

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES Y REDES



**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRÁFICO DE UNA CENTRAL
PROTOTIPO DE ATENCIÓN DE COMUNICACIONES DE EMERGENCIA
CON INTEGRACIÓN DE ACCESO GSM-WLAN Y SOFTWARE OPENBTS-
ASTERISK PROPUESTA PARA LA UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR
ORREGO”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES Y REDES**

LINEA DE INVESTIGACION: Telecomunicaciones, Radiocomunicaciones.

AUTORES :

Br. Erick Paul Hurtado Guerrero.

Br. Alejandro Jorge Isaac Cortijo Miranda.

ASESOR :

Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez

Trujillo – Perú

2016

**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRÁFICO DE UNA
CENTRAL PROTOTIPO DE ATENCIÓN DE COMUNICACIONES DE
EMERGENCIA CON INTEGRACIÓN DE ACCESO GSM-WLAN Y
SOFTWARE OPENBTS Y ASTERISK PROPUESTA PARA LA
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO”**

Elaborado Por:

Br. Erick Paul Hurtado Guerrero

Br. Alejandro Jorge Isaac Cortijo Miranda

Aprobado por :

Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ
PRESIDENTE
CIP N° 97916

Ing. LENIN HUMBERTO LLANOS LEON
SECRETARIO
CIP N° 139213

Ing. LUIS ALVARADO RODRÍGUEZ
VOCAL
CIP N° 149200

Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N° 80252

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Telecomunicaciones y Redes para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRÁFICO DE UNA CENTRAL PROTOTIPO DE ATENCIÓN DE COMUNICACIONES DE EMERGENCIA CON INTEGRACIÓN DE ACCESO GSM-WLAN Y SOFTWARE OPENBTS Y ASTERISK PROPUESTA PARA LA UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO”**.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, Julio del 2016

Br. Erick Paul Hurtado Guerrero.

Br. Alejandro Jorge Isaac Cortijo Miranda.

DEDICATORIAS

A mis padres, por su apoyo incondicional, y por brindarme la sabiduría y sapiencia necesaria para afrontar mis metas académicas y personales.

A mis hermanos por su manera particular de comprenderme y apoyarme.

Erick Paul

A mi madre, Lila Miranda que siempre guió mi vida hasta el fin de culminar mi carrera y por su incesante sacrificio que realizó.

A mi padre en el cielo, Jorge Cortijo, que supo sembrar el hambre del estudio en mí.

A mis abuelos y familiares por el apoyo incondicional y la enseñanza inculcada.

A mis amigos de toda la vida por dar un aliciente de seguir adelante siempre.

Alejandro Jorge Isaac

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos una familia excepcional que nos ayuda y orienta en cada paso de nuestras vidas.

A todos nuestros docentes y compañeros de la carrera de ingeniería de telecomunicaciones y redes, que contribuyeron con nuestra formación académica.

A nuestro asesor de tesis, el Ingeniero Eduardo Cerna Sánchez, por guiarnos en el transcurso de esta investigación.

A todos Gracias

Resumen

La presente investigación desarrolla la determinación de tráfico de una central prototipo de atención de emergencia con el fin de determinar el tráfico capaz a soportar por la misma, mediante previa implementación de la central se desarrollaron diversas pruebas de llamadas durante un tiempo de observación de una hora, estas pruebas permitieron mediante su análisis la futura determinación de troncales equivalentes, probabilidad de bloqueo e intensidad de tráfico de la central. Con los datos obtenidos de las pruebas y de la investigación correspondiente se pudo determinar la capacidad de usuarios que podrían ser atendidos durante una situación de emergencia en la Universidad Privada Antenor Orrego Campus Trujillo de ser requerido su uso en esta institución privada.

Abstract

This research develops determining traffic of a central prototype emergency care in order to determine traffic able to support, through previous central deployment, various call tests were developed during an observation time of one hour, these tests allowed by analyzing the future determination of equivalent trunks, blocking probability and traffic intensity of the central. With the data obtained from the tests and the corresponding investigation could determine the user's capacity that could be served during an emergency situation at the Private University Antenor Orrego campus of Trujillo if required to use in this private institution.

ÍNDICE GENERAL

Acreditaciones	ii
Presentación.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
Índice	viii
Índice de Tablas.....	x
Índice de Gráficos.....	xi

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Delimitación del problema.....	13
1.3. Características y análisis del problema.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	16
1.5. Formulación de la Hipótesis	16
1.6. Objetivos del estudio	16
1.7. Justificación del Estudio	17
1.8. Limitaciones del estudio	17
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes.....	18
2.2 Bases teóricas	19
III. MATERIAL Y MÉTODOS	38
3.1. Material.....	38
3.2. Método.....	38
IV. RESULTADOS	53
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56

VI.	CONCLUSIONES.....	57
VII.	RECOMENDACIONES	58
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXO 01: Guía de Entrevista N° 01	611
	ANEXO 02: Guía de Entrevista N° 02.....	622
	ANEXO 03: Guía de Entrevista N° 03.....	633
	ANEXO 04: Cálculo para determinar la cantidad de usuarios en hora pico.....	64
	ANEXO 05: Ficha Técnica de Observación de Llamadas.....	65
	ANEXO 06: Estimación de usuarios del segmento de acceso.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas URSP N200.....	14
Tabla 2. Estructura de canales lógicos GSM.....	24
Tabla 3. Rango de frecuencias GSM.....	24
Tabla 4. Operacionalización de la Variable Independiente.....	41
Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente.....	42
Tabla 6. Prueba 1 Acceso WLAN.....	47
Tabla 7. Prueba 2 Acceso WLAN.....	47
Tabla 8. Prueba 3 Acceso WLAN.....	48
Tabla 9. Prueba 1 Acceso GSM.....	48
Tabla 10 Prueba 2 Acceso GSM.....	48
Tabla 11. Prueba 3 Acceso GSM.....	49
Tabla 12. Consolidado de Pruebas GSM.....	51
Tabla 13. Consolidado de Pruebas WLAN.....	51
Tabla 14. Consolidado de Pruebas PBX.....	52
Tabla 15. Resultados de Probabilidad de Bloqueo e Intensidad de Tráfico.....	53
Tabla 16. Erlang B Final.....	53
Tabla 17. Estimación de Usuarios WLAN.....	54
Tabla 18. Estimación de Usuarios GSM.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Jerarquía de prioridad de atención de INDECI.....	12
Figura 2. Arquitectura GSM.....	21
Figura 3. Combinación de las técnicas FDMA/TDMA.....	22
Figura 4. Arquitectura Asterisk.....	25
Figura 5. Software Defined Radio.....	31
Figura 6. Arquitectura OpenBTS.....	33
Figura 7. Tráfico transportado (Intensidad).....	36
Figura 8. Central Prototipo.....	43
Figura 9. Consola OpenBTS.....	44
Figura 10. Archivos de Configuración Sip Asterisk.....	45
Figura 11. Archivos de Configuración Extensions Asterisk.....	45
Figura 12. Scripts de Automatización.....	46
Figura 13. Línea de Código SIPP.....	50
Figura 14. Prueba PBX Asterik.....	50
Figura 15. Procesador PBX.....	50

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Todo grupo humano se encuentra afectado de una u otra manera por lo que pueda acontecer en su entorno, existen factores que pueden ser controlados y mitigados, pero el ser humano aprendió que tal vez el problema más difícil de controlar son las situaciones de emergencia generadas por el entorno que lo rodea.

