadoras, se ha dividido para su análisis en rangos de tiempo que se muestran en el eje “x” de la Gráfica 2-4. En esta gráfica se observa en el eje “z” las operadoras móviles y en el eje “y” el porcentaje ocupado por cada rango de KPIs en las poblaciones analizadas.

### Análisis porcentual del "Video Play Start Time"



**Gráfica 2-4:** Análisis porcentual del "Video Play Start Time" entre las operadoras móviles  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

En la Gráfica 2-4 se puede apreciar que más del 50% del valor del KPI "Video Play Start Time", se encuentran en el rango de "0.5 a 1.0s" y el porcentaje de valores que son menores a "1 s" en las tres operadoras es:

- Claro: 96.02%
- Movistar: 100%
- CNT: 93.38 %

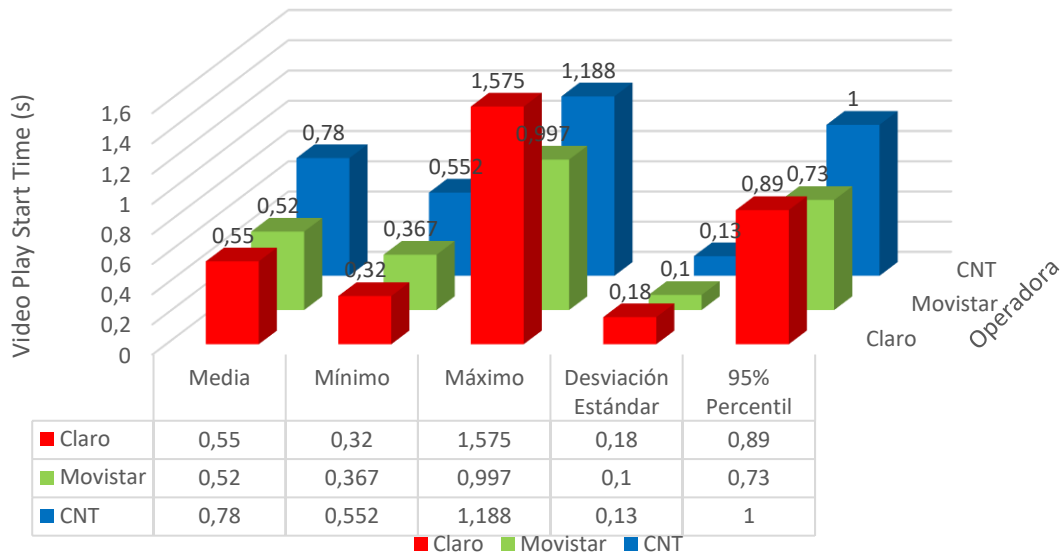
Por lo tanto, obteniendo el promedio de las medidas de "Video Play Start Time" entre las tres operadoras, se define que el 96.47 % son menores a "1 s", lo cual está favorablemente muy por debajo de la recomendación de "50 s" de la ETSI.

Luego de este análisis porcentual, a continuación se hace un análisis estadístico de los datos de medición de este KPI temporal.

En la Gráfica 3-4 se puede observar que los valores de las medias en las tres operadoras, se encuentran en el rango de "0.5 a 1.0s". En esta Figura también se detalla los valores mínimos y máximos de los valores de "Video Play Start Time" obtenidos; el mejor valor "0,32 s" y peor valor "1,575 s" dentro de la variedad de valores de medida, corresponden a la operadora Claro.

Así mismo si analizamos en el percentil 95, Claro tiene el mayor valor con "0,89 s"; es decir el 95% de los valores de la población de Claro tienen valores iguales o menores a "0,89 s".

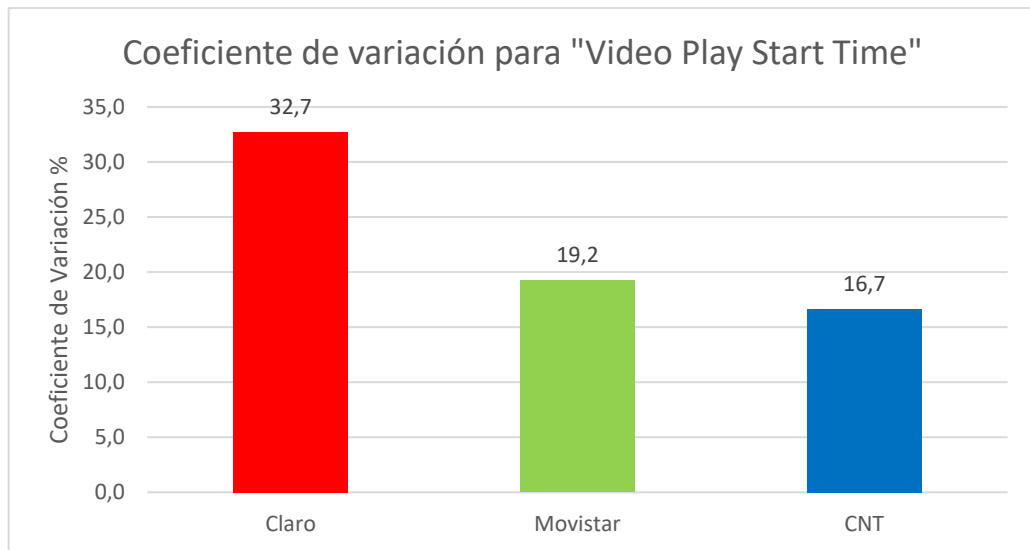
### Análisis estadístico del "Video Play Start Time"



**Gráfica 3-4:** Análisis estadístico del "Video Play Start Time" entre las operadora móviles  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

La operadora Claro tiene la mayor desviación estándar, con un valor de "0,18 s"; es decir, los valores en Claro está más dispersos en comparación con Movistar y CNT; esto se puede validar al analizar el "coeficiente de variación" (relación entre la desviación estándar y la media).

Como se observa en la Gráfica 4-4 Claro tiene un mayor valor de coeficiente de variación (32,7 %), lo que significa que la variabilidad de los datos es mayor, siendo por tanto los datos de Movistar y CNT más homogéneos con respecto a Claro.

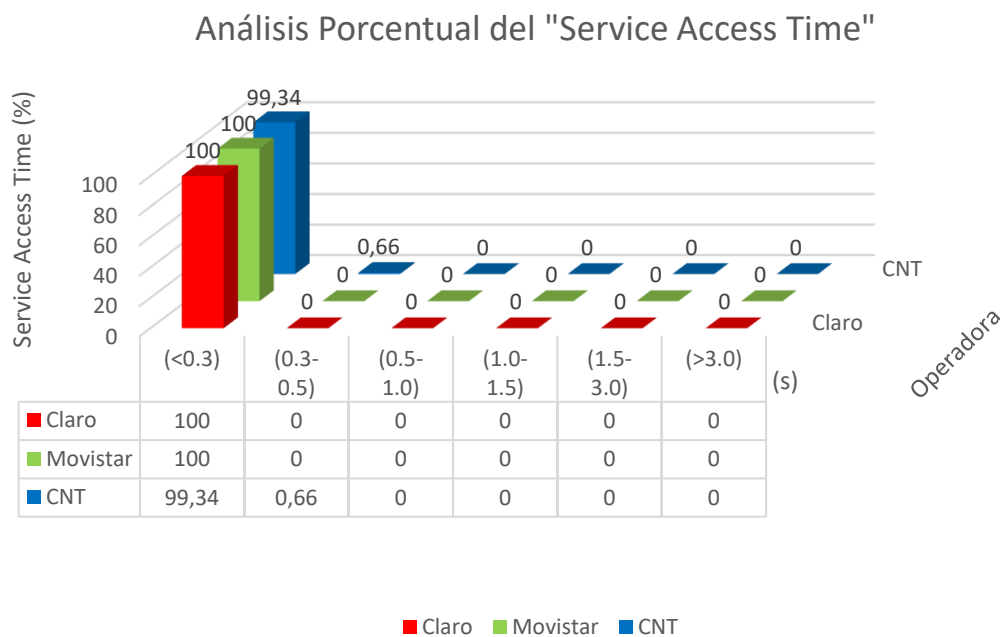


**Gráfica 4-4:** Coeficiente de variación del KPI "Video Play Start Time" entre las operadoras móviles.  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

#### 4.1.2.2. Análisis del KPI Service access time

Los valores del KPI “Service Access Time” medidos en las tres operadoras se muestran en la Gráfica 5-4. En esta ilustración se puede apreciar que, en la operadora Claro y Movistar, el 100% de los datos son menores a “0,3 s”, mientras que esto pasa en CNT con un 99,34 %; es decir en forma general los valores de las medidas en las tres operadoras son menores a “0,3 s”, lo cual está favorablemente muy por debajo de la recomendación de “30 s” de la ETSI.

Ahora se analiza de forma estadística los valores de este KPI, con los resultados procesados que se muestran en la Gráfica 6-4. Donde se puede observar los valores de las medias en las tres operadoras, donde Claro tiene la menor media de “0,05 s” y CNT la mayor con “0,1 s”. En cuanto a los valores mínimos y máximos de los valores de “Service Access Time”; el mejor valor obtenido corresponde a la operadora Claro con “0,027 s”, mientras que el peor valor o valor más alto, es obtenido también por la operadora CNT con “0,069 s”.

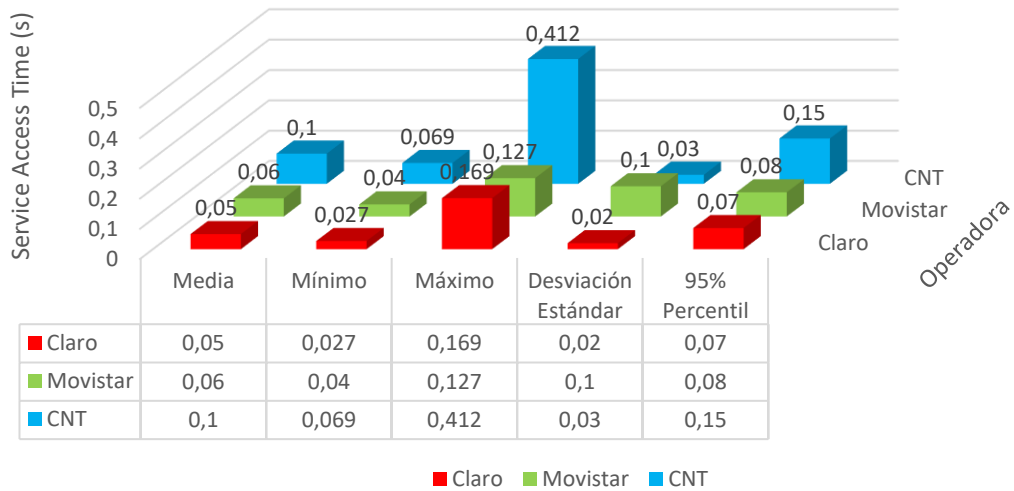


**Gráfica 5-4:** Análisis porcentual del “Service Access Time” entre las operadoras móviles  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Así mismo si analizamos en el percentil 95, CNT tiene el mayor valor con “0,15 s”; es decir el 95% de los valores de la población de CNT de “Service Access Time” tienen valores iguales o menores a “0,15 s”.



### Análisis Estadístico del "Service Access Time"



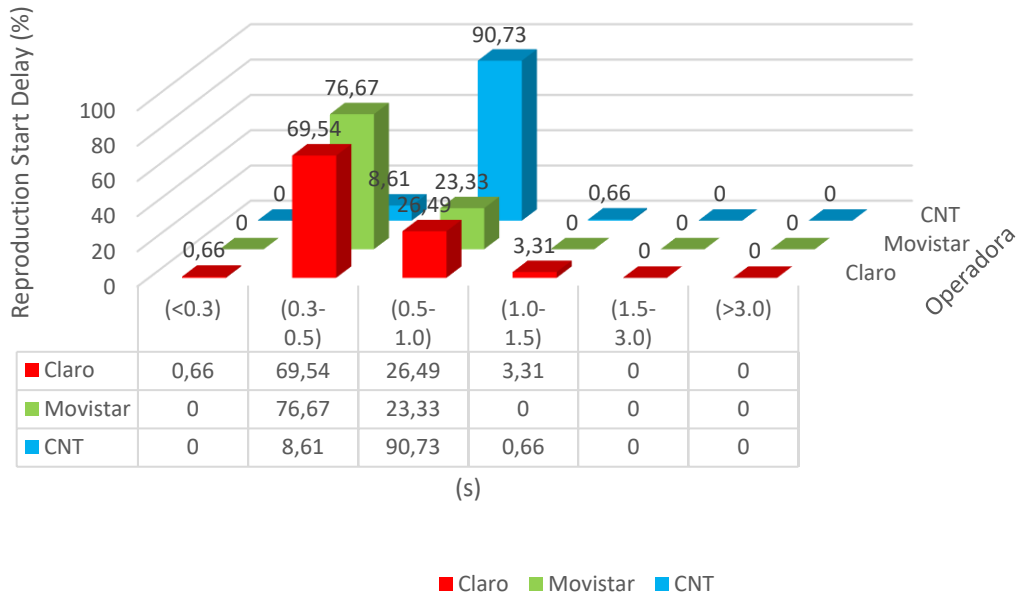
**Gráfica 6-4:** Análisis estadístico del "Service Access Time" entre las operadora móviles  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

La operadora Movistar tiene la mayor desviación estándar, con un valor de “0,1 s”; es decir, los valores en Movistar tienen mayor dispersión en comparación con Claro y CNT, lo que lo hace que el acceso al servicio sea más inestable con respecto a las otras operadoras. En esta sección no se analiza el coeficiente de variación ya que los valores de las medias son cercanas a cero (0).

#### 4.1.2.3. Análisis del KPI Reproduction Start Delay

Los valores del KPI “Reproduction Start Delay” medidos en las tres operadoras se muestra en la Gráfica 7-4. En esta ilustración, se puede apreciar que en la operadora Claro y Movistar, la mayor parte de valores se encuentran en el rango de “0,3 a 0,5 s” con el 69,54 % y 76,67% respectivamente; mientras que en CNT el 90,73% de los valores medidos se encuentran en el rango de “0,5 a 1 s”. De esta manera se puede afirmar que las operadoras Movistar y Claro tienen mejor rendimiento en este KPI.

### Análisis Porcentual del "Reproduction Start Delay"

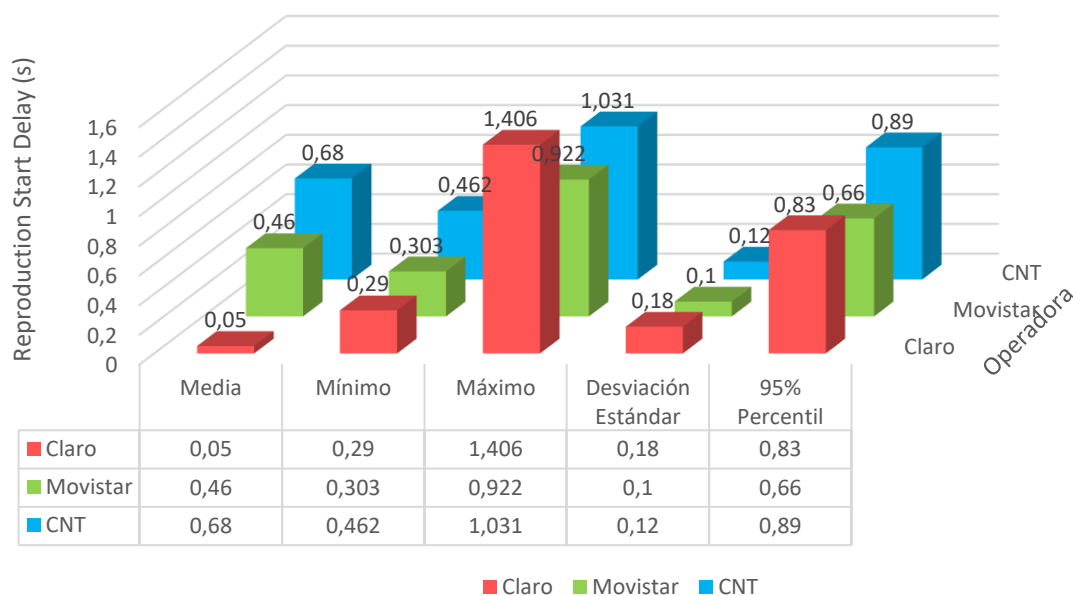


**Gráfica 7-4:** Análisis porcentual del "Reproduction Start Delay" entre las operadoras móviles  
 Elaborado por: César Iñiguez, 2018

A continuación se analiza los datos del KPI "Reproduction Start Delay" de forma estadística. Como se aprecia en la Gráfica 8-4, los valores de las medias en las tres operadoras, donde Claro tiene la menor media de "0,05 s" y CNT la mayor con "0,68 s". En cuanto a los valores mínimos y máximos de los valores de "Reproduction Start Delay" obtenidos; el mejor valor corresponde a la operadora Claro con "0,29 s", mientras que el peor valor o valor más alto, es obtenido también por la operadora CNT con "0,462 s".

Así mismo si analizamos en el percentil 95, CNT tiene el mayor valor con "0,89 s"; es decir el 95% de los valores de la población de CNT de "Reproduction Start Delay" tienen valores iguales o menores a "0,89 s". CNT es la población con valores más altos de este KPI; sin embargo está favorablemente muy por debajo de la recomendación de "20 s" de la ETSI.

## Análisis estadístico del "Reproduction Start Delay"



**Gráfica 8-4:** Análisis estadístico del "Reproduction Start Delay" entre las operadora móviles  
Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Finalmente podemos observar que la operadora Claro tiene la mayor desviación estándar, con un valor de "0,18 s"; es decir, los valores en esta operadora tienen mayor dispersión en comparación con Movistar y CNT, siendo más inestable el tiempo de inicio de reproducción del video.

### 4.1.3. Análisis de KPI de calidad

Dentro de esta clasificación de KPI se encuentra la "Calidad de video promedio" (*Average Video Quality*) medido dentro de una escala "MOS" objetiva, dimensionada por el estándar PEVQ-s presente en la plataforma de medición *Tems Pocket*.

El KPI analizado en esta sección es el más importante de este trabajo, ya que indica la Calidad de Experiencia (QoE) de YouTube medido en las tres redes móviles 4G presentes en el Ecuador. Por otro lado, dado que ultimadamente el resto de KPIs influyen sobre este KPI de calidad, se puede tomar al "*Average Video Quality*" como un resumen de todos los KPIs analizados; ofreciendo así una descripción final del servicio recibido por el usuario en una escala MOS, con valores del "1" al "5", donde "1" indica la peor calidad y "5" la mejor.

El MOS es un valor calculado por *Tems Pocket* durante las mediciones y sus valores son instantáneos; es decir, no existe un solo valor MOS por cada reproducción de video, sino que

durante dicha reproducción, los valores MOS se van presentando instantáneamente, en intervalos de tiempo que varían de acuerdo al procesamiento del *software* y a la respuesta que presenta los procesos medidos a las condiciones de la nube. Es así que el número total de MOS instantáneas obtenidos en todas las mediciones varían en cada operadora, sin embargo la variación no es muy considerable y esto no afecta los resultados obtenidos. Los valores totales de mediciones instantáneas del MOS en cada operadora se muestran en la columna “N” de la Tabla 1-4.

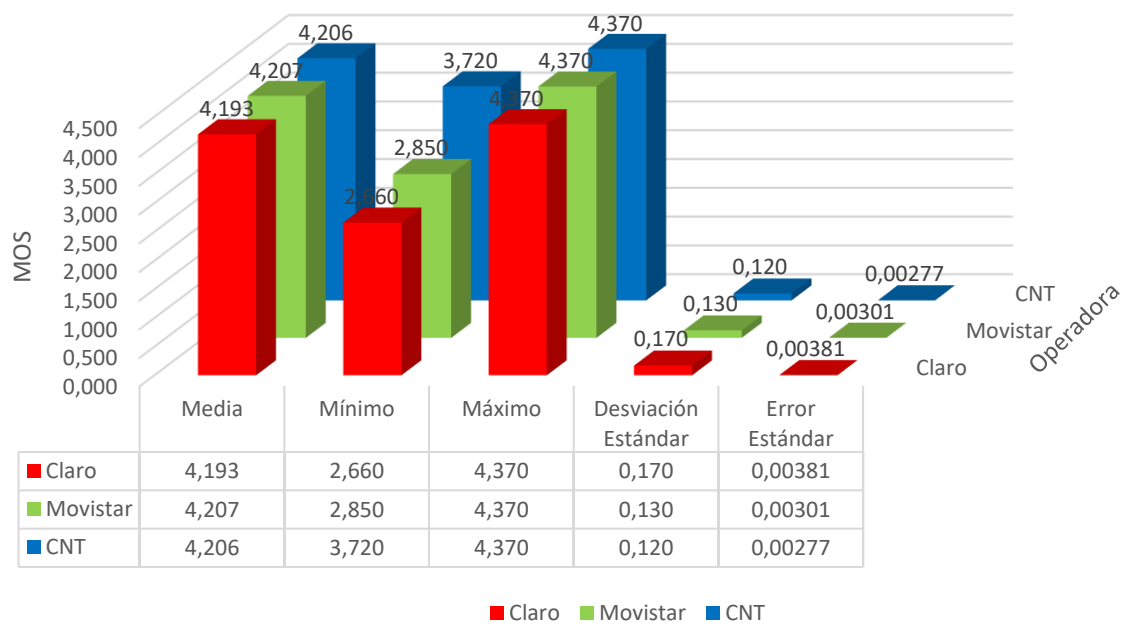
**Tabla 1-4:** Cantidad de mediciones de MOS instantáneos

Operadora	N
Claro	2021
Movistar	1945
CNT	2059
TOTAL	6025

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Los valores estadísticos del MOS del KPI “Average Video Quality” se muestran en la Gráfica 9-4, donde se observa la media con valor más alto en la operadora Claro con “4,207” de MOS, siendo en este caso el mejor valor; sin embargo se puede observar que esta operadora también cuenta con el valor más bajo en la categoría de MOS mínimo y es de “2,66”. Mientras que si vemos el valor máximo en las tres operadoras, se tiene valor de MOS de “4,37”.

**Análisis Estadístico de "Average Video Quality" (MOS)**



**Gráfica 9-4:** Análisis estadístico del KPI "Average Video Quality" (MOS)

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

#### 4.1.3.1. Comparación estadística de la variable MOS entre las operadoras 4G

A partir de los valores antes analizados, si bien existe variación entre las operadoras, es necesario conocer si esta variación es estadísticamente significativa, para lo que se debe realizar una prueba de hipótesis.

Para conocer la prueba de hipótesis adecuada, se debe analizar primero las características de la variable, como el caso de la normalidad en los datos; con esto se puede saber si se usa una prueba paramétrica o no paramétrica.

##### ➤ Prueba de normalidad de la variable MOS

Para el análisis de normalidad de la variable MOS, primero se define la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ):

$H_0$ : Los datos analizados siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos analizados no siguen una distribución normal.

Con la ayuda del software SPSS, se realiza la prueba *Kolmogorov-Smirnov* de los datos de MOS de las tres operadoras, para determinar si existe distribución normal entre los grupos de las variables (National Institute of Standards and Technology). Los resultados se muestran en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para la variable MOS

Operadora	Estadístico de prueba	p-valor
Claro	0,231	0,000
Movistar	0,204	0,000
CNT	0,190	0,000

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Como vemos el p-valor en las tres operadoras es de “0,000”, lo cual es menor a “0,05” (con un nivel de significación del 5 %), lo que quiere decir que no existe ninguna probabilidad que se acepte la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo que se rechaza esta y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), y así concluimos que los datos de MOS no siguen una distribución normal.

En este trabajo se tiene tres grupos de análisis (Claro, Movistar y CNT), por lo que se debe elegir una prueba de hipótesis que compare la variable MOS en más de dos grupos. En este ámbito se cuenta con dos opciones: el análisis de varianza ANOVA y la prueba de *Kruskal Wallis*. En el

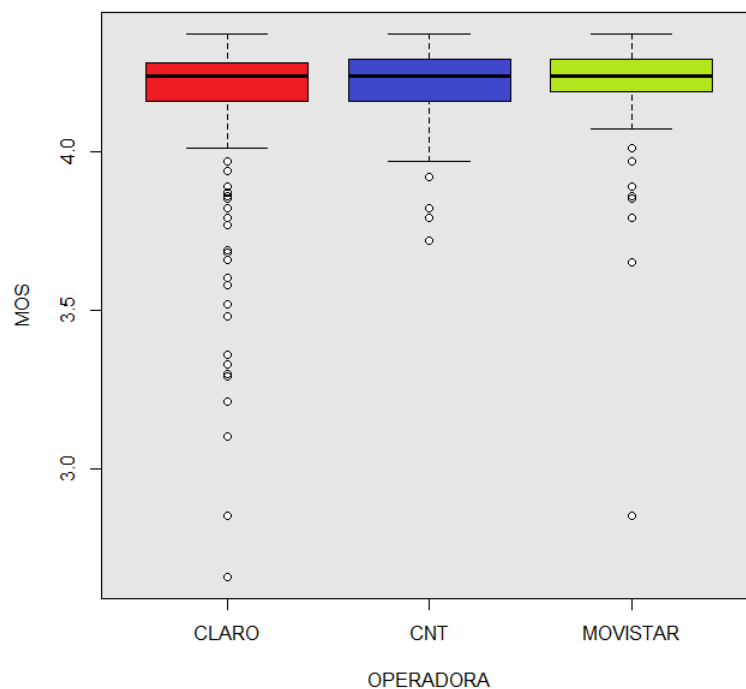
caso de ANOVA, esta prueba se descarta ya que se trata de una prueba paramétrica (grupos de distribución normal), y en el presente caso se ha probado que los datos de la variable MOS no cumple con la normalidad. De esta manera se usa una prueba no paramétrica, como lo es *Kruskal Wallis*.

### ➤ Prueba de hipótesis para la variable MOS

Los valores obtenidos del KPI “Average Video Quality” se los tiene representados en la variable MOS. Al contar con tres grupos para esta variable representadas por las tres operadora móviles 4G, es necesario realizar una comparación para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos tres grupos.

Primero se realiza una comparación de forma visual con un diagrama de cajas y bigotes para la variable MOS en las tres operadoras, como se muestra en Gráfica 10-4. Aquí se puede apreciar la posición de las medias (cuartil 2) al mismo nivel en las tres operadoras, con un rango intercuartil muy parecidos entre sí.

Los círculos que se grafican en la Gráfica 10-4 representan los valores atípicos de los datos de MOS. En la operadora Claro se observa que el número de valores atípicos es mayor con respecto a Movistar y CNT. Los valores atípicos en las tres operadoras son menores al límite inferior de los bigotes, sin existir valores atípicos sobre el límite superior de los bigotes.



**Gráfica 10-4:** Diagrama de cajas y bigotes del MOS de las operadoras móviles  
Elaborado por: César Iñiguez, 2018

De forma general se observa que las cajas son de tamaños muy similares así como la posición de la mediana. Para confirmar esta interpretación se realiza a continuación una comparación estadística con una prueba de hipótesis.

Como se ha mencionado, para realizar la comparación estadística de la variable MOS, se ha elegido la prueba de *Kruskal Wallis*, ya que es una prueba no paramétrica, usada para variables que no tienen una distribución normal, y por otra parte porque esta prueba nos permite la comparación de más de dos grupos, ya que en este caso contamos con tres operadoras.

De esta manera para la prueba definimos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_1$ ):

$H_0$ : No existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes MOS de las operadoras móvil.

$H_1$ : Existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes MOS de las operadoras móvil.

Al aplicar la prueba de *Kruskal Wallis* en el software R, se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 3-4.

**Tabla 3-4:** Estadísticos de prueba de *Kruskal Wallis*

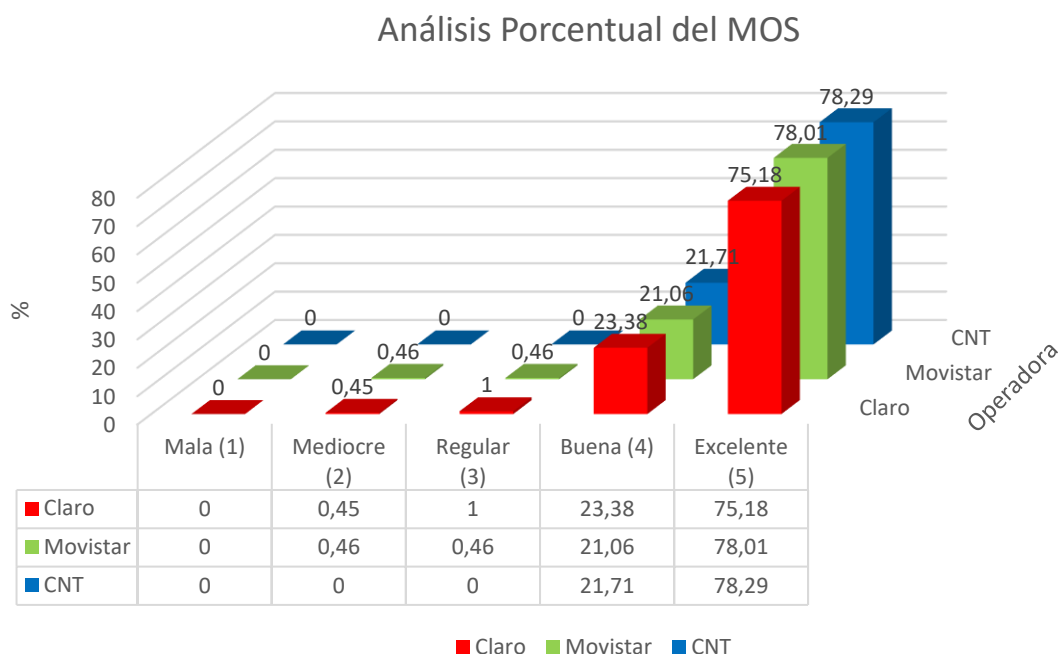
Estadísticos de prueba	MOS
Chi-cuadrado	1,6565
Grados de libertad	2
p-valor	0,4368

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

Como se puede observar el p-valor es igual a “0,4368”, lo cual es mayor a 0,05 (para un nivel de significación del 5 %), por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. Entonces se puede decir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre el MOS medido en las tres operadoras móviles, por este motivo se puede afirmar que con una probabilidad de error del 5% el MOS medido en las tres operadoras móviles 4G provienen de poblaciones de idéntico comportamiento.