Cuando se menciona la palabra situaciones de emergencia nos referimos a los diversos desastres naturales y a los actos o factores que comprometan la integridad de la persona y que por ende requieren una acción inmediata. (Real Academia Española, 2016).

Los sistemas de comunicación no se encuentran diseñados para estos casos de emergencia, solo se crean con la necesidad de comunicar a un grupo de personas en determinados tiempos, es decir que la estructura de estos sistemas no permite que todos se puedan comunicar de manera satisfactoria en una situación compleja. (Picó & Pérez, 2014, p. 10).

En América Latina, un sismo de 7.8 grados en la escala de Richter remeció al vecino país de Ecuador, precisamente según lo antes mencionado las comunicaciones fueron afectadas en diferentes aspectos, creando un problema en cuanto a la comunicación de los ciudadanos afectados con las respectivas entidades de rescate. Como en cualquier desastre existen zonas que se han visto vulneradas en mayor grado con respecto a otras por la cual las labores de reparación de los sistemas de comunicación se vuelven más tediosos y por consecuencia requieren de más tiempo para su puesta en marcha. (Yépez, 2016).

En el caso específico de Perú podemos divisar que el problema continúa, las diversas empresas de telecomunicaciones en el Perú no pueden dar abasto a la necesidad de comunicación y en el caso de las entidades que se encuentran a cargo de atender emergencias no cuentan con una capacidad de recepción adecuada de estas por lo que se limita de manera amplia la capacidad de atención de emergencias desde varios aspectos, ya sea desde la perspectiva de

la operadora de telefonía o desde las entidades que fungen la labor de atención de emergencia según sea el caso. (Olaechea, 2011).

Continuando con la problemática nacional durante una situación de emergencia, en la siguiente figura se resume la prioridad de las diferentes entidades según el INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil).

Como se observa en la figura 1 la prioridad para el INDECI son los Hospitales y centros de salud, cabe resaltar que son muy importantes porque son estas las encargadas de atender a la población que se ha visto afectada de una u otra forma; seguido de estas se encuentran las entidades educativas, estas se resaltan según el INDECI porque se tiene planeado usar sus instalaciones como refugio, y además porque cuentan posiblemente con una población primordial para este organismo del estado, encontramos también en la figura las entidades públicas que están mencionadas porque en ellas se encuentran personas importantes para el desarrollo de la población.



Figura 1. Jerarquía de prioridad de atención de INDECI

Fuente: Elaboración Propia

En la actualidad se han desarrollado diferentes software libres y hardware de bajo costo que permiten su inserción en diversos entornos, en cuanto al desarrollo en el campo de las Telecomunicaciones existen tecnologías como el SDR (Software Defined Radio) con hardware de soporte como USRP que permiten mediante sus algoritmos poder procesar los datos de un acceso de radio frecuencia. Asimismo existe software tal como OpenBTS, que implementa los estándares del protocolo GSM hacia una convergencia IP. Todo ello puede unirse a un sistema PBX softswitch basado en software libre Asterisk, para implementar sistemas de telefonía de bajo costo.

Al integrar el software Open BTS con hardware USRP, software PBX Asterisk y acceso WLAN, se obtiene una solución de telefonía de bajo costo, sin embargo no se tiene claridad respecto de los parámetros formales de capacidad de tráfico soportado.

En el año 2014 se realizó una investigación con OpenBTS en Bogotá-Colombia, y fue planteado como solución a una situación de emergencia, sin embargo no se llegaron a evaluar sus capacidades de tráfico de voz. En este entorno solo se conoce a OpenBTS como un sistema ágil que permite su inserción en diversas situaciones por el poco requerimiento de hardware y su gran modularidad que le permite acoplarse a otras tecnologías. Sin embargo, no se han realizado investigaciones sobre su integración con otros sistemas y accesos, como lo son Asterisk y WLAN/GSM además de su inserción en una situación de emergencia.

1.2. Delimitación del problema

El problema se enfoca hacia la determinación de las capacidades de tráfico según el modelo Erlang B, de un sistema integrado de acceso GSM-WLAN y software OpenBTS-Asterisk.

1.3. Características y análisis del problema

a. Incertidumbre de los parámetros operativos de un sistema con acceso WLAN/GSM basado en OpenBTS y Asterisk.

Actualmente existe un desconocimiento de los diversos parámetros operativos que resultan al integrar un sistema basado en OpenBTS, con sistemas de acceso de uso común, como lo son WLAN y GSM y centrales de conmutación basadas en software de uso libre, tales como Asterisk.

Por el lado de los software como OpenBTS y Asterisk, éstos poseen ciertas características propias como son el peso del software, su versión, lenguaje de programación en el que se desarrolló, y soporte de sistemas operativos.

En cuanto a los dispositivos de acceso WLAN, tales como los Access Point (APs), éstos poseen características técnicas que incluyen parámetros operativos tales como, potencia de transmisión, ganancia de antenas, y

velocidad de transmisión, sin embargo no se incluyen características de soporte de comunicaciones de voz.

Para Perahia y Stacey (2013) al analizar el estándar IEEE 802.11b, con velocidad máxima de 11 Mbps, considerando una codificación por cada comunicación telefónica equivalente a 64 kbps y que las cabeceras reducen la velocidad útil del estándar al 80%, se tendrían capacidades teóricas de 16 comunicaciones telefónicas simultáneas. Para el estándar IEEE 802.11g, el número aumenta a 78 comunicaciones de voz simultáneas y para el IEEE 802.11n, el número podría elevarse a 156 comunicaciones de voz. Todos estos valores teóricos, sin embargo no definen una capacidad equivalente de tráfico. Respecto de la plataforma de hardware USRP N200/N210, en la Tabla 1, se muestra la hoja técnica que brinda el fabricante Ettus Research. Puede apreciarse que la hoja muestra solo valores de la conversión analógica-digital, características de consumo de corriente, voltaje, potencia de RF; que solo hacen referencia al hardware sin considerar la tecnología de acceso que pueda ser implementada, tal como GSM.

Tabla 1. Especificaciones técnicas URSP N200

USRP N200 SPECIFICATIONS					
Spec	Typ.	Unit	Spec	Typ.	Unit
POWER			RF PERFORMANCE (W/WBX)		
DC Input	6	V	SSB/LO Suppression	35/50	dBc
Current Consumption	1.3	A	Phase Noise (1.8 Ghz)		
w/WBX Daughterboard	2.3	A	10 kHz	-80	dBc/Hz
CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS					
			100 kHz	-100	dBc/Hz
ADC Sample Rate	100	MS/s	1 Mhz	-137	dBc/Hz
ADC Resolution	14	bits	Power Output	15	dBm
ADC Wideband SFDR	88	dBc	IIP3	0	dBm
DAC Sample Rate	400	MS/s	Receive Noise Figure	5	dB
DAC Resolution	16	bits	PHYSICAL		
DAC Wideband SFDR	80	dBc	Operating Temperature	0 to 55°	C
Host Sample Rate (8b/16b)	50/25	MS/s	Dimensions (l x w x h)	22 x 16 x 5	Cm
Frequency Accuracy	2.5	ppm			
w/GPSDO Reference	0.01	ppm	Weight	1.2	Kg

Fuente: Ettus Research¹

¹ ETTUS RESEARCH (2015). USRP N200 Datasheet. Página web: http://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR.pdf

Por lo tanto al realizarse la integración de una central IP basada en software tal como Asterisk, con software SDR tal como OpenBTS, incluyendo la interfaz radio GSM a través de hardware USRP y tarjetas RFX, más la agregación de acceso WLAN por medio de puntos de acceso, se genera una incertidumbre en cuanto a los parámetros de tráfico de voz resultantes del sistema integrado.