➤ **Interpretación del MOS medido**

Como parte final del análisis del KPI de calidad “Average Video Quality” (MOS) en la Gráfico 11-4 se muestra el porcentaje del MOS obtenido, mostrado en la escala de valores de se describió en la Tabla 16-2, para las tres operadoras.



**Gráfica 11-4:** Análisis porcentual en la escala de valores del MOS  
Elaborado por: César Iñiguez, 2018

La mayoría de los datos de MOS en las tres operadoras se encuentran en la calificación de excelente, siendo el mejor de los casos CNT con 78,29% y el peor de los casos corresponde a Claro con el 75,18 %; visto de otra forma, por lo menos el 75% de los datos en las tres operadoras es de una calificación de “Excelente”.

Adicionalmente se cuenta con una calificación de “Buena” en por lo menos 21,06 % en las tres operadoras; y con calificaciones menores al 1,45 % en las categorías “Mediocre” como “Regular” y de 0% en la categoría “Mala”.



#### **4.2. Demostración de la hipótesis**

Aplicando el método de estadística descriptiva se concluye que el servicio de *streaming* de video de YouTube entre las tres operadoras móviles 4G en el Ecuador son estadísticamente iguales, y en base a los KPIs medidos se propone parámetros mínimos u objetivos de indicadores de gestión que ayuden a garantizar la calidad de entrega del servicio, por lo que se acepta la hipótesis.

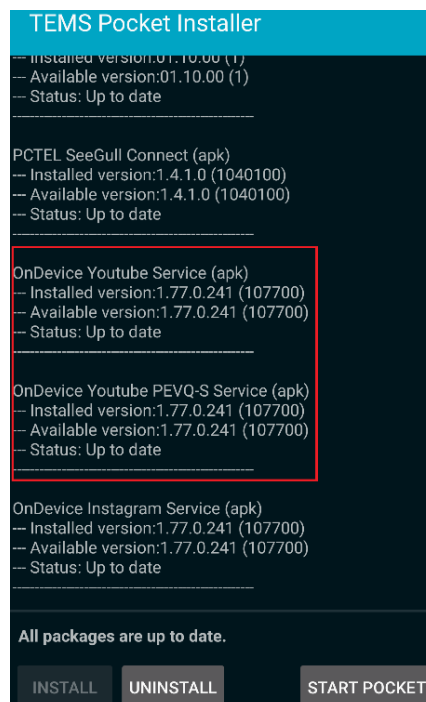
## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

En este capítulo se realiza una propuesta de guía de requerimientos, mecanismos de monitoreo de mediciones y recomendaciones de parámetros mínimos u objetivos de calidad de *streaming* de video de YouTube sobre redes 4G, que se pueden considerar para realizar nuevos estudios y mediciones.

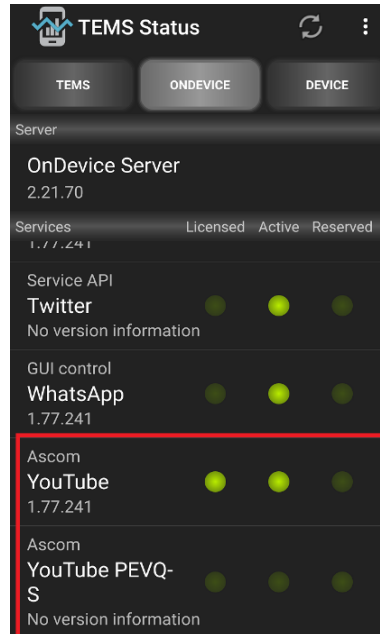
#### 5.1. Licencias de Tems Pocket

Para el uso de la aplicación “*Tems Pocket*” en la medición de calidad de *streaming* de video de YouTube, es necesario primero contar con las licencias que habilitan esta función en la “App”. Las licencias se las puede validar en los teléfonos móviles a través de la aplicación “*TEMS Pocket Installer*”, como se muestra en la Figura 1-5, donde se muestra las licencias activadas de “*YouTube Service*” y “*YouTube PEVQ-s Service*”.



**Figura 1-5:** Licencias habilitadas de medición de parámetros de calidad de *streaming* de YouTube

Así mismo se puede validar si dichas licencias se encuentran activas en los teléfonos móviles asignados a cada operadora. Esto se puede verificar ingresando a la aplicación “*TEMS Status*”, como se muestra en la Figura 2-5, donde se muestra el estado de las licencias. Si las licencias se encuentran inactivas, deben ser activas en esta aplicación.



**Figura 2-5:** TEMS Status, muestra el estado de las licencias usadas por *Tems Pocket*

## 5.2. Monitoreo en tiempo real de las mediciones

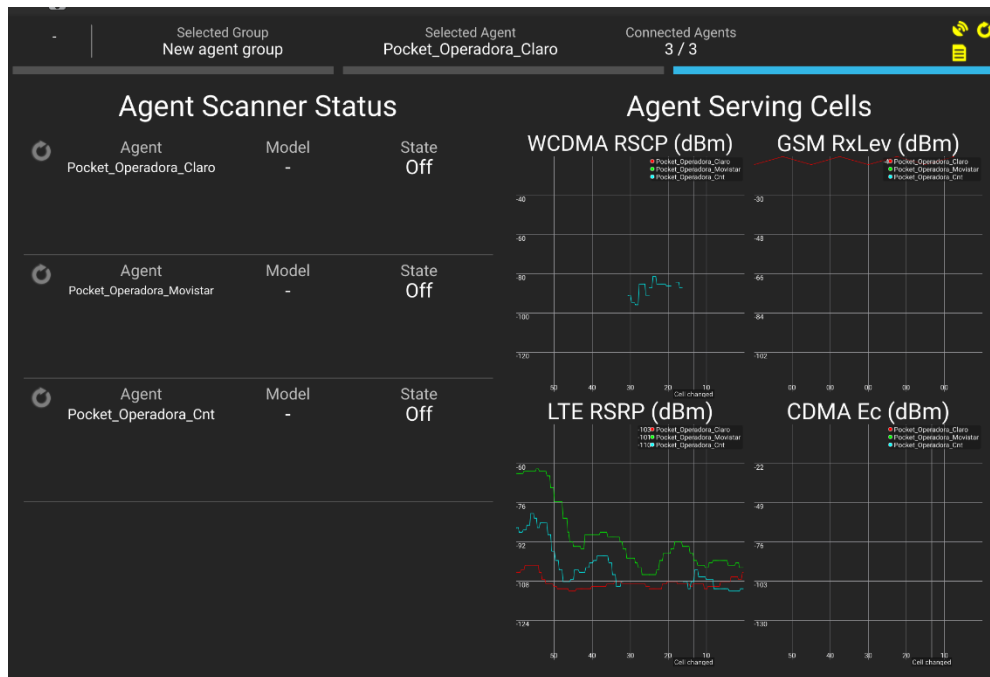
Durante la realización de las mediciones, se puede llevar un control desde el dispositivo *master*, que nos permite tener un monitoreo en tiempo real de algunos parámetros de la red móvil y por otra parte podemos dar un seguimiento a la ejecución de los *scripts* pre-programados. Algunas de las herramientas propuestas se describen a continuación.

### 5.2.1. Monitoreo de parámetros de red móvil

El monitoreo en tiempo real de los parámetros de las redes móviles de cada teléfono, nos permite considerar los mejores sitios o condiciones para la realización de las mediciones.

### 5.2.1.1. Herramienta Agent Serving Cells

La herramienta “Agent Serving Cells” permite determinar la tecnología de telefonía celular en la que se encuentran operando los teléfonos móviles (2G, 3G o 4G), así como el nivel de recepción de señal de esta tecnología; esto se lo puede apreciar en tiempo real conforme estos dos parámetros van cambiando. Un ejemplo del uso de esta herramienta se lo puede apreciar en la Figura 3-5.



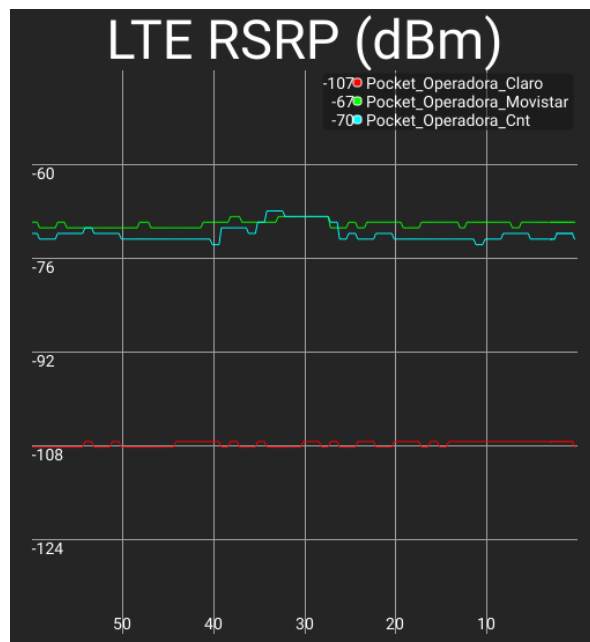
**Figura 3-5:** Herramienta “Agent Serving Cells” indicando tecnología y nivel de recepción de señal

En el ejemplo se puede observar cómo los niveles de señal van variando en función del tiempo (eje x); esto se debe a que los teléfonos móviles se encuentran en movimiento y por ende experimentan cambio de recepción según las cobertura de las radio bases. Así mismo se puede apreciar que cada color en la gráfica equivale a una operadora diferente (“rojo” para Claro, “verde” para Movistar y “azul” para CNT).

Como se puede ver en la gráfica de CNT, durante un tiempo ha tenido un corte en LTE, pero durante ese tiempo aparece una gráfica en la sección de WCDMA (nivel de recepción medido con RSCP). Esto quiere decir que durante ese tiempo ha perdido cobertura de LTE y el teléfono se ha enganchado a una nueva radio base; en este caso de otra tecnología como es WCDMA, esto por el proceso de Inter-Cell Handover.

Una función muy importante que presenta la herramienta “*Agent Serving Cells*”, es que nos permite evaluar la cobertura de las redes móviles de las tres operadoras; en este caso es posible determinar dónde existe LTE, así como su nivel de recepción. De esta manera se puede determinar los puntos donde se puede realizar las mediciones.

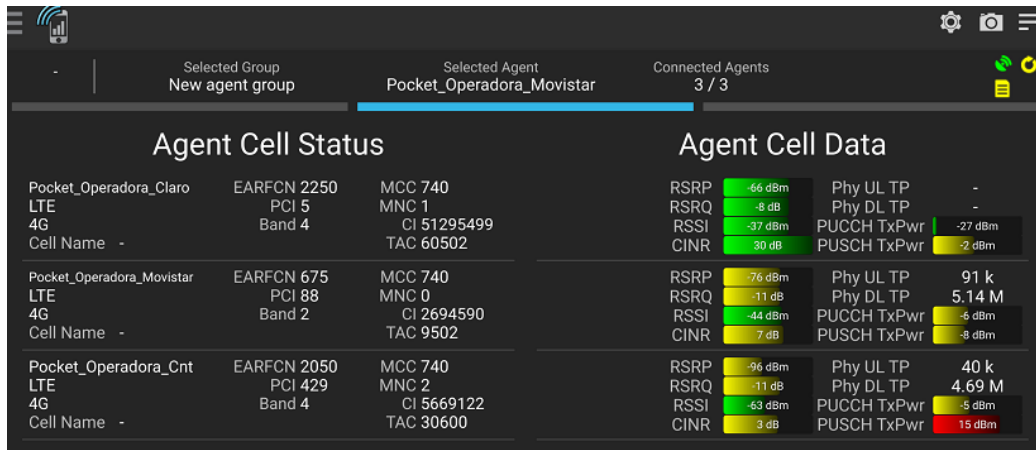
En la Figura 4-5 se muestra los niveles de recepción RSRP de las redes móviles 4G (LTE) de las tres operadoras. Donde se puede observar para Claro un nivel instantáneo de RSRP de -107 dBm, para Movistar de -67 dBm y para CNT de -70 dBm; en este caso el mejor nivel de recepción es de la operadora Movistar. Durante la obtención de esta gráfica los teléfonos móviles se encuentran estacionarios, es por eso que las gráficas de nivel de recepción son casi planas.



**Figura 4-5:** Niveles RSRP de LTE de las operadoras Claro, Movistar y CNT E.P

#### 5.2.1.2. Herramienta Selected Agent

La herramienta “*Selected Agent*” de *Tems Pocket* nos permite observar los parámetros de identificación de las redes móviles y sus niveles de recepción. Esta herramienta muestra dos secciones “*Agent Cell Status*” y el “*Agent Cell Data*”, como podemos observar en la Figura 5-5.



**Figura 5-5:** Herramienta “Selected Agent” que muestra los parámetros de identificación y medición de las redes móviles

En la sección “Agent Cell Status” se muestra los siguientes parámetros de identificación de la red móvil: EARFCN, PCI, Band, MCC, MNC, CI y TAC; para cada uno de los teléfonos móviles controlados remotamente.

En la sección de “Agent Cell Data” podemos observar los indicadores de medición de la red LTE como son: RSRP, RSRQ, RSSI, CINR, entre otros; de forma numérica instantánea.

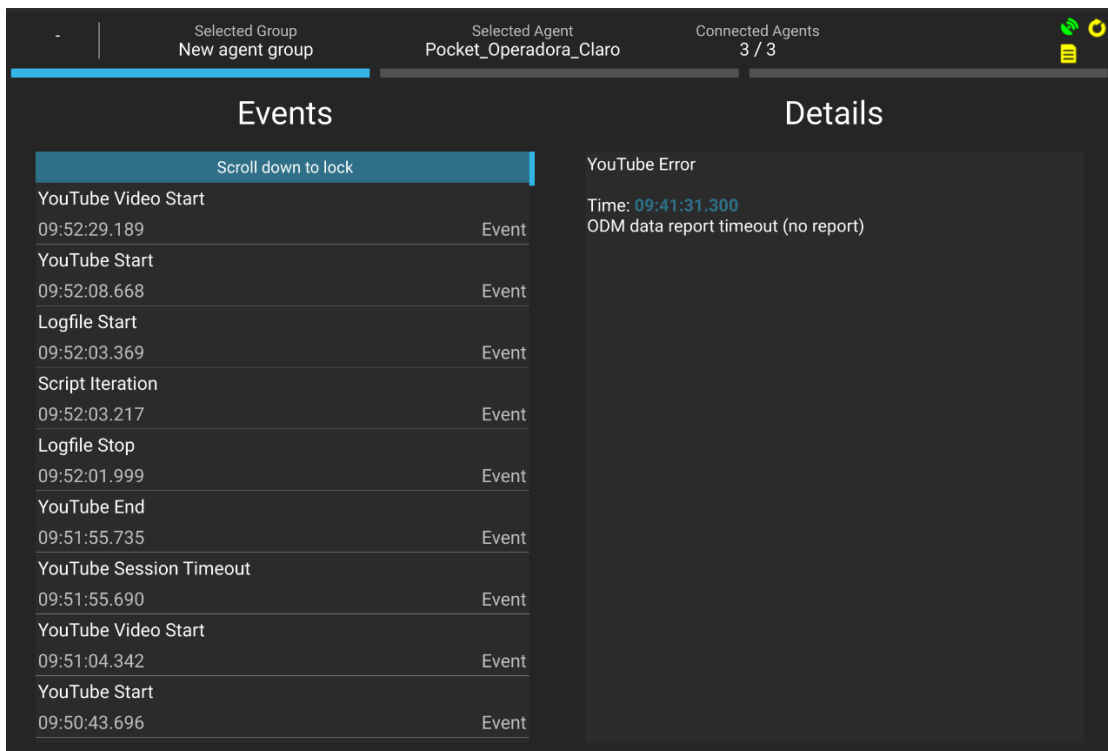
Esta herramienta puede ser útil para identificar una radio base específica y sus niveles de recepción, para realizar una medición específica de *streaming* de YouTube.