- b. Desconocimiento de los requerimientos de tráfico de voz que podrían darse ante situaciones de emergencia.

Según el plan nacional de operaciones de emergencia, del sistema nacional de defensa civil, ambos coordinados y monitoreados por el Instituto Nacional de Defensa Civil, las fuentes de comunicación en casos de emergencia tienden dañarse o saturarse, causando problemas de comunicación para los organismos encargados de atender a la población afectada. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2007).

En el plan antes citado se mencionan también a las instituciones educativas en el segundo rango de jerarquía de atención de emergencias, ya que dentro de ellas se conglomeran un porcentaje elevado de la población.

De acuerdo a las entrevistas realizadas a los diferentes organismos involucrados en las posibles situaciones de emergencia en la Universidad Privada Antenor Orrego, estos no se encuentran conectados correctamente para atender una emergencia y posteriormente poder compartir información de vital importancia. Incluso el organismo encargado de atender emergencias de mayor magnitud, El área de Defensa Civil, se encuentra inactiva actualmente dentro del campus de la UPAO (Egúsqiza, 2016)², (Duran, 2016)³.

Para estimar la necesidad de atención en una situación de emergencia, es necesario conocer la cantidad máxima de población universitaria en una hora pico, debido a

² ANEXO 02. Entrevista realizada al Jefe de la Oficina de Bienestar Universitario de la Universidad Privada Antenor Orrego

³ ANEXO 01. Entrevista realizada al Jefe del personal de seguridad de la Universidad Privada Antenor Orrego.

que la universidad no cuenta con estos datos se procedió a realizar un cálculo aproximado que se detalla en el ANEXO 04.

1.4. Formulación del Problema

¿Cuál será la capacidad de tráfico soportada por la central prototipo de emergencias basada en OpenBTS y Asterisk con acceso GSM/WLAN?

1.5. Formulación de la Hipótesis

La realización de pruebas de llamadas de voz permite determinar la capacidad Erlang B de la central telefónica con acceso GSM/WLAN basado en OpenBTS y Asterisk.

1.6. Objetivos del estudio

1.6.1. Objetivos Generales

- Estimar a partir de mediciones de llamadas, la capacidad de tráfico que puede soportar una central telefónica con acceso GSM/WLAN basado en OpenBTS y Asterisk.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Implementar la central prototipo de atención de emergencias, con una IP-PBX Asterisk, acceso GSM basado en OpenBTS y acceso Wi-Fi basado en un punto de acceso 802.11g.
- Realizar pruebas de llamadas de voz para la central prototipo correspondientes al Acceso GSM, WLAN y al segmento de conmutación.
- Determinar las troncales equivalentes según modelo Erlang de los segmentos de acceso y conmutación
- Estimar la capacidad de usuarios de la central prototipo ante una situación de emergencia en el Campus UPAO Trujillo.

1.7. Justificación del Estudio

Este proyecto nace con la necesidad de determinar las capacidades de tráfico de una central prototipo para atención de emergencias con acceso GSM/WLAN basada en OpenBTS y Asterisk, ya que todas las tecnologías involucradas en su desarrollo cuentan con diversos y diferentes aspectos técnicos, que no han sido estimados como un sistema único.

Además de implementar una solución basada en software libre y hardware de bajo costo, que pueda ser aplicada como complemento a los actuales sistemas de comunicaciones de emergencia en las zonas más propensas o en las instituciones en las que fuese necesario su aplicación.

1.8. Limitaciones del estudio

Debido a las limitaciones en la disponibilidad de equipamiento, el acceso inalámbrico a la central de emergencias se conformará por una picocelda GSM y un punto de acceso WLAN, cuyos recursos serán determinados bajo el modelo Erlang B. En cuanto a la central de conmutación el equipamiento está limitado por una laptop core i7 con 8 Gb de RAM 256 Gb de disco duro de estado sólido bajo software libre.

Los aspectos puntuales que comprende la investigación se refieren a que la comunicación será únicamente de voz. Únicamente se analizaron los segmentos de acceso y conmutación. No se analizó el segmento de transporte.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para sustentar este proyecto de investigación se ha tomado como antecedentes diversos estudios relacionados con la aplicación y desarrollo de sistemas basados en comunicaciones inalámbricas.

- a. Vásquez, J. (2012), en su investigación “Prototipo de una estación celular portátil para atención de emergencias” refiere se propuso como objetivos el desarrollo e implementación de un prototipo de estación celular portátil con gestión de usuarios y control de llamadas usando USRP y el proyecto OpenBTS; también determinar la influencia que tiene este prototipo usado para atención de emergencias. Su estudio concluyó en comprobar el correcto funcionamiento de la microcelda GSM utilizando el softphone zoiper y celulares, llegando a un radio de cobertura de 10 metros y el funcionamiento también de los sms. Determinó que esta solución es una muy buena opción para ser usada como un sistema de respaldo ante la caída de las telecomunicaciones por un desastre natural, ya que es de bajo costo, portátil y de actuación rápida. El aporte principal al trabajo de investigación es que es un primer referente en la implementación del prototipo de estación celular y comprobar su correcto funcionamiento de las funciones básicas del prototipo de estación celular portátil; minimizando los costes y el tiempo de puesta en marcha de una estación similar.
- b. Valdivieso, A. (2011), en su investigación “Diseño de una pbx inalámbrica para la prestación de servicios de tipo fijo y móvil utilizando Wi-Fi y telefonía IP” se propuso como objetivo el diseño de una central privada inalámbrica bajo el concepto de PABX utilizando Asterisk y Wi-Fi, para FUTURA S.A, empresa ficticia estructurada y caracterizada óptimamente para la aplicación de las consideraciones de planeamiento e implementación de una red multicelular basada en micro y pico-células. Su estudio concluyó que la implementación de un nuevo sistema de

telefonía basada en IP ocasionará una drástica reducción en los costos de operación y mantenimiento de las redes de FUTURA S.A., así como también se optimizarán los servicios que la telefonía IP y el uso de tecnología no propietaria pueden ofrecer. El aporte principal al trabajo de investigación radica en el uso de algoritmos que permiten el acoplamiento de una PBX con diversos sistemas de acceso en este caso Wifi.

- c. Gaona, E. (2013), en su investigación “Medidas de calidad de voz en una red GSM sobre software libre” analiza los parámetros de calidad de una red de telecomunicaciones sobre GSM en la banda 1800, utilizada con el objetivo de montar un sistema de atención de desastres en situaciones de emergencia, empleando un USRP (Universal Software Radio Peripheral) en conjunto con sistema de telefonía IP basado en Asterisk. El USRP se encarga de emular la operación de una BTS (Base Transceiver Station) ejecutando las funciones de una PBX (Private Branch Exchange).

Las mediciones que se realizaron del desempeño de la red se realizaron a partir de tres parámetros probabilísticos: GoS (Grade of Service), DCR (Dropped Call Rate) y MOS (Mean Opinion Score). Concluyendo que con el uso de 8 terminales y con un GoS del 2% se generó un tráfico de hasta 3,6 Erlang.

Dentro de los aportes de este trabajo se destaca la metodología utilizada para medir la cobertura del USRP con la antena VERT900; la fiabilidad y calidad de las llamadas, generando los indicadores de desempeño KPI.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Redes celulares

“Una red celular está comprendida por un conjunto de equipos y software que permiten la comunicación de un punto a otro en una determinada área (CELDA), teniendo como núcleo a un sistema central que se encarga de encaminar, monitorizar, regular, optimizar y entre otras aplicaciones (BTS); estas redes se pueden acoplar formando un gran conjunto de celdas y permitiendo así maximizar

la cobertura de las operadoras dentro de un territorio determinado” (Picó & Pérez, 2014, p. 3).

2.2.2 Arquitectura GSM

Dentro de una red GSM interactúan diferentes dispositivos como se observa a continuación en la Figura 2; a la terminal del usuario se le conoce como estación móvil. “Una estación móvil está constituida por una tarjeta SIM, que permite identificar de manera única al dispositivo del usuario y por ende al mismo. Los dispositivos se identifican por medio de un número único de identificación de 15 dígitos denominado IMEI. Cada tarjeta SIM posee un número de identificación único denominado IMSI” (Picó & Pérez, 2014, p. 4).

Por lo tanto, la tarjeta SIM permite identificar a cada usuario independientemente de la terminal utilizada durante la comunicación con la estación base. Las comunicaciones entre una estación móvil y una estación base se producen a través de un vínculo de radio, por lo general denominado interfaz de aire.

Todas las estaciones base de una red celular están conectadas a un controlador de estaciones base BSC, que administra la distribución de los recursos. El sistema compuesto del controlador de estaciones base y sus estaciones base conectadas es el Subsistema de estaciones base (BSS). Por último, los controladores de estaciones base están físicamente conectados al Centro de conmutación móvil (MSC) que los conecta con la red de telefonía pública y con Internet; que es administrado por el operador de la red telefónica correspondiente. El MSC pertenece a un Subsistema de conmutación de red (NSS) que gestiona las identidades de los usuarios, su ubicación y el establecimiento de comunicaciones con otros usuarios.

Generalmente, el MSC se conecta a bases de datos que proporcionan funciones adicionales: El Registro de ubicación de origen (HLR): es una base de datos que contiene información (posición geográfica, información administrativa, etc.) de los abonados registrados dentro de la zona del conmutador (MSC). El Registro de ubicación de visitante (VLR), es una base de datos que contiene información de usuarios que no son abonados locales. El VLR recupera los datos de un usuario nuevo del HLR de la zona de abonado del usuario. Los datos se conservan mientras el usuario está dentro de la zona y se eliminan en cuanto abandona la

zona o después de un período de inactividad prolongado. El Registro de identificación del equipo (EIR), es una base de datos que contiene la lista de terminales móviles. El Centro de autenticación (AUC), verifica las identidades de los usuarios. La red celular compuesta de esta manera está diseñada para admitir movilidad a través de la gestión de trasposos, Handover permitiendo así la movilidad entre las diferentes celdas. Finalmente, las redes GSM admiten el concepto de roaming, estas permiten que exista una convergencia de las diversas operadoras. (Picó & Pérez, 2014, pp. 7-9).

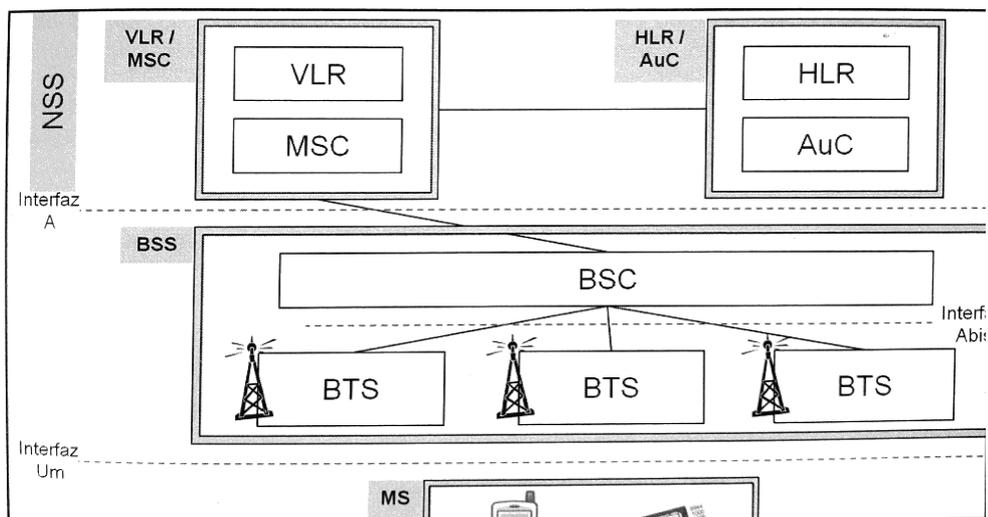


Figura 2. Arquitectura GSM

Fuente: (Picó & Pérez, 2014)

En la Figura 3 se muestra la combinación de las técnicas FDMA/TDMA, el multiplexado en el tiempo origina canales lógicos que se subdividen en canales de control y canales de tráfico. Los canales de control se utilizan en la administración del funcionamiento de la red GSM. Por su parte, los canales de tráfico son utilizados para el transporte de voz o datos de usuario. Los canales lógicos son utilizados para propósitos específicos de la comunicación entre la BTS y la MS y pueden ser divididos en tres categorías: canales de tráfico, canales de control dedicados y canales de control no dedicados. Para la transmisión por estos canales se definen los multiframe de canales de control y los multiframe de canales de tráfico. Los multiframe de canales de control se componen de 51 frames TDMA y los multiframe de canales de tráfico se componen de 26 frames TDMA.

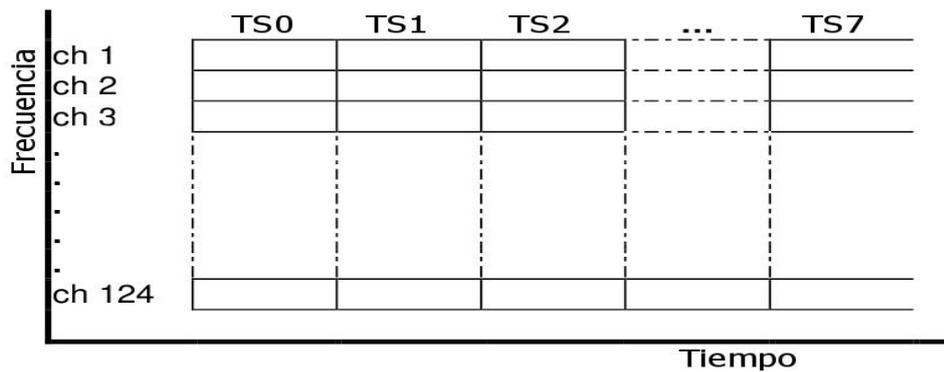


Figura 3. Combinación de las técnicas FDMA/TDMA

Fuente: GSM-Radio Interface⁴

La información viaja a través de diferentes tipos de canales que según (Picó & Pérez (2014) son los siguientes:

Canales de tráfico

- TCH/F (Traffic Channel Full Rate, Canal de Tráfico de Tasa Completa): utilizado para transmitir información a y desde el usuario. La información puede ser voz codificada y comprimida o datos como mensajes de texto. Para la transmisión de voz por este canal la velocidad es de 13 Kbps y las velocidades para la transmisión de datos son 14.4 Kbps, 9.6 Kbps, 4.8 Kbps y menor o igual a 2.4 Kbps.
- TCH/H (Traffic Channel Half Rate, Canal de Tráfico de Tasa Media): utilizado para transmitir información a y desde el usuario ocupando la mitad del ancho de banda que el TCH/F, la velocidad para la transmisión de voz codificada y comprimida es de 5.6 Kbps y las velocidades para la transmisión de datos son 4.8 Kbps y menor o igual a 2.4 Kbps.