## 5.2.2. Monitoreo de ejecución de scripts

El monitoreo en tiempo real que nos brinda *Tems Pocket* de la ejecución de los *scripts*, nos permite dar un seguimiento a cada paso dentro del programa que se va ejecutando y constatar si se presenta algún error o dar seguimiento a los parámetros que se van midiendo.

### 5.2.2.1. Herramienta events

La herramienta “events” nos ayuda a dar seguimiento a las fases de ejecución de los *scripts*, con la visualización de mensajes en forma de *logs* del estado de cada uno de los procesos, tal como se puede apreciar en la Figura 6-5.



**Figura 6-5:** Eventos registrados por *Tems Pocket* durante la ejecución de los *scripts*

Ingresando a uno de los mensajes de eventos se despliega los detalles al lado derecho; en este ejemplo se detecta un error en YouTube, producido por el navegador del teléfono.

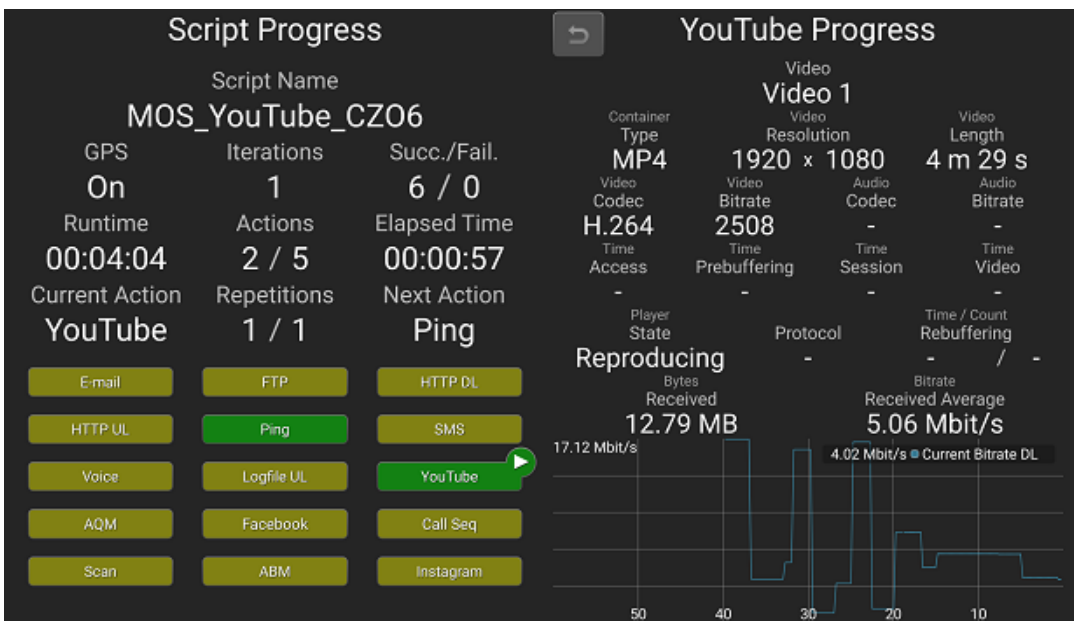
#### 5.2.2.2. Herramienta *script progress*

La herramienta “*Script Progress*” permite monitorear el progreso de una acción en particular dentro del *script*; como por ejemplo: ping, medición de YouTube y FTP. En la Figura 7-5 se muestra los resultados en tiempo real de la ejecución del ping, con la descripción de los tiempos de respuesta (mínimo, promedio, máximo y porcentaje de éxito).



**Figura 7-5:** Herramienta “Scripts Progress” monitoreando el proceso de ping

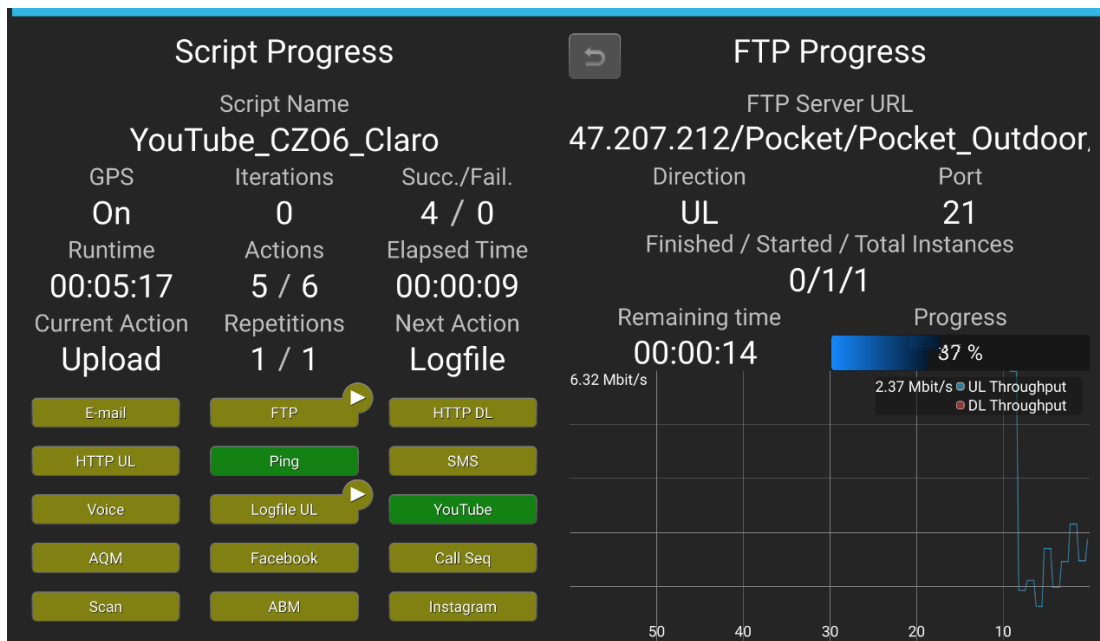
La Figura 8-5 nos muestra el monitoreo de la ejecución de la medición de YouTube, donde se observa: el video reproducido, tipo de contenedor, resolución del video, códec, longitud del video, *bitrate*, *bytes* recibidos y el promedio de *bitrate* recibido.



**Figura 8-5:** Monitoreo de la ejecución del proceso de medición de calidad de YouTube



De la misma manera podemos visualizar la ejecución del proceso de carga de los “log files” al servidor FTP de ARCOTEL. En la Figura 9-5 se muestra: el puerto, tiempo restante, porcentaje de progreso y la velocidad de subida en Mbit/s.



**Figura 9-5:** Monitoreo de la ejecución del proceso de subida de los log files al servidor FTP

### 5.3. Propuesta de parámetros mínimos u objetivos de calidad de streaming de video de YouTube

Los KPIs medidos en este trabajo se los dividió en tres clasificaciones: sesión, temporales y calidad; dentro de estas clasificaciones se propone los parámetros mínimos u objetivos de calidad.

#### 5.3.1. Parámetros mínimos u objetivos de calidad en KPIs de sesión

Los KPIs de sesión son:

- *Session Cutoff Ratio*
- *Play Start Failure Ratio*
- *Playout Cutoff Ratio*
- *Impairment Free Video Session Ratio*

Estos KPIs en forma general representan el porcentaje de fallas presentadas en las sesiones de video. Estas fallas pueden deberse a muchas causas, tanto por parte de la red de la operadora móvil, del equipo de medición (teléfono celular) o incluso del mismo servicio de YouTube. Ya que los porcentajes de fallas medidos no han sido significativos y en vista que no los mismos no son tema de análisis del presente trabajo, no se ha analizado las posibles causas de estas fallas medias. Sin embargo en caso de que se pudiera presentar porcentajes altos de fallas en mediciones futuras y esto fuera tema de estudio, se propone usar el *software Tems Discovery* a partir de la versión 20, para analizar y determinar las posibles causas de las mismas.

Por otra parte las fallas ocurridas en las sesiones, afecta la calidad de experiencia (QoE), por lo que estas son analizadas por el estándar PEVQ-s y reflejado en la calificación MOS, de esta forma la propuesta de parámetros mínimos u objetivos se generaliza en los KPIs de Calidad de Experiencia.

### **5.3.2. Parámetros mínimos u objetivos de calidad en KPIs temporales**

Los KPIs temporales son:

- *Video Play Start Time*
- *Service Access Time*
- *Reproduction Start Delay*

Estos KPIs son representados en segundos y los valores referenciales se los ha tomado en base a las recomendaciones de tiempos máximos del reporte técnico ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12). Sin embargo en este reporte se indica los tiempos máximos en las fases del video, en forma generalizada para cualquier tipo de conexión; es decir, no se especifica si el acceso a Internet es por WIFI, por cable o más aún con alguna tecnología específica de red móvil. En este sentido, cabe aclarar que las tres operadoras obtuvieron valores aceptables y así la propuesta de parámetros mínimos u objetivo para las redes 4G, se las realiza en base a las mediciones realizadas en el presente trabajo y en función de que las operadoras no disminuyan su nivel de calidad.

En la Tabla 1-5 se muestra los KPIs temporales con los valores referenciales obtenidos en base al reporte técnico ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12) y la propuesta realizada para considerar estos KPIs dentro de rangos normales de funcionamiento.

Como se analizó en la sección 4.1.2.3, el KPI “*Reproduction Start Delay*” para el peor de los casos que fue CNT, se obtuvo que el 99,34% de los datos del KPI fueron valores menores a 1 segundo. Si bien estos valores están favorablemente muy por debajo de la referencia de 20 s, se propone para este KPI valores menores o iguales a 1 segundo.

Para el KPI “*Service Access Time*” analizado en la sección 4.1.2.2, el promedio de este KPI en las tres operadoras es de 99,78 % para valores menores a 0,3 segundos. Se propone entonces para este KPI un valor menor o igual a 0,3 segundos.

En el caso del KPI “*Video Play Start Time*” al ser la suma del KPI “*Reproduction Start Delay*” y “*Service Access Time*”, se propone un valor menor o igual a 1,3 segundos.

**Tabla 1-5:** Propuesta de parámetros mínimos u objetivos de calidad para KPIs temporales

KPI temporal	Referencia calculado de ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12)	Propuesta de valor normal para 4G
<i>Video Play Start Time</i>	50 s	$\leq 1,3$ s
<i>Service Access Time</i>	30 s	$\leq 0,3$ s
<i>Reproduction Start Delay</i>	20 s	$\leq 1$ s

Fuente: (European Telecommunications Standards Institute, 2013)

Elaborado por: César Iñiguez, 2018

### 5.3.3. Parámetros mínimos u objetivos de calidad en KPIs de Calidad de Experiencia

Si hacemos una comparativa con del MOS medido en calidad de conversación en redes móviles, las metas de este MOS, son diferentes para cada país; sin embargo en el Ecuador en las resoluciones TEL-042-03-CONATEL-2014 y TEL-458-16-CONATEL-2014, se señala un valor objetivo a cumplir de  $MOS \geq 3,3$  para redes móviles de 2G y 3G.

Como se observó en la sección 4.1.3, la mayor parte de valores de MOS medidos para *streaming* de video de YouTube para redes móviles 4G en el Ecuador, se encuentran en el rango de Excelente (5) y Bueno (4), con calificaciones poco significativas en las categorías “Regular” (3) “Mediocre” (2) y “Mala” (1). Si bien estas mediciones cumplen y mejoran el objetivo de  $MOS \geq 3,3$ ; para el caso de video *streaming* de YouTube en base a los resultados del presente trabajo, se propone un valor objetivo de  $MOS \geq 4$ .

## CONCLUSIONES

El análisis comparativo del servicio de *streaming* de video de YouTube entre las operadoras de datos móviles 4G en el Ecuador, generó las siguientes conclusiones:

- A partir del estudio inicial del servicio de *streaming* de video de YouTube se establece que uno de los aspectos más relevantes del mismo, es su libre y fácil acceso a través de HTML5 y la calidad ofrecida gracias a una adecuada explotación del protocolo de transporte TCP.
- Se diseñó e implementó los escenarios de prueba para medir la calidad de *streaming* de video de YouTube dentro de las áreas de cobertura de las operadoras móviles 4G, en un ambiente *outdoor* y fijo, en la ciudad de Cuenca – Ecuador. El equipo “Tems Pocket” facilitado por la ARCOTEL fue el factor clave para realizar las mediciones y comparar los resultados obtenidos: KPIs a nivel de QoS y QoE, para las operadoras 4G en el Ecuador.
- El KPI “*Service Access Time*” medido en las tres operadoras fue menor a “0,3 s”, lo cual está favorablemente muy por debajo de la recomendación de “30 s” de la ETSI. En consecuencia se establece que las tres operadoras cumplen con un nivel de calidad aceptable; sin embargo, para mantenerse en dicho nivel, se propone que cumplan, para este KPI, un valor objetivo menor o igual a 0,3 segundos.
- Los valores del KPI “*Reproduction Start Delay*” en las tres operadoras fueron menores a “1 s”, los cuales están favorablemente muy por debajo de la recomendación de “20 s” de la ETSI. De modo análogo a la conclusión anterior, para este KPI, se propone a las operadoras que cumplan un valor objetivo menor o igual 1 segundo.
- El 96.47 % de valores del KPI “*Video Play Start Time*” de las tres operadoras son inferiores a “1 s”, lo cual está favorablemente muy por debajo de la recomendación de “50 s” de la ETSI. Se concluye que las tres operadoras cumplen con un nivel aceptable de calidad, respecto a este parámetro. Al ser este KPI la suma de los KPIs: “*Reproduction Start Delay*” y “*Service Access Time*”, se propone un valor objetivo menor o igual a 1,3 segundos.
- El KPI “*Average Video Quality*”, que mide la QoE dentro de la escala MOS, alcanzó un valor menor en la operadora Claro con un medición de 2,66; no obstante, la mayoría de los datos de este KPI en las tres operadoras se encuentran en la calificación 5 (excelente) en la escala

MOS, con por lo menos el 75% de los datos por operadora. Se cuenta con una calificación de 4 (Buena) en por lo menos el 21,06 % de las mediciones por operadora y menos del 1,45 % de las mediciones se encuentran en la categorías 3 (Mediocre), 2 (Regular) y 1 (Mala). Se propone un valor objetivo de “*Average Video Quality*” en la escala MOS mayor o igual a 4 para calidad de video *streaming* de YouTube.