Canales de control dedicados

- SDCCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*, Canal de Control Dedicado Independiente): Es un canal de señalización usado para la configuración inicial de una llamada, registro, envío y recepción de mensajes cortos SMS y actualización de la posición entre la MS y la BTS.

⁴ GSM-Radio Interface. Página web: http://www.aws.cit.ie/personnel/dpesch/notes/msc_sw/gsm_radio_interface.pdf

- **FACCH** (*Fast Associated Control Channel*, Canal de Control Asociado Rápido): Es un canal de señalización asociado al canal de tráfico, transmite señalización de manera inmediata o urgente como por ejemplo la petición de un traspaso.
- **SACCH** (*Slow Associated Control Channel*, Canal de Control Asociado Lento): Es un canal de señalización asociado al canal de tráfico o a un SDCCH, usado para controlar y supervisar la comunicación entre la MS y la BTS. Por este canal se envía Información sobre la potencia transmitida y recibida e instrucciones de temporización.

Canales de control no dedicados

- **BCCH** (*Broadcast Control Channel*, Canal de Control de Difusión): Este canal es usado para transmitir información de los parámetros de identificación del sistema necesarios para el acceso a la red. Los parámetros incluyen el LAC, el MCC/MNC, las frecuencias de las celdas vecinas y parámetros de acceso.
- **SCH** (*Synchronization Channel*, Canal de Sincronización): En este canal se transmite información de sincronización e identificación de la BTS. Es usado por la MS en la recepción para la sincronización de los frames y de esta forma conocer el tipo de información transmitida en cada intervalo de tiempo.
- **FCCH** (*Frequency Correction Channel*, Canal Corrección de Frecuencia): Por este canal se transmite la señal portadora sin modular. Es usado por la MS para sincronizar su frecuencia interna con la frecuencia exacta de la BTS.
- **CCCH** (*Common Control Channels*, Canales de Control Común): sirven para regular el acceso de la MS a la red. Se utilizan para la búsqueda y asignación de canales de señalización a la MS.
- **RACH** (*Random Access Channel*, Canal de Acceso Aleatorio): Canal utilizado por la MS para intentar acceder a la red solicitando un canal SDCCH de la BTS. Esta es la primera petición hecha por la MS para acceder a la red. Es importante mencionar para el desarrollo de este proyecto los rangos de frecuencia según la tipología GSM, para lo cual en la siguiente imagen podemos observar las frecuencias de uplink, downlink, entre otros indicadores pertinentes para el desarrollo de nuestro proyecto.

Tabla 2. Estructura de canales lógicos GSM

CANALES DE TRÁFICO (EB ↔ M)	
VELOCIDAD COMPLETA TCH/F	VOZ Y DATOS
VELOCIDAD MITAD TCH/H	
CANALES DE CONTROL (Señalización)	
DIFUSIÓN (BCH) (EB → M)	FCCH (Corrección de frecuencia)
	SCH (Sincronización)
	BCCH (Control general de móviles)
CONTROL COMÚN (CCCH)	PCH (Canal de llamada) (EB → M)
	RACH (Acceso aleatorio) (EB ← M)
	AGCH (Asigna acceso) (EB → M)
CONTROL DEDICADO (DCCH) (EB ↔ M)	SDCCH (Control dedicado)
	SACCH (Canal asociado lento)
	FACCH (Canal asociado rápido)
RADIODIFUSIÓN EN UNA CÉLULA (CBCH) (EB → M)	

Fuente: Universidad Politécnica de Madrid⁵

En la Tabla 2 se pueden observar los canales lógicos GSM, los cuales se encuentran divididos en canales de tráfico y de control.

Tabla 3. Rango de frecuencias GSM

	GSM450	GSM850	GSM900	GSM1800	GSM1900
Rango frecuencia <i>uplink</i>	450 a 458 MHz	824 a 849 MHz	890 a 915 MHz	1710 a 1785 MHz	1850 a 1910 MHz
Rango frecuencia <i>downlink</i>	460 a 468 MHz	869 a 894 MHz	935 a 960 MHz	1805 a 1880 MHz	1930 a 1990 MHz
ARFCN	259 a 293	128 a 251	1 a 124	512 a 885	512 a 810
<i>Offset</i>	10 MHz	45 MHz	45 MHz	95 MHz	80 MHz

Fuente: GNU-RADIO⁶

En la Tabla 3 se muestran los rangos de frecuencias GSM con sus respectivas frecuencias de subida y de bajada.

⁵ Universidad Politécnica de Madrid. Página web: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Presentaciones/GSM-07.pdf>

⁶ GNU-RADIO. Página web: http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTSIntroduction_To_GSM

2.2.3. Telefonía IP

El principal fundamento de la telefonía IP es conjugar dos tipos de transmisión históricamente separados como lo son la voz y los datos. La idea es poder transportar la voz, anteriormente convertida a datos entre dos puntos distantes. Esto hace posible el uso de las redes de datos para efectuar llamadas telefónicas y poder desarrollar una red única que pueda cursar diferentes tipos de comunicación siendo indiferente si es de voz o de datos (Digium, 2016).

Asterisk

Asterisk es una de las principales plataformas de telefonía en código abierto, permitiendo el uso un ordenador cualquiera como servidor de comunicaciones VoIP, al ser una solución Open Source en la actualidad existe mucha información acerca de su uso y de sus diversas aplicaciones en diversos contextos.

Una de las principales características de Asterisk es su flexibilidad ya que permite la creación de un dial plan en diversos lenguajes que puedan ser soportados e interpretados por GNU/Linux. (Digium, 2016, párr. 2). La Figura 4 muestra una representación gráfica de la estructura de asterisk.

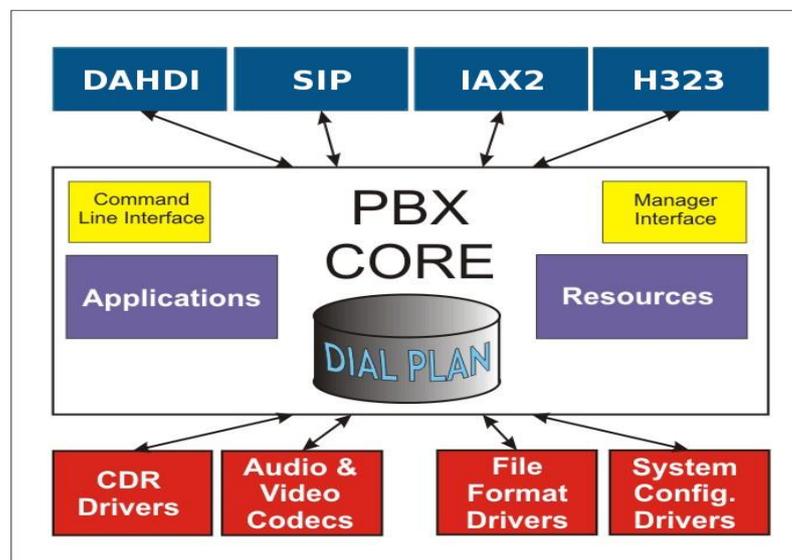


Figura 4. Arquitectura Asterisk

Fuente: WikiAsterisk (2014)⁷

⁷ WikiAsterisk. Pagina web: <http://www.wikiasterisk.com/>

Arquitectura

La arquitectura de Asterisk es totalmente independiente de los dispositivos y troncales externas a la central, esto permite que cualquier dispositivo sea adecuado fácilmente ya que se administra como si fuera parte de una extensión interna. Según Digium (2016), la arquitectura se divide en tres áreas que funcionan conjuntamente: los módulos, las interfaces y el Dialplan, los cuáles se explican a continuación:

Los módulos

Asterisk está basado en módulos independientes que pueden ser modificados o cambiados sin alterar o afectar directamente todas las funcionalidades según sea el caso.

Los módulos que se precisan en este caso son los que están involucrados en este proyecto.

Aplicaciones

Las aplicaciones son las acciones que se pueden ejecutar dentro del plan de marcado (Dial Plan), se encuentran desarrolladas solo para dar funcionalidad y flexibilidad a los canales. Las aplicaciones más comunes son: Dial, que se ejecuta para iniciar una llamada; VoiceMail, que se encarga de gestionar el Buzón de Voz; Record, que se usa para grabar el sonido en un determinado canal.

Recursos

La funcionalidad específica de los recursos, permite integrar Asterisk con otros sistemas externos, como pueden ser bases de datos, servidores web, calendarios, etc. El recurso más común es el Music On Hold, que permite lanzar música cuando se requiera, otro recurso muy utilizado es la interconexión con bases de datos mediante ODBC.

Funciones del DialPlan

La idea fundamental detrás de las Funciones es la capacidad de obtener o añadir, determinada información específica a cada canal. Suelen ser complementarias a las Aplicaciones y son capaces de ofrecer mejoras para determinados aspectos del sistema que de por si pudieran ser limitados.

Drivers de Canales

Son los drivers específicos para cada tipo de canal disponible actualmente o en un futuro para Asterisk. Estos son los que aportan específicamente la posibilidad de volver totalmente independiente el sistema de los mismos para así poder tratarlos de forma totalmente homogénea. Son exactamente una especie de interfaz entre el núcleo de Asterisk y la parte "lógica" dentro del sistema operativo. Es exactamente un API.

Entre los ejemplos típicos tenemos DAHDI, SIP e IAX, que justamente son los más utilizados por la comunidad Asterisk. El resto no está lo suficientemente difundidos, aunque cuentan con soporte y se van haciendo más robustos con el transcurrir del tiempo, como el específico para tratar con estaciones Cisco, llamado como su protocolo propietario, Skinny (SCCP).

Traductores de Codecs y Formatos

Son la representación para los sistemas de audio y vídeo digitales de transmisión (Codecs) y almacenamiento (formatos); son los encargados de convertir vía software, entre un tipo y otro tipo de formato o códec de forma simultánea al curso de la llamada.

Por ejemplo, si una llamada, viene del canal DAHDI, con el códec G.711 (*alaw* o *ulaw* dependiendo del país) y quiere pasarse a una extensión SIP dentro de nuestro sistema Asterisk, el traductor correspondiente será el encargado de realizar esta conversión en tiempo real.

Por otro lado, si lo que estamos tratando son archivos, los encargados de interpretar el contenido para pasarlo a través del audio del canal correspondiente serían los traductores de Formatos. En este ámbito los más populares son los estándares, GSM y WAV en los que están basados la mayor parte de los sonidos por defecto del sistema Asterisk.

Interfaces

Asterisk se despliega y comunica con el entorno a través de múltiples interfaces que este provee, tanto para trabajos de gestión y mantenimiento manuales, como para su autogestión de forma estática, y sistemas externos que puedan recabar datos de forma dinámica y automática, y finalmente pasando a ofrecer interfaces para poder trabajar con lenguajes de programación que provean a su vez al sistema de nuevas funcionalidades extra que no estén construidas en su interior. Las interfaces se pueden dividir en cuatro estructuras básicas: Ficheros de Configuración, interfaz de Comandos (CLI), interfaz Pasarela (AGI), interfaz de Gestión (AMI).

Ficheros de Configuración

Todos se encuentran en la ruta de instalación por defecto de Asterisk, que suele ser en la mayor parte de los casos `/etc/asterisk`. Suele existir un fichero de configuración que "soporte" la funcionalidad específica que puede aportar al sistema un módulo específico, y suelen acabar con el formato `.conf`, como podría ser el caso de `chan_dahdi.conf`, que como se mencionó anteriormente, sería el fichero encargado de ofrecer toda la configuración específica para el módulo encargado de gestionar el canal dedicado a DAHDI.

Interfaz de Comandos (CLI)

Esta es la interfaz, que se considera como la consola de administración del sistema, por lo cual posee diversas funcionalidades y se encuentra enlazada a cada una de las diferentes interfaces, funciones, aplicaciones, etc.

Interfaz Pasarela (AGI)

Muy parecido al uso de Aplicaciones, disponemos de esta pasarela para poder ejecutar servicios en los canales, pero basados en otros lenguajes de programación diferentes a la estructura de Asterisk. Existen librerías AGI prácticamente para todos los lenguajes más populares como pueden ser, PHP, Python, Java, Ruby on Rails, etc.

Esto permite el desarrollo desde otros lenguajes de programación permitiendo a Asterisk adaptarse a las diferentes estructuras o funcionalidades propuestas por cada uno de estos lenguajes.

Interfaz de Gestión (AMI)

En la mayor parte de las PBX más populares, existe un componente para poder ofrecer nuevas funcionalidades al sistema original a través de sistemas de procesamiento autónomos u ordenadores. Este recurso suele llamarse CTI (Computer Telephony Integration), y por regla general suele ser bastante limitado, ya que su potencial suele radicar en la cantidad de información que seamos capaces de extraer del mismo.

En Asterisk este CTI es llamado AMI, y su potencial es prácticamente ilimitado ya que podemos recoger

prácticamente cualquier elemento interno en función de la configuración que apliquemos al mismo. Principalmente recibe todos aquellos comandos que sean capaces los módulos del sistema de aportar a la interfaz.

Los sistemas como marcadores predictivos, gestores de llamadas, sistemas de facturación, etc. se fundamentan en esta interfaz.

Dial Plan

El dial plan es la columna de Asterisk, mediante este se pueden gestionar las llamadas, crear funcionalidades específicas, generar jerarquías para las llamadas, entre otra variedad de cosas. Existen tres formas de diseñar el dialplan:

- A través de un fichero de configuración simple
- Utilizando AEL (Asterisk Extension Logic)
- Mediante el lenguaje de programación LUA

Cada una de estas formas distintas contempla las diversas funcionalidades de Asterisk, por lo que el uso de estas depende más del usuario.

2.2.4. Software Definido por Radio

Según Madani & Alonistioti (2003) el SDR (Software Defined Radio) es la radio en el que todas o algunas de las funciones de la capa física son definidas por software", en su libro se divide al SDR en dos partes SDR Radio y SDR Software, haciendo las características de uno y otro imprescindibles para su uso como un sistema SDR, donde resalta lo siguiente:

SDR Radio

El SDR Radio es la parte del hardware que incorpora diversos componentes que dan funcionalidades de acceso al sistema SDR, existen diversos equipos modulares que implementan esta tecnología como por ejemplo el Universal Software Radio

Peripheral en sus diferentes series según sea la frecuencia y el uso para el que se destine el sistema.

SDR Software

El SDR Software es parte lógica del sistema SDR, que mediante sus comandos permite variar las funcionalidades del SDR Radio, se pueden variar funcionalidades como cambio de frecuencia, cambio de canales, identificadores, entre otros. Algunos software SDR son: GNUradio, OpenBTS, rfnoc, labview, entre otros. En la figura 5 se puede observar la estructura básica de un SDR.