- Con la prueba estadística de *Kruskal Wallis*, se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre el “*Average Video Quality*” medido en la escala MOS en las tres operadoras móviles, por este motivo se puede afirmar que con una probabilidad de error del 5%, el MOS medido en las tres operadoras móviles 4G, provienen de poblaciones de idéntico comportamiento, por lo tanto con distribuciones iguales.

## RECOMENDACIONES

De las experiencias obtenidas en el presente trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

- Monitorear la temperatura de los teléfonos móviles de la herramienta “*Tems Pocket*”, ya que por largas horas de trabajo continuo y por la temperatura del ambiente, puede recalentarse y causar fallas en la operación de los mismos.
- Tener un monitoreo continuo de los niveles de recepción RSRP en LTE, durante las mediciones, ya que si los niveles bajan menos de aproximadamente -110 dBm, los teléfonos móviles cambian de tecnología por “*Inter-Cell Handover*” y las mediciones pueden hacerse en una tecnología celular diferente a la de interés.
- Dado que Ecuador cuenta con una gran cantidad de redes móviles operando en 3G, para futuros trabajos se recomienda realizar mediciones de calidad de *streaming* de video de YouTube sobre estas redes.
- En el presente trabajo se ha realizado el estudio del servicio de *streaming* de video de YouTube en su modalidad video bajo demanda (VoD). Se recomienda para nuevos estudios, analizar herramientas que permitan medir otros servicios de *streaming* de video de YouTube, como por ejemplo “transmisiones en vivo”.
- Se recomienda para trabajos futuros, analizar herramientas que permitan variar parámetros de video como: resolución, códec, contenedor, etc; y evaluar su impacto sobre los KPIs de calidad.
- Para un análisis profundo de las fallas presentadas en los KPIs de sesión, se recomienda usar el *software* “*Tems Discovery*” versión 20, para determinar las posibles causas de las mismas.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

1G: Primera Generación de Telefonía Móvil

2G: Segunda Generación de Telefonía Móvil

3G: Tercera Generación de Telefonía Móvil

4G: Cuarta Generación de Telefonía Móvil

4K: *Ultra HD 4K*, abreviatura de 4.000 píxeles

5G: Quinta Generación de Telefonía Móvil

ACR: *Absolute Category Rating*, Índices por Categorías Absolutas

AMPS: *American Mobile Phone System*, Sistema Americano de Telefonía Móvil

ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones

ARQ: *Automatic Repeat Request*, Solicitud de Repetición Automática

BLER: *Block Error Rate*, Tasa de Error de Bloque

C-450: Sistema Sudafricano de Telefonía 1G

CA: *Carrier Aggregation*, Agregación de Portadoras

CDMA: *Code Division Multiple Code*, Acceso Múltiple por División de Código

CI: *Cell Identity*, Identidad Celular

CINR: Carrier to Interference Plus Noise Ratio

CNT: Corporación Nacional de Telecomunicaciones

CoMP: *Coordinated MultiPoint Transmission*, Transmisión Multipunto Coordinado

CONECCEL: Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones S.A (CLARO)

DASH: Dynamic Adaptive Streaming sobre HTTP (*Streaming* Dinámico Adaptativo sobre HTTP)

DCR: *Degradation Category Rating*, Índices por Categorías de Degradación

EARFCN: *E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number*, Número de Canal de Radiofrecuencia Absoluto E-UTRA

E-DCH: *Enhanced Dedicated Channel*, Canal Dedicado Mejorado

EDGE: *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*, Tasa de Datos Ampliadas Para la Evolución de GSM

EIR: *Equipment Identity Register*, Registro de la Identificación de Equipo

EMS: *Enhanced Messaging Service*, Servicio de Mensajería Mejorada

eNodeB: *Enhanced Node B*, Evolución del Nodo B

EPC *Evolved Packet Core*, Núcleo de Paquete Evolucionado

EPS *Evolved Packet System*, Sistema de Paquetes Evolucionado

ETAC: *Extended TACS*

ETSI: *European Telecommunications Standards Institute*, Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

E-UTRA: *Evolved Universal Terrestrial Radio Access*, Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionado

E-UTRAN: *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*, Red de Acceso de Radio Terrestre Universal – Evolucionado

FDD: *Frequency Division Duplex*, División de Duplexación por Frecuencia

FDMA: *Frequency Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Frecuencia

FULL HD: *Full High Definition*, Alta Definición Completa

GPRS: *General Packet Radio Service*, Servicio General de Paquetes vía Radio

GSM: *Global System for Mobile Communications*, Sistema Global para Comunicaciones Móviles

GTP-C: *General Tunneling Protocol-Control plane*

HARQ: *Hybrid Automatic Repeat Request*, Solicitud de Repetición Automática Híbrida

HD: *High Definition*, Alta Definición

HetNet: *Heterogeneous Network*, Redes Heterogéneas

HSCSD: *High-Speed Circuit-Switched Data*, Datos por Conmutación de Circuitos de Alta Velocidad

HS-DSCH: *High Speed Downlink Shared Channel*, Canal de Control de Alta Velocidad-Compartida



HSPA: *High Speed Packet Access*, Acceso a Paquetes a Altas Velocidades

HSS: *Home Subscriber Server*, Servidor Local de Abonado

HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*, Protocolo de Transferencia de Hipertexto

IMS: *IP Multimedia Subsystem*, Subsistema Multimedia IP

IMT-2000: *International Mobile Telecommunications 2000*, Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000

IMTS: *Improved Mobile Telephone System*, Sistema de telefonía móvil mejorado

ITU: *International Telecommunication Union*, Unión Internacional de Telecomunicaciones

JTACS: *Japan TACS*

KPI: *Key Performance Indicator*, Indicador Clave de Desempeño o Indicadores de Gestión

LTE: *Long Term Evolution*, Evolución a largo plazo

MAC: *Medium Access Control*, Control de Acceso al Medio

MCC: *Mobile Country Code*, Código de País de Móvil

MIMO: Multiple-input Multiple-output (Múltiples Entradas Múltiples Salidas)

MME: *Mobility Management Entity*), Entidad de Gestión de la Movilidad

MMS: *Multimedia Messaging Service*, Sistema de Mensajería Multimedia

MNC: *Mobile Network Code*, Código de Red Móvil

MOS: *Mean Opinion Score*, Puntuación de Opinión Media

NAS: *Non Access Stratum*

NMT: *Nordic Mobile Telephone*, Telefonía Móvil Nórdica

NTT: *Nippon Telegraph & Telephone*

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

OFDMA: *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales

OTECEL S.A: Empresa de telefonía móvil (MOVISTAR)

OTT: *Over the Top*, de libre transmisión

PCI (Phy Cell ID): *Physical Cell Identity*, Identidad de celda física

PCRF: *Policy Charging and Rules Function*, Función de política y reglas de cargas

PCS: *Personal Communication Services*, Servicio de Comunicación Personal

PDCCP: *Packet Data Convergence Protocol*, Protocolo de Convergencia de Datos de Paquete

PDN: *Public Data Network*, Red Pública de Datos

PEVQ-s: *Perceptual Evaluation of Video Quality Streaming*, Evaluación Perceptual de la Calidad de Video Streaming

P-GW: *Packet Data Network Gateway*, Puerta de Enlace de la Red de Paquete de Datos

PHY: *Physical Layer*, Capa Física

PR: *Pair Comparison*, Método de comparación por pares

PSNR: *Peak Signal to Noise Ratio*, La Relación Señal a Ruido de Pico

QoE: *Quality of Experience*, Calidad de Experiencia

QoS: *Quality of Service*, Calidad de Servicios.

RAC: *Radio Admission Control*, Control de Admisión Radio

RB: *Resource Block*), Bloque de Recurso

RBC: *Radio Bearer Control*, Control de Portadora Radio

RBOC: *Regional Bell Operating Companies*

RLC: *Radio Link Control*, Control de Enlace de Radio

RRC: *Radio Resource Control*, Control de Recursos de Radio

RRM *Radio resource management*, Administrador de Recursos Radio

RSRP: *Reference Signal Received Power*, Potencia Recibida de Señal de Referencia

RSRQ: *Reference Signal Received Quality*, Calidad de Señal Recibida de Referencia

RSSI: *Receive Strength Signal Indicator*, Indicador de Intensidad de Señal Recibida

RTCP: *Real Time Control Protocol*, Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real

RTMP: *Real-Time Messaging Protocol* (Protocolo de Mensajería en Tiempo Real)

RTP: *Real-time Transport Protocol*, Transporte en Tiempo Real

RTSP: *Real Time Streaming Protocol*, Protocolo de Transmisión en Tiempo Real

SAE: *System Architecture Evolution*, Evolución de la Arquitectura del Sistema

SC-FDMA: *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única

SDTV: *Standard Definition Television*, Definición Estándar de Televisión

SGW: *Serving Gateway*, Servidor de Puerta de Enlace

SIM: *Subscriber Identity Module*, Módulo de Identificación de Suscripción

SINR: *Signal to Interference plus Noise Ratio*, Cociente de Señal / Interferencia-Plus-Ruido

SMS: *Short Message Service*, Servicio de Mensajes Cortos

SortD: *Spatial Orthogonal Resource Transmit Diversity*, Diversidad Espacial Ortogonal de Recursos de Transmisión

TAC: *Tracking Area Code*, Código de Área de Seguimiento

TACS: *Total Access Communication System*, Sistema de Comunicación de Acceso Total

TCP: *Transmission Control Protocol*, Protocolo de Control de Transmisión

TDD: *Time Division Duplex*

TxD: *Transmit Diversity*, Transmisión de Diversidad

UDP: *User Datagram Protocol*, Protocolo de Datagramas de Usuario

UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System*, Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles

VCEG: *Video Coding Experts Group*

VGA: *Video Graphics Array*, Arreglo de Video Gráfico

VoD: *Video on Demand*, Video bajo Demanda

YoMoApp: *YouTube Monitoring App*, Aplicación de Monitoreo de YouTube

## BIBLIOGRAFÍA

- Afroz, F., Subramanian, Ramprasad, Heidary, Roshanak, Sandrasegaran, Kumbesan, & Ahmed, Solaiman.** (2015). SINR, RSRP, RSSI AND RSRQ Measurements in Long Term. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 113 - 123.
- Almansa López, L.** (11 de Julio de 2013). *ToT4Blog*. Obtenido de <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>
- ARCOTEL.** (17 de Marzo de 2017). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/4g/>
- ARCOTEL.** (8 de Agosto de 2017). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/464-de-usuarios-del-servicio-movil-avanzado-poseen-un-smartphone/>
- ARCOTEL.** (2017). Infraestructura del Servicio Móvil Avanzado. *Boletín Estadístico IV Trimestre 2017*, 7-8.
- Arimas.** (24 de 04 de 2016). *Arimas*. Obtenido de <https://arimas.com/164-rsrq-to-sinr/>
- Artiza Networks.** (2017). *Artiza Networks*. Obtenido de [http://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/lay\\_2\\_log.html](http://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/lay_2_log.html)
- Ascom.** (14 de 05 de 2009). Video Streaming Quality Measurement with VSQI.
- Barceló Ordinas, J. M., Griera, J., Escalé, R. M., Olivé, E., & Tornil, X. P.** (2004). *Redes de Computadores*. Barcelona: Eureka Media, SL.
- Campana, M. A.** (Marzo de 2015). *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación*. Obtenido de Curso LTE: <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2015/04/Manuel-Alvarez-Campana-T3.pdf>
- Cardona, N., Olmos, J., García, M., & Moserrat, J.** (2011). *3GPP LTE: Hacia la 4G móvil* (Primera ed.). Barcelona: Marcombo.
- Cátedra Comunicación 3.** (07 de 2014). *Cátedra Comunicación 3*. Obtenido de <http://comunicacion3unlz.com.ar/wp-content/uploads/2014/07/Video-y-televisi%C3%B3n-digital.pdf>
- Cevallos, V.** (2015). *Análisis de Mercado Para La Provisión de Servicios LTE en el Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Cisco.** (7 de 2 de 2017). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021.
- Cisco.** (Junio 6, 2017). *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021*.
- Claro.** (2018). *Claro Cobertura*. Obtenido de <https://www.claro.com.ec/personas/servicios/servicios-moviles/cobertura/>

- CNT E.P.** (2018). *CNT Geoportal*. Obtenido de <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal>
- Del Valle Díaz, A.** (s.f.). *e-REdING*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11980/fichero/CAP%C3%8DTULO+2+-+LA+EVOLUCI%C3%93N+DE+LA+TELEFON%C3%8DA+M%C3%93VIL%252F2.2+La+evoluci%C3%B3n+de+las+redes+de+telefon%C3%ADa.pdf>
- Dezhong, M.** (17 de Enero de 2011). *ZTE*. Obtenido de LTE-A: Trailblazing Towards 4G: [http://www.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2011/no1/articles/201101/t20110117\\_201778.html](http://www.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2011/no1/articles/201101/t20110117_201778.html)
- Donchev, D.** (29 de Julio de 2017). *Fortunelords*. Obtenido de <https://fortunelords.com/youtube-statistics/>
- El sistema telefónico móvil. (2003). En **A. Tanenbaum**, *Redes de Computadoras* (págs. 152-169). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de.
- Escobar, M.** (2012). En *Telefonía y Conmutación* (pág. 11). Tlalnepantla: Red Tercer Milenio.
- Estrella, D.** (2012). *Estudio Técnico para la Determinación de Parámetros e Indicadores de Calidad De Servicio (QoS) para Internet Móvil en el Ecuador*. Sangolquí, Ecuador.
- ETSI.** (Enero de 2012). ETSI TS 136 104 V10.5.0 (2012-01). *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 10.5.0 Release 10)*.
- European Telecommunications Standards Institute.** (12 de 2013). ETSI TR 101 578 V1.1.1 (2013-12). *Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects of TCP-based video services like YouTube*. Sophia Antipolis Cedex, France.
- Heba, D.** (1 de 07 de 2013). *SlideShare*. Obtenido de RIP RTCP RTSP: <https://www.slideshare.net/malakymh/rip-rtcp-rtsp>
- Hernández Bonilla, C. M., & Quintero Flórez, Víctor Manuel .** (s.f.). *Capítulo 2. Arquitectura y Protocolos LTE*. Obtenido de Universidad del Cauca: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%202.pdf>
- History.** (s.f.). *History*. Obtenido de <https://mx.tuhistory.com/hoy-en-la-historia/guglielmo-marconi-realizo-1era-transmision-de-radio>
- Hoßfeld, T., Schatz, R., Biersack, E., & Plissonneau, L.** (4 de Abril de 2013). Internet Video Delivery in YouTube: From Traffic Measurements to Quality of Experience. En E. Biersack, C. Callegari, & M. Matijasevic, *Data Traffic Monitoring and Analysis* (págs. 264-301). Berlin Heidelberg: Springer. Obtenido de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SonyCenter\\_360panorama.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SonyCenter_360panorama.jpg)
- Incorporated, A. S.** (2017). *Adobe*. Obtenido de <http://www.adobe.com/devnet/rtmp.html>
- Infobae.** (17 de Febrero de 2017). Obtenido de <https://www.infobae.com/tecnologia/2017/02/17/cual-fue-el-primer-telefono-celular-que-se-lanzo-al-mercado/>
- International Telecommunication Union.** (07 de 2016). P.10/G.100. *Vocabulary for performance and quality of service*.