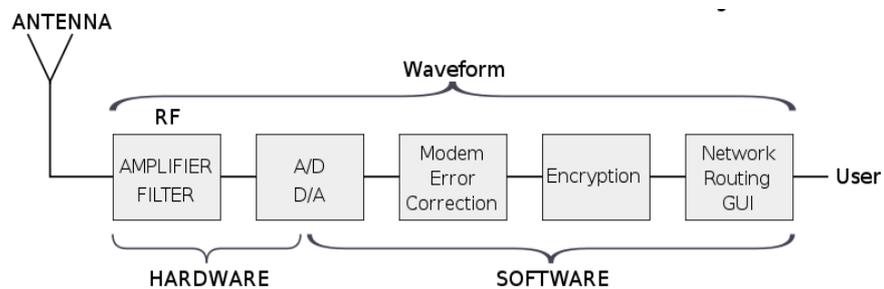


Figura 5. Software Defined Radio

Fuente: (Dillinger, Madani, & Alonistioti, 2003)

2.2.5 Periférico Universal Software de Radio

Universal Software Radio Peripheral (USRP), desarrollado por Matt Ettus, que a pesar de ser comercializado se encuentra licenciado como Hardware Abierto y puede ser construido siempre que se tengan los conocimientos necesarios. USRP es, en esencia, un equipo de comunicaciones basado en software, una pieza de hardware relativamente convencional -otro ordenador camuflado- capaz de recibir y transmitir señales de radiofrecuencia en un gran número de bandas.

Esto es posible gracias a una especie de “plug in” por hardware, pequeñas tarjetas de circuito impreso que le permiten al USRP lidiar con transmisiones de televisión, de telefonía móvil, bluetooth, estaciones de radioaficionados o, prácticamente, lo que se necesite. Juntando las bondades de USRP y un software como Asterisk, el programa de software libre que proporciona funcionalidades de una central telefónica, se puede crear una pequeña red de telefonía GSM que funcione sobre las frecuencias

acostumbradas (850/900/1800/1900 MHz). En esta red USRP proporcionaría el soporte a las señales, y Asterisk haría las veces de “operadora”, gestionando las llamadas entre los móviles. Lo más interesante de todo esto es que no se trata de una posibilidad teórica, sino de algo que está siendo utilizado. El equipo de Burgess y Samra ha hecho varias pruebas con éxito, incluso proporcionando cobertura a decenas de usuarios ubicados en un desierto, sitio en el que por supuesto no existía cobertura celular de ninguna empresa comercial. Para poder hacer esto basta con instalar una antena, conectarla al USRP y registrar los móviles que integrarán la red en Asterisk. Utilizando servicios de Voz sobre IP se puede incluso realizarse llamadas a la PSTN que permitiría a su vez realizar comunicaciones cotidianas. (Ettus Research, 2015).

2.2.6. Open BTS

OpenBTS es un proyecto de código abierto puesto en marcha por David A. Burgess y Harvind S. Samra, ambos pertenecientes a una organización denominada Kestrel Signal Processing, que utiliza software y hardware libre para crear una infraestructura abierta capaz de ofrecer servicios de telefonía móvil sin necesidad de una operadora tradicional.

Gracias a este proyecto se puede montar una red de comunicaciones móviles; para entender cómo funciona El Proyecto OpenBTS hay que tener en cuenta que toda la información que se envía o comparte entre dos dispositivos móviles es transportada a través de ondas de radiofrecuencia; las mismas que hacen posible la comunicación en otras áreas como la televisión, radio, wifi, GSM, entre otras. Cada uno de estos servicios utiliza un rango de frecuencias propio que evita por ende la interferencia con los demás.

Para que exista un orden en cuanto a las radiofrecuencias, las áreas encargadas de las comunicaciones en cada gobierno asignan a diferentes operadoras o servicios un rango de frecuencias basadas en estándares internacionales, a diferencia de otras que permanecen libres para ser utilizadas sin perjuicio alguno. (GNU RADIO, 2010).

Arquitectura OpenBTS

El sistema se basa en un ordenador con Linux y un dispositivo llamado Universal Software Radio Peripheral (USRP) que se conecta al ordenador. Al juntarse, se crea una señal que es idéntica a cualquier otra señal GSM, el estándar de telefonía móvil más popular en todo el mundo.

A partir de ahí entra en juego el conocido software Open Source Asterisk, gracias al cual podemos convertir el ordenador en una centralita (PBX) que enruta las llamadas correctamente. (GNU RADIO, 2010)

En la figura 6 se observa la representación gráfica de la arquitectura de OpenBTS.

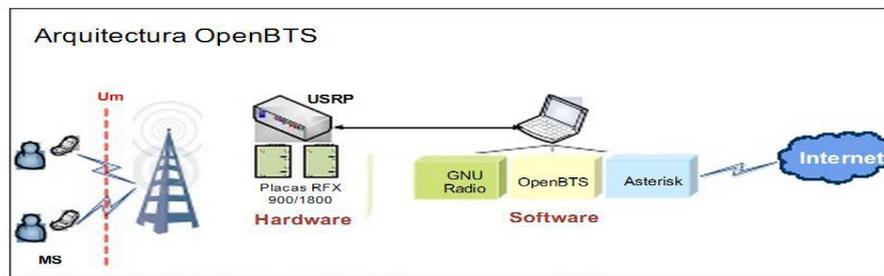


Figura 6. Arquitectura OpenBTS

Fuente: Linux-Party⁸

En este caso los principales elementos que integran el sistema son:

- **Terminal:** Se trata de un terminal celular GSM convencional.
- **Sistema radiante:** Formado por la antena, su estructura soporte y el cable coaxial que la conecta con la siguiente sección.
- **Radio Transceptor USRP:** Se trata de un emisor y un receptor basado en un desarrollo de radio definida por software (Universal Software Radio Peripheral) que por su naturaleza abierta permite la adaptación a las frecuencias y modos de trabajo que mejor se adapten a la zona en la que se va a desplegar la red. Dependiendo de la potencia con la que se vaya a trabajar y la configuración de antenas, se utilizarán o no elementos

⁸ Linux-Party. Página Web:
<http://www.linux-party.com/modules.php?name=News&file=article&sid=7262/>

auxiliares como amplificadores de potencia, combinadores, diplexores, filtros y demás a paralajes de radiofrecuencia.

- **VoIP PBX:** Se trata de un PC estándar en el que se ejecuta la aplicación “OpenBTS” y la centralita digital de voz sobre IP Asterisk. OpenBTS utiliza Asterisk no solamente para manejar las llamadas de voz sobre IP sino también para autenticar los usuarios. Cada usuario se ha de registrar en el fichero sip.conf con su correspondiente IMSI.

Es evidente que una célula básica permite la comunicación entre solamente los terminales que se encuentran dentro del área de cobertura de la estación base, por tal motivo es fundamental realizar un buen estudio de propagación y adecuar los elementos de radiofrecuencia de la instalación al entorno y cobertura que se pretende conseguir. (GNU RADIO, 2010)

2.2.7 WIFI

Es una tecnología que permite la comunicación inalámbrica de dispositivos que cuenten con la capacidad de usarla, haciendo más sencilla la conectividad de diversos usuarios frente a un solo equipo; como mencionábamos anteriormente este servicio se encuentra en un rango de frecuencias libre y por ende puede ser utilizada para la necesidad de este proyecto.

Uno de los estándares más comercializados y por consecuencia más utilizado en diversos dispositivos es el estándar 802.11g el cual será utilizado para nuestra investigación. (Abate, 2009)

IEEE 802.11g

Según Perahia & Stacey (2013) El estándar IEEE 802.11g utiliza la banda de 2,4 Ghz (al igual que 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, que en promedio es de 22,0 Mbit/s de velocidad real de transferencia. El esquema de modulación usado es OFDM, copiado del 802.11a.