- Jain, R.** (2014). *Washington University in Saint Louis*. Obtenido de [https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/j\\_16lta.pdf](https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/j_16lta.pdf)
- Joskowicz, J.** (2017). *Calidad de Voz y Video*.
- Juluri, P.** (2015). *Measurement And Improvement Of Quality-Of-Experience For Online Video Streaming Services*. Kansas City, Missouri.
- Kontothannis, L.** (2012). *Content Delivery Consideration fo Web Video*. In: *Keynote at ACM Multimedia Systems 2012 (MMSys 2012)*. 423-424. North Carolina, USA.
- Koopmans, C.** (2013). *Wired*. Obtenido de *The Colliding Worlds of Video Providers and Mobile Networks*: <https://www.wired.com/insights/2013/04/the-colliding-worlds-of-video-providers-and-mobile-networks-2/>
- Kumar Adhikari, V., Jain, S., Chen, Y., & Zhang, Z.-L.** (s.f.). *Vivisecting YouTube: An Active Measurement Study*.
- León, G.** (2007). *Avances Tecnológicos en la Telefonía Celular*. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo.
- Luca, R.** (21 de Julio de 2014). *SlideShare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/LucaMatteoRuberto/acomparativestudyofumtswcdmaan dcdma2000networks>
- Mahoney, D., & Schnauffer, D.** (19 de Febrero de 2016). *Electronic Desing*. Obtenido de <http://www.electronicdesign.com/communications/carrier-aggregation-implications-mobile-device-rf-front-ends>
- Millán, J.** (2000). *El sistema de móviles de tercera generación UMTS*. *PC World nº 178*, 237-244.
- Morales, F.** (2013). *Evaluación del Servicio de Internet con Acceso Móvil en el Ecuador*. Sangolquí, Ecuador.
- Movistar.** (2018). *Mapas de Cobertura*. Obtenido de <https://www.movistar.com.ec/productos-y-servicios/cobertura>
- Nacional, E. P.** (s.f.). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <http://www.epn.edu.ec/streaming/>
- National Institute of Standards and Technology.** (s.f.). *NIST*. Obtenido de <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>
- Neira, F.** (2015). *Análisis y Determinación de la Calidad del Servicio de Telefonía Móvil Celular Ofrecido por las Operadoras Celulares en la Ciudad de Guayaquil, a través de Drive Test*. Guayaquil, Ecuador.
- Núñez Morfa, C.** (2013). *Protocolos de usuario en E-UTRAN*. *Telem@tica*, 32-40.
- Opticom.** (02 de 2015). *PEVQ-s Perceptual Evaluation of Streaming Video Quality. PEVQ-S - the New Measurement Standard for Video Streaming Quality* .
- Pogo, J.** (2011). *Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.

- Rathi, A.**, Narang, P., Kumar Rai, S., Aggarwal, M., & Kalra, M. (9 de Septiembre de 2013). Network Advancement in 4G: TD-LTE Technology. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 2, 2745-2749.
- Redrum0486.** (2008). *Wikimedia Commons*. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DynaTAC8000X.jpg>
- Rodríguez Gámez, O., Hernández Perdomo, R., Torno Hidalgo, L., García Escalona, L., & Rodríguez Romero, R.** (2005). *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/1815/181517913002/>
- Sandvine, I. B.** (2016). *2016 Global Internet Phenomena, LATIN AMERICA & NORTH AMERICA*.
- Satpathy, A.** (Mayo de 2011). *LTE in Wireless*. Obtenido de <http://lteinwireless.blogspot.com/2011/05/channels-in-lte.html>
- Seufert, M., Wehner, N., Wamser, F., Casas, P., D'Alconzo, A., & Tran-Gia, P.** (2017). 2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). *Unsupervised QoE Field Study for Mobile YouTube Video Streaming with YoMoApp*. Erfurt. doi:10.1145/2910017.2910606
- Seufert, M., Wehner, N., Wamser, F., Casas, P., D'Alconzo, A., & Tran-Gia, P.** (2017). 2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). *Unsupervised QoE Field Study for Mobile YouTube Video Streaming with YoMoApp*. Erfurt, Germany: IEEE. doi:10.1145/2910017.2910606
- Seufert, M., Wehner, N., Wamser, F., Casas, P., D'Alconzo, A., & Tran-Gia, P.** (2017). Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). *Unsupervised QoE Field Study for Mobile YouTube Video Streaming with YoMoApp*. Erfurt.
- Sgomag.** (27 de Abril de 2015). *Wikimedia Commons*. Obtenido de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resuso\\_de\\_frecuencias\\_en\\_una\\_red\\_de\\_celdas.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resuso_de_frecuencias_en_una_red_de_celdas.png)
- Silva Tapia, R.** (2010). *Evaluación del Mercado del Servicio de Telefonía*. Quito, Ecuador.
- Stallings, W.** (2000). *Comunicaciones y Redes de Computadoras*. Madrid: PEARSON EDUCACION.
- Tanenbaum, A. S.** (2003). *Redes de Computadoras* (CUARTA ed.). MÉXICO: PEARSON EDUCACIÓN.
- Tecnologías de Radiocomunicación. (2012). En **J. M. Huidobro**, *Comunicaciones Móviles Sistemas GSM, UMTS y LTE*. Madrid: RA-MA Editorial.
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones.** (09 de 1999). UIT-T P.910. *Métodos de Evaluación Subjetiva de la Calidad*.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones.** (09 de 1999). SERIE P: Calidad de Transmisión Telefónica, Instalaciones Telefónicas y Redes Locales. *Calidad audiovisual en servicios multimedia*. Ginebra.
- Urzainqui, M.** (14 de Febrero de 2015). *Urzainqui*. Obtenido de <http://murzainqui.blogspot.com.es/2015/02/los-abuelos-de-mi-movil.html>

- USAT.** (s.f.). *USAT*. Obtenido de <http://usatcorp.com/faqs/understanding-lte-signal-strength-values/>
- Vialfa, C.** (17 de 01 de 2018). *CCM*. Obtenido de El protocolo HTTP: <https://es.ccm.net/contents/264-el-protocolo-http>
- We Are Social and Hootsuite.** (24 de Enero de 2017). *DIGITAL IN 2017: GLOBAL OVERVIEW*. Obtenido de <https://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2017-global-overview>
- YouTube.** (2018). *YouTube*. Obtenido de <https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=es-419>
- ZAVIA, M. S.** (22 de Febrero de 2012). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/moviles/que-es-lte>
- Zhang, X.** (2018). *LTE Optimization Engeneering*. Singapore: Wiley.



## ANEXOS

### ANEXO A: CONFIGURACIÓN DE SCRIPTS EN EQUIPOS TEMS POCKET

Para la creación de los *scripts* para medir la calidad de video *streaming* de YouTube en las tres operadoras, se sigue la lógica descrita en la sección 3.12.1 “Diseño de escenarios”, y se programa en la aplicación *Tems Pocket* del dispositivo *master (tablet)*. La programación se la realiza independientemente por operadora, es decir un *script* para cada teléfono móvil.

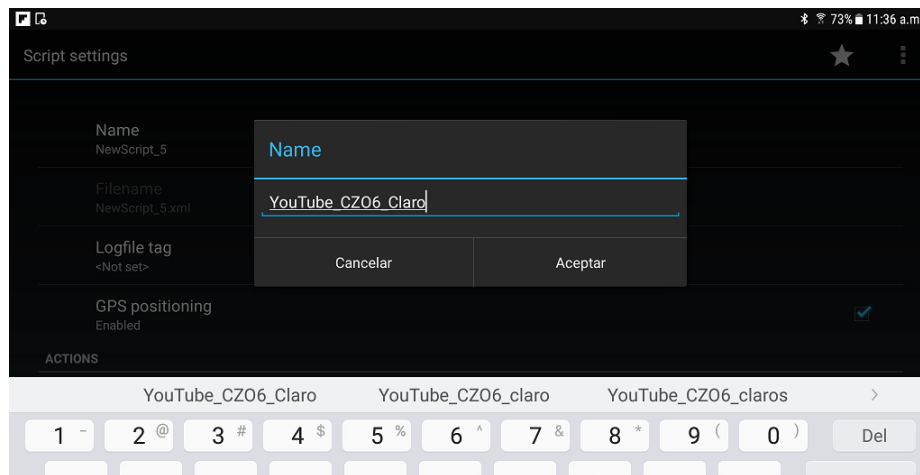
Los tres *scripts* programados son idénticos en las especificaciones y configuraciones de medición de ping y YouTube, pero son distintos en la programación de FTP, ya que los archivos *log files* generados de las mediciones son individuales en cada teléfono móvil. Es así que en la parte concerniente a FTP el nombre de los *log files* y rutas de almacenamiento son diferentes entre operadoras. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, para el detalle de la programación de las mediciones de ping y YouTube se considera solo el caso de la operadora Claro.

En las siguientes secciones se detalla los pasos realizados para las programación de los *scripts* de medición.

#### 1. PARÁMETROS INICIALES DEL SCRIPT

En esta parte se describe los parámetros iniciales configurados al crear un nuevo *script*.

Primero se selecciona la opción de nuevo *script* y se ingresa los datos como nombre, en este caso es: YouTube\_CZ06\_Claro, como lo muestra la Figura 1-A.



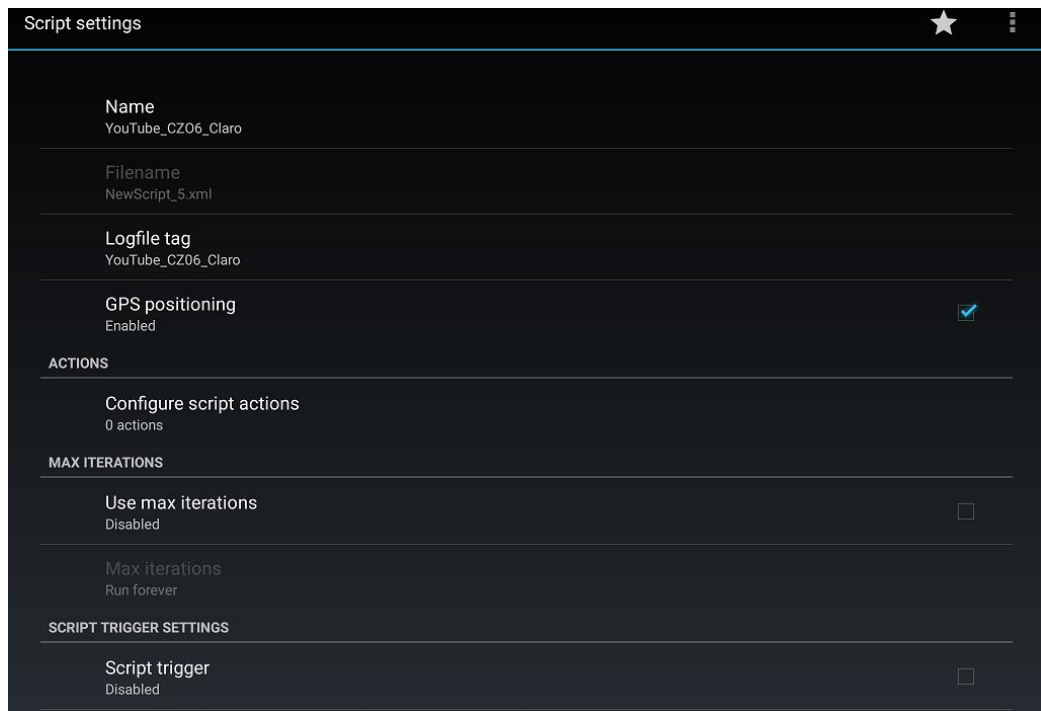
**Figura 1-A:** Configuración del nombre del nuevo *script*

Cabe indicar que CZ06 indica “Coordinación Zonal 6” que es la dependencia de la ARCOTEL presente en la ciudad de Cuenca; este indicativo nos permite diferenciar los *log files* en el servidor FTP de la ARCOTEL, ya que en este servidor pueden existir archivos de mediciones realizadas por otras coordinaciones zonales.

Los archivos *log files* generados de las mediciones, son almacenados con un nombre que contiene dos partes: una etiqueta “*Logfile tag*” y un código numérico. La etiqueta “*Logfile tag*” es configurada por el usuario de “*Tems Pocket*” y permite dar un identificativo a los archivos para diferenciarlos entre operadoras; mientras que para diferenciar entre archivos *log files* de la misma operadora, el *software* “*Tems Pocket*” agrega automáticamente al nombre del archivo unos caracteres numéricos, en los que se identifica la fecha y hora de las mediciones.

Para este caso el nombre de la etiqueta “*Logfile tag*” es configurado con el mismo nombre que se le ha utilizado para el *script*: YouTube\_CZ06\_Claro. Esto se puede ver en la Figura 2-A.

En esta parte de la programación también se activa la función de GPS, que nos ayuda a la georreferenciación de las mediciones.



**Figura 2-A:** Ingreso del nombre de etiqueta de los *log files* (*logfiles tag*) y activación de GPS

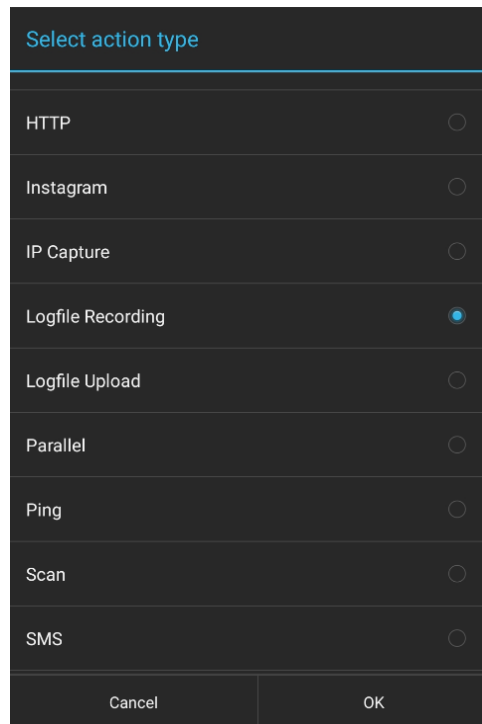
## 2. CONFIGURACIÓN DE ACCIONES DEL SCRIPT

Hasta el momento se ha mostrado la configuración de los parámetros iniciales del *script*, ahora las tareas o mediciones que se debe programar al *script* son agregadas en la parte de “acciones” (*ACTIONS*), como se muestra en la Figura 2-A se tiene “cero acciones” hasta el momento. Las acciones que se deben agregar son: registro de logs o mediciones, ping, YouTube y FPT. La agregación de estas acciones se describe a continuación.

### 2.1. Acción Logfile recording

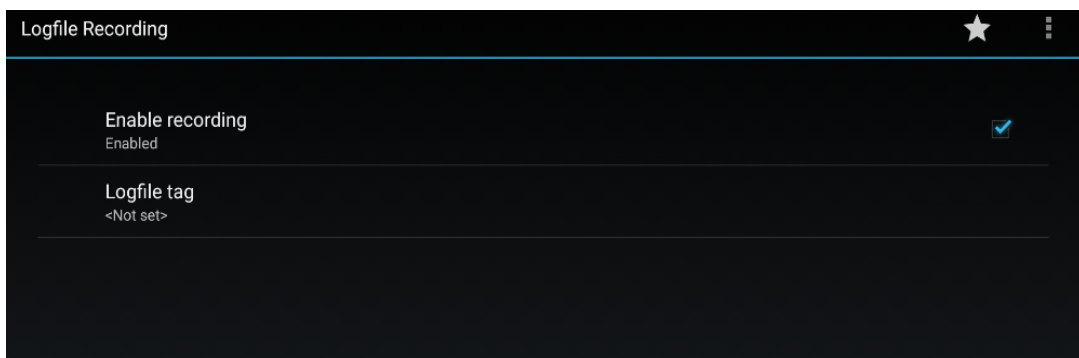
Ya que los *logs* de las medidas generadas por las acciones de mediciones son instantáneas, la primera acción a programar es “*Logfile recording*”, que permite iniciar con la tarea de almacenamiento de estas medidas en el archivo *log file*, conforme se vayan generando.

En la Figura 3-A se muestra algunas de las acciones disponibles en *Tems Pocket* y la selección de la acción “*Logfile recording*”.



**Figura 3-A:** Selección de la acción “*Logfile Recording*”

Al dar “OK” en la selección se muestra una opción para habilitar la grabación, esta opción se selecciona en esta parte, como se puede apreciar en la Figura 4-A.

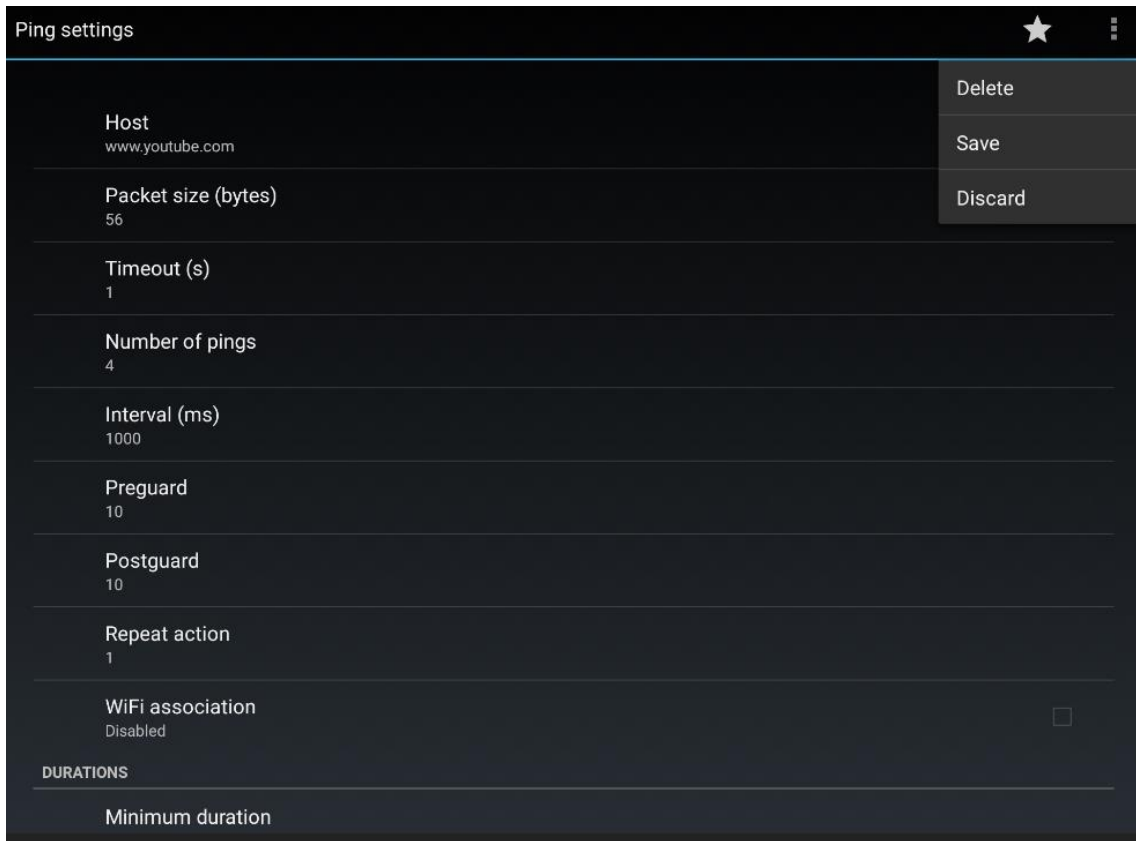


**Figura 4-A:** Habilitación de grabación

## 2.2. Acción ping

Se usa el ping como referencia al momento de realizar las mediciones, para observar si se tiene acceso a la nube y al servidor de YouTube y descartar cualquier tipo de problema de acceso.

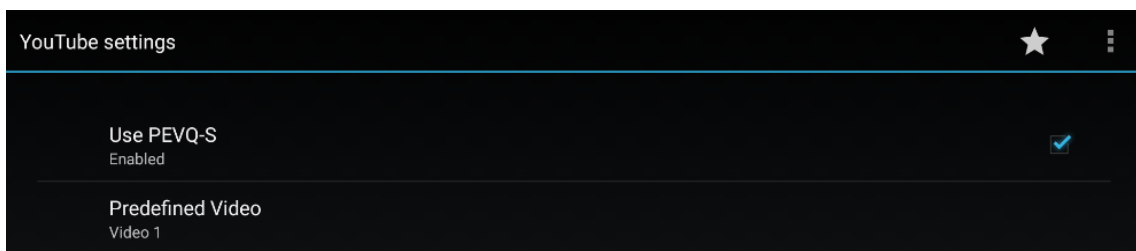
Se configura esa acción con un número de cuatro pruebas y un tamaño por cada paquete de 56 bytes, con un *timeout* de 1 s y una *preguard* y *postguard* de 10 segundos; toda esta configuración se muestra en la Figura 5-A. Finalmente se guarda los cambios en la opción pertinente.



**Figura 5-A:** Configuración de la acción ping

### 2.3. Acción YouTube

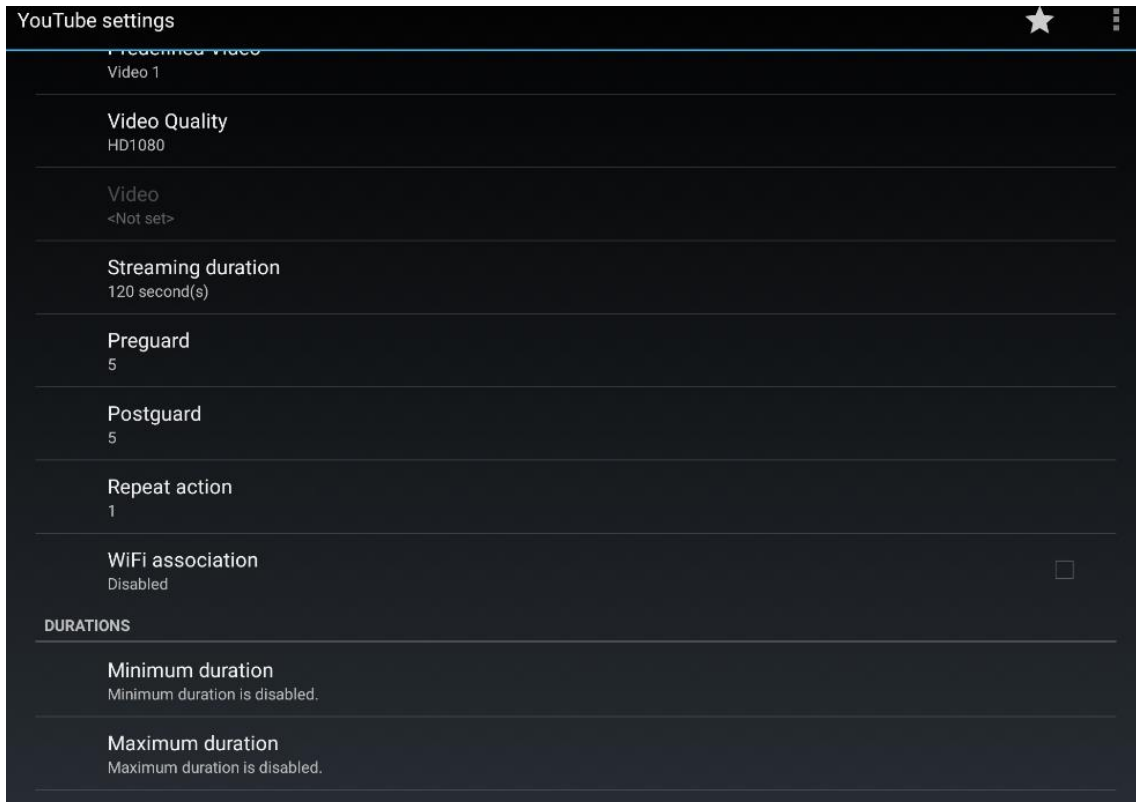
Al crear la acción “YouTube”, primero se debe activar la opción del uso de PEVQ-s para la medición del MOS de video, a continuación se selecciona uno de los tres video base predefinidos en Tems Pocket, en este caso se usa el “Video 1”, como se muestra en la Figura 6-A.



**Figura 6-A:** Habilitación de PEVQ-S y selección de Video 1

A continuación se elige la resolución del “Video 1” entre las opciones: *default*, HD720 y HD1080; así como el tiempo de duración de la reproducción. Para el escenario de pruebas del presente trabajo se elige la resolución de HD1080 y tiempo de duración de “120 segundos”. Finalmente se configura tanto la *preguard* como la *postguard* en 5 segundos.

El detalle de las configuraciones indicadas se describe en la Figura 7-A

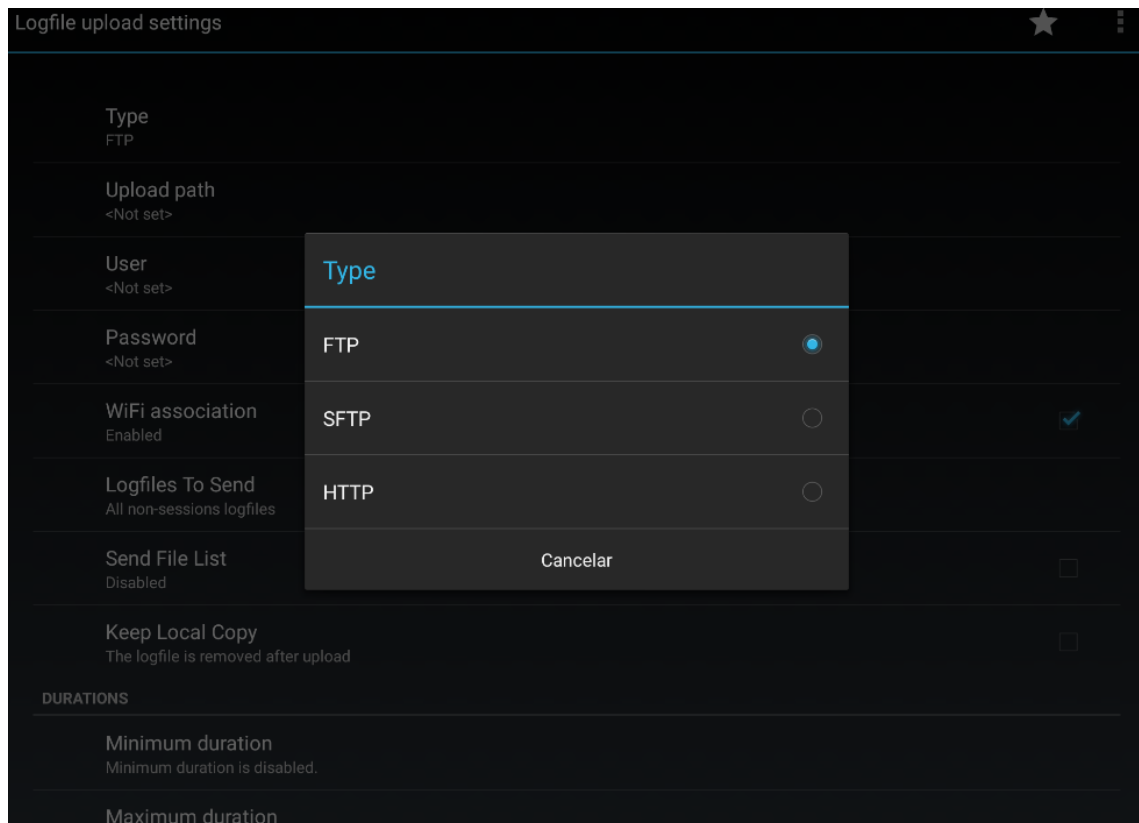


**Figura 7-A:** Detalle de las configuraciones de la acción YouTube

## 2.4. Acción Logfile upload

La acción “*Logfile upload*” permite transferir los archivos *log files* a un destino, para su posterior procesamiento. Como se mencionó antes, los parámetros de esta acción difieren en los *script* de cada operadora, ya que la ruta o *path* dentro del servidor en donde se suben los datos, es diferente para cada *log file* de acuerdo a la operadora, para diferenciar y facilitar el procesamiento posterior de los datos. Sin embargo para la descripción de esta acción solo se detalla el proceso para la operadora Claro.

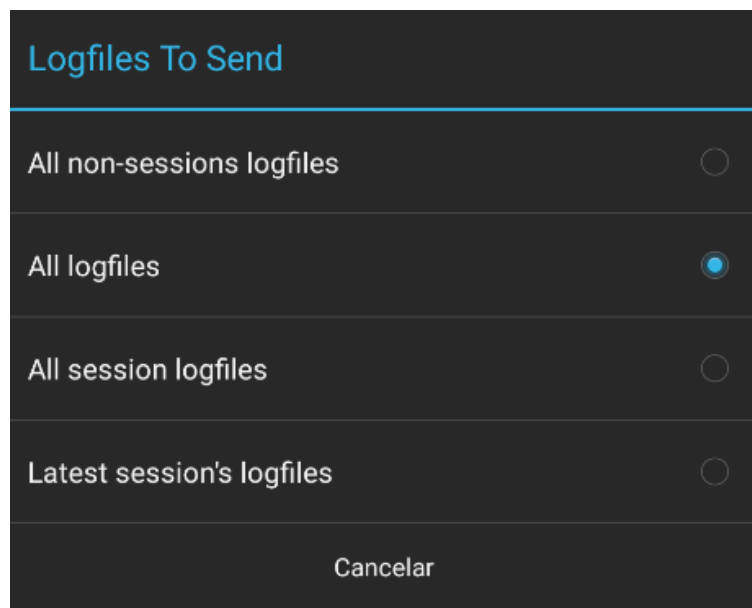
En primer lugar dentro de las opciones de esta acción se tiene los siguientes métodos soportados: FTP, SFTP y HTTP; para este caso se selecciona FTP como lo muestra la Figura 8-A.



**Figura 8-A:** Selección de FTP para la acción “*Logfile upload*”

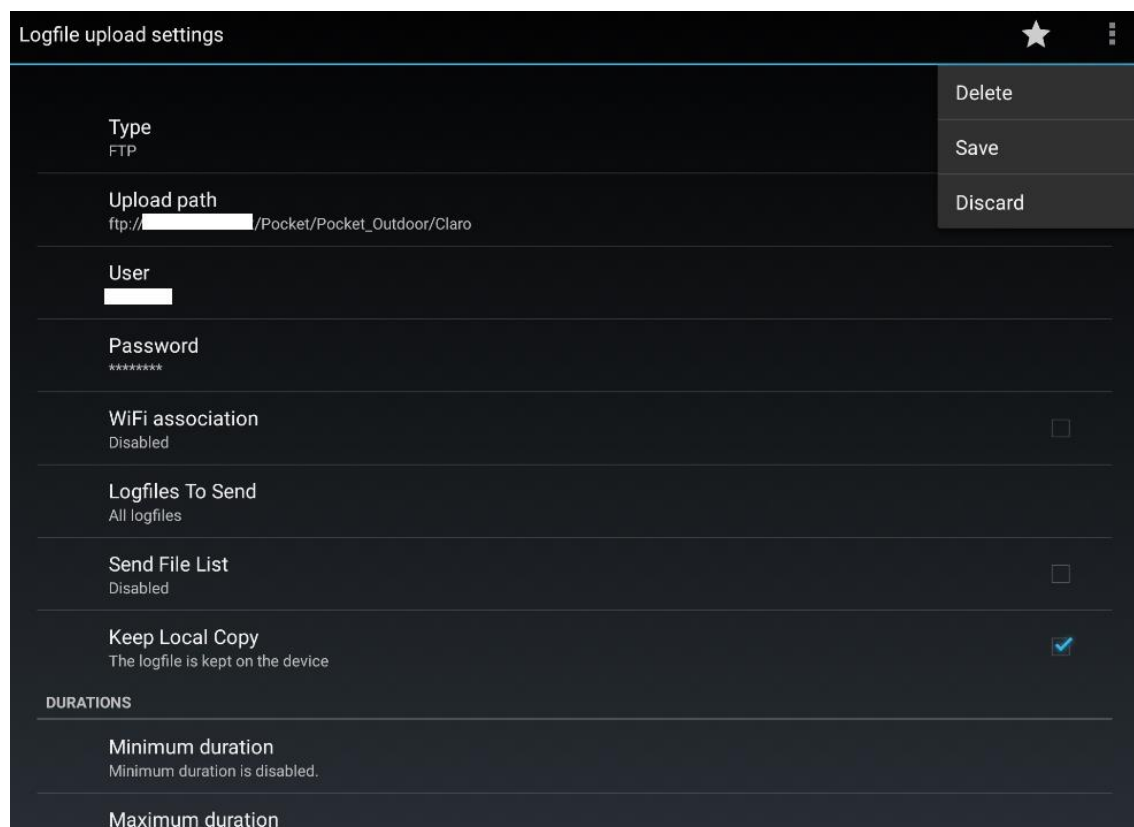
A continuación se configura la ruta donde se almacenará los *log file*, especificando para esto la dirección IP pública, el usuario y *password* de acceso al servidor FTP de ARCOTEL; por razones de seguridad estos datos no se muestran en este trabajo.

Luego se selecciona que *log files* se quiere enviar al servidor, aquí elegimos la opción “*All logfiles*” para el envío de todos los archivos contenidos en el teléfono móvil, como lo muestra la Figura 9-A.



**Figura 9-A:** Selección de los log files a enviar al servidor FTP

El resto de parámetros se dejan por defecto. En la Figura 10-A se muestra el resumen de las configuraciones realizadas en esta acción.



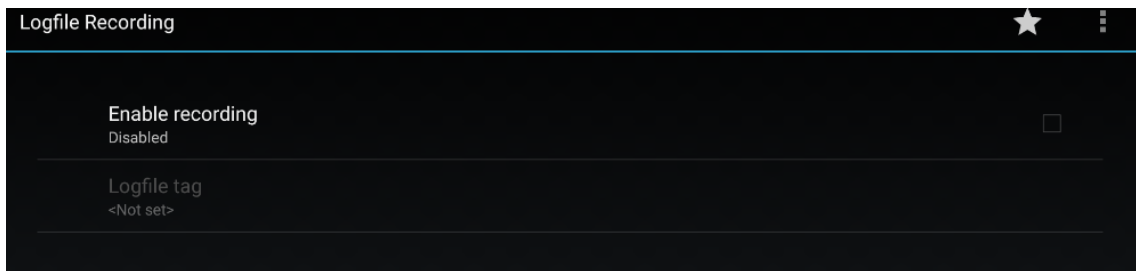
**Figura 10-A:** Resumen de parámetros de configuración de la acción “Logfile upload”



## 2.5. Acción Logfile Recording final

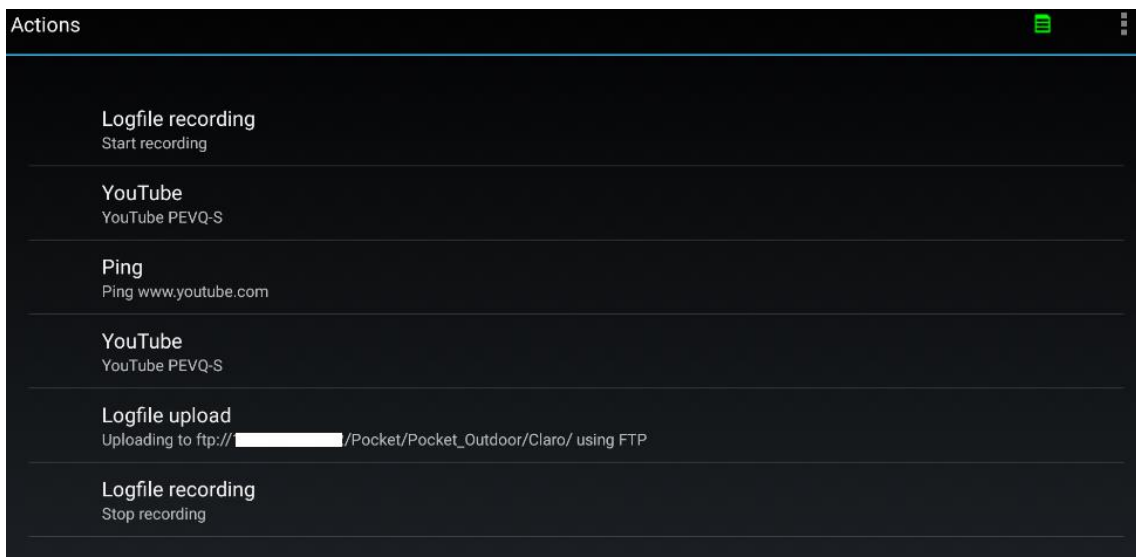
Para finalizar con la programación de las acciones, es necesario terminar la tarea que se empezó en la sección 2.1 de este Anexo, donde se dio inicio al almacenamiento de las mediciones instantáneas en el archivo *log files*, con el uso de una acción “*Logfile recording*”.

Ahora con el uso de otra acción “*Logfile recording*” se finaliza la tarea, deshabilitando la grabación en la pestaña que nos presenta el *software*, como se muestra en la Figura 11-A.



**Figura 11-A:** Finalización de la grabación de las mediciones con la acción “*Logfile recording*”

Con esto se concluye la programación de todas las acciones del *script*, por lo que en total se tiene un total de seis acciones programadas, como se muestran en la Figura 12-A.



**Figura 12-A:** Acciones programadas en el *script*

Finalmente se graba el *script* generado en la opción “*Save*”.

## ANEXO B: CÓDIGO XML DE LOS SCRIPTS

### 1. CÓDIGO XML DEL SCRIPT DE LA OPERADORA CLARO

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8' standalone='yes' ?>
<PocketScript>
  <Name>YouTube_CZO6_Claro</Name>
  <LogfileTag>YouTube_CZO6_Claro</LogfileTag>
  <MaxIterations>0</MaxIterations>
  <UseGPS>true</UseGPS>
  <ActionSet>
    <LogfileRecording>
      <Enable>true</Enable>
      <LogfileTag></LogfileTag>
    </LogfileRecording>
    <YouTube repeat="1" preguard="5" postguard="5" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">
      <UsePEVQS>true</UsePEVQS>
      <PredefinedPevqsVideo>Video 1</PredefinedPevqsVideo>
      <PevqsVideoQuality>HD1080</PevqsVideoQuality>
      <Video></Video>
      <StreamingDuration>120</StreamingDuration>
      <WifiAssociation>false</WifiAssociation>
    </YouTube>
    <Ping repeat="1" preguard="10" postguard="10" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">
```

```
<useIPv6>>false</useIPv6>

<Host>www.youtube.com</Host>

<PacketSize>56</PacketSize>

<Timeout>1</Timeout>

<NumberOfPings>4</NumberOfPings>

<Interval>1000</Interval>

<WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

</Ping>

<YouTube repeat="1" preguard="5" postguard="5" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">

  <UsePEVQS>>true</UsePEVQS>

  <PredefinedPevqsVideo>Video 1</PredefinedPevqsVideo>

  <PevqsVideoQuality>HD1080</PevqsVideoQuality>

  <Video></Video>

  <StreamingDuration>120</StreamingDuration>

  <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

</YouTube>

<LogfileUpload type="FTP" repeat="1" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">

  <URL>ftp://x.x.x.x/Pocket/Pocket_Outdoor/Claro</URL>

  <User>xxxx</User>

  <Password>xxxx</Password>

  <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

  <SendFileList>>false</SendFileList>

  <LogfilesToSend>All logfiles</LogfilesToSend>

  <SplitLogfile>>false</SplitLogfile>

  <SplitLogfileSize>3</SplitLogfileSize>
```

```
<KeepLocalCopy>true</KeepLocalCopy>
</LogfileUpload>
<LogfileRecording>
  <Enable>>false</Enable>
  <LogfileTag></LogfileTag>
</LogfileRecording>
</ActionSet>
</PocketScript>
```

## 2. CÓDIGO XML DEL SCRIPT DE LA OPERADORA MOVISTAR

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8' standalone='yes' ?>
<PocketScript>
  <Name>YouTube_CZ06_Movistar</Name>
  <LogfileTag>YouTube_CZ06_Movistar</LogfileTag>
  <MaxIterations>0</MaxIterations>
  <UseGPS>true</UseGPS>
  <ActionSet>
    <LogfileRecording>
      <Enable>true</Enable>
      <LogfileTag></LogfileTag>
    </LogfileRecording>
    <YouTube repeat="1" preguard="5" postguard="5" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">
      <UsePEVQS>true</UsePEVQS>
```

```
<PredefinedPevqsVideo>Video 1</PredefinedPevqsVideo>

<PevqsVideoQuality>HD1080</PevqsVideoQuality>

<Video></Video>

<StreamingDuration>120</StreamingDuration>

<WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

</YouTube>

<Ping repeat="1" preguard="10" postguard="10" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">

  <useIPv6>>false</useIPv6>

  <Host>www.youtube.com</Host>

  <PacketSize>56</PacketSize>

  <Timeout>1</Timeout>

  <NumberOfPings>4</NumberOfPings>

  <Interval>1000</Interval>

  <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

</Ping>

<YouTube repeat="1" preguard="5" postguard="5" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">

  <UsePEVQS>>true</UsePEVQS>

  <PredefinedPevqsVideo>Video 1</PredefinedPevqsVideo>

  <PevqsVideoQuality>HD1080</PevqsVideoQuality>

  <Video></Video>

  <StreamingDuration>120</StreamingDuration>

  <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

</YouTube>

<LogfileUpload type="FTP" repeat="1" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">
```

```
<URL>ftp://x.x.x.x/Pocket/Pocket_Outdoor/Movistar/</URL>

<User>xxxx</User>

<Password>xxxx</Password>

<WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

<SendFileList>>false</SendFileList>

<LogfilesToSend>All logfiles</LogfilesToSend>

<SplitLogfile>>false</SplitLogfile>

<SplitLogfileSize>3</SplitLogfileSize>

<KeepLocalCopy>>true</KeepLocalCopy>

</LogFileUpload>

<LogFileRecording>

  <Enable>>false</Enable>

  <LogfileTag></LogfileTag>

</LogFileRecording>

</ActionSet>

</PocketScript>
```

### 3. CÓDIGO XML DEL SCRIPT DE LA OPERADORA CNT

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8' standalone='yes' ?>

<PocketScript>

  <Name>YouTube_CZ06_CNT</Name>

  <LogfileTag>YouTube_CZ06_CNT</LogfileTag>

  <MaxIterations>0</MaxIterations>

  <UseGPS>>true</UseGPS>
```

```
<ActionSet>

  <LogfileRecording>

    <Enable>true</Enable>

    <LogfileTag></LogfileTag>

  </LogfileRecording>

  <YouTube repeat="1" preguard="5" postguard="5" minDuration="-1" maxDuration="-1"
  maxDurationTask="Error">

    <UsePEVQS>true</UsePEVQS>

    <PredefinedPevqsVideo>Video 1</PredefinedPevqsVideo>

    <PevqsVideoQuality>HD1080</PevqsVideoQuality>

    <Video></Video>

    <StreamingDuration>120</StreamingDuration>

    <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

  </YouTube>

  <Ping repeat="1" preguard="10" postguard="10" minDuration="-1" maxDuration="-1"
  maxDurationTask="Error">

    <useIPv6>>false</useIPv6>

    <Host>www.youtube.com</Host>

    <PacketSize>56</PacketSize>

    <Timeout>1</Timeout>

    <NumberOfPings>4</NumberOfPings>

    <Interval>1000</Interval>

    <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

  </Ping>

  <YouTube repeat="1" preguard="5" postguard="5" minDuration="-1" maxDuration="-1"
  maxDurationTask="Error">

    <UsePEVQS>true</UsePEVQS>
```

```
<PredefinedPevqsVideo>Video 1</PredefinedPevqsVideo>

<PevqsVideoQuality>HD1080</PevqsVideoQuality>

<Video></Video>

<StreamingDuration>120</StreamingDuration>

<WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

</YouTube>

<LogfileUpload type="FTP" repeat="1" minDuration="-1" maxDuration="-1"
maxDurationTask="Error">

  <URL>ftp://x.x.x.x /Pocket/Pocket_Outdoor/Cnt/</URL>

  <User>xxxx </User>

  <Password>xxxx</Password>

  <WifiAssociation>>false</WifiAssociation>

  <SendFileList>>false</SendFileList>

  <LogfilesToSend>All logfiles</LogfilesToSend>

  <SplitLogfile>>false</SplitLogfile>

  <SplitLogfileSize>3</SplitLogfileSize>

  <KeepLocalCopy>>true</KeepLocalCopy>

</LogfileUpload>

<LogfileRecording>

  <Enable>>false</Enable>

  <LogfileTag></LogfileTag>

</LogfileRecording>

</ActionSet>

</PocketScript>
```