2.2.8. Teoría de Tráfico

Las Unidades de Tráfico y los “Erlangs”.

Según Denmark (2001) la palabra tráfico es usada en esta teoría para denotar la intensidad de flujo de paquetes que circulan en una red de telecomunicaciones y los subdivide en los siguientes elementos:

Intensidad de Tráfico

La intensidad de tráfico instantánea en un sistema de Telecomunicaciones compuesto por un conjunto de recursos (como servidores, circuitos, líneas, troncales, canales, etc.) es el número de recursos ocupados en un instante de tiempo dado. Se denota por la función $n(t)$.

Unidad de medida de tráfico (UT).

La unidad de medida de la intensidad del tráfico $n(t)$ es un sistema de telecomunicaciones se denomina el **Erlang**. Su forma abreviada de escritura es **E** o **Erl**. Un Erlang representa el uso continuo de un canal de voz, pero en realidad se usa para medir el volumen de tráfico en una hora. Los Erlangs son adimensionales.

Intensidad media del tráfico en el periodo T

En un periodo de tiempo T en el cual la intensidad del tráfico está dada por $n(t)$, la intensidad media del tráfico se define como $Y(T) \equiv \frac{1}{T} \int_T n(t) dt$

Tráfico transportado A_c

Denotado por $Y \equiv A_c$ corresponde al tráfico transportado (cursado) por el grupo de servidores en el periodo de tiempo T . Nótese que el tráfico transportado nunca excede al número de canales (líneas) y que un canal puede a lo mucho transportar un Erlang. En la Figura 7 se muestra de manera gráfica la intensidad del tráfico transportado.

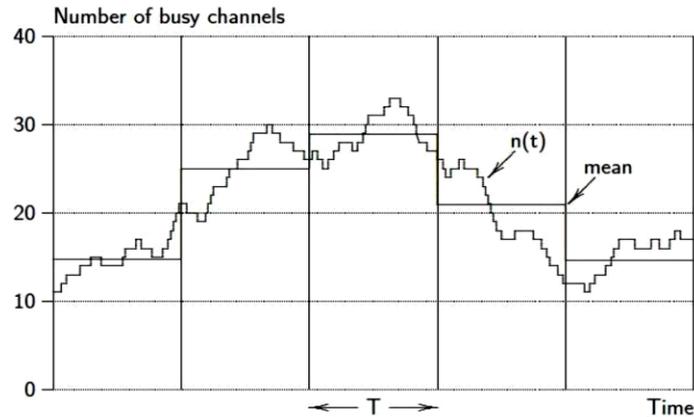


Figura 7. Tráfico transportado (Intensidad)

Fuente: Technical University of Denmark (Denmark, 2001)

Volumen de Tráfico transportado

El tráfico total transportado en un periodo de tiempo T se denomina un volumen de tráfico transportado. Este volumen se mide en Erlangs–Horas (Eh). Dependiendo del sistema en estudio, es posible hablar mejor de Erlangs-Segundos. Obsérvese que el volumen es igual a la suma de los tiempos de ocupación del sistema durante el periodo T .

Tráfico Ofrecido A

Corresponde al tráfico transportado cuando no hay solicitudes rechazadas a causa de falta de capacidad del sistema. Es decir cuando el número de servidores es ilimitado. Equivalentemente, el tráfico ofrecido se define como el número promedio de intentos de utilización del sistema (Canal) por el tiempo medio de ocupación. Matemáticamente hablando se expresa como $A = \lambda \cdot s$ donde λ es intensidad de los intentos (llamadas) y s es el tiempo medio de servicio.

En este último caso es necesario tener cuidado pues las unidades de tiempo de ambos parámetros debe ser igual. Esta expresión también muestra de una manera más sencilla que la unidad de tráfico no tiene dimensiones. También puede observarse que esta medida es teórica y no puede ser calculada de forma exacta para un sistema simplemente se puede estimar.

Tráfico Perdido o rechazado A_l

El tráfico perdido en un sistema de telecomunicaciones corresponde a la diferencia entre el tráfico Ofrecido y el tráfico transportado. Esto es $A_l \equiv A - A_c$. Claramente, el tráfico perdido se puede disminuir al incrementar la capacidad del sistema.

Cálculo del tráfico

Si un grupo de personas hacen 30 llamadas en una hora y cada llamada tiene una duración de 5 minutos, dicho grupo ha tenido un tráfico de 2,5 Erlangs. Esta cifra resulta de lo siguiente:

Minutos de tráfico en una hora = número de llamadas x duración

Minutos de tráfico en esa hora = 30×5

Minutos de tráfico en esa hora = 150

Horas de tráfico por hora = $150 / 60$

Horas de tráfico por hora = 2.5

Valor del Tráfico = 2.5 Erlangs

Las medidas de tráfico Erlang sirven para que los diseñadores de redes entiendan bien las pautas de tráfico que se produce en su red y, en consecuencia, diseñen la topología adecuada y dimensionen bien los enlaces.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1 Población

La población está delimitada por los usuarios que tengan acceso al radio de transmisión WLAN-GSM y que cuenten con los dispositivos mínimos requeridos.

3.1.2. Muestra

La muestra se encuentra ceñida por la capacidad de los equipos y los datos técnicos permisibles, a su vez definidas por todas las observaciones de llamadas posibles de realizar en el segmento de acceso y conmutación del sistema integrado de acceso GSM/WLAN basado en OpenBTS y Asterisk.

Para el segmento de acceso se realizaron observaciones cada minuto a una población de 21 usuarios durante una hora, resultando un total de 1260 observaciones, lo cual constituye nuestra muestra para el segmento de acceso.

Para el segmento de conmutación mediante el empleo de herramientas de software se realizaron 29000 llamadas lo cual constituirá la muestra para el segmento antes mencionado.

3.1.3. Unidad de Análisis

Datos resultantes de las pruebas de llamadas realizadas.

3.2. Método

3.2.1. Nivel de Investigación

El presente proyecto se rige en una investigación de tipo descriptiva ya que se enfoca en la medición de las características de un hecho.

3.2.2. Diseño de Investigación

El presente diseño se rige en una investigación de campo ya que los datos obtenidos de la realidad estudiada, no presentaran ninguna modificación en cuanto a su estructura o sus variables.

Por consiguiente se desarrollaron los siguientes procesos:

- Se implementará la central prototipo de atención de emergencias, procediendo a instalar los software respectivos (OpenBTS- Asterisk), luego se acoplaran los hardware de acceso GSM-WLAN.
- Se realizarán pruebas de llamadas que permitan la medición de tráfico de la central prototipo en el segmento de acceso y en el segmento de conmutación.
- Se procederá a determinar las troncales equivalentes según el modelo Erlang B de los segmentos de acceso y conmutación.
- Se aplicará una comparativa entre la capacidad de tráfico obtenida por central prototipo de emergencia y la capacidad requerida ante una situación de emergencia en el Campus Trujillo de la Universidad Privada Antenor Orrego.

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

V.I. Pruebas de llamadas de voz

Indicadores

- Llamadas totales segmento de acceso GSM.
- Llamadas exitosas segmento de acceso GSM.
- Llamadas fallidas segmento de acceso GSM.
- Volumen de tráfico de pruebas de llamadas GSM
- Llamadas totales segmento de acceso WLAN.
- Llamadas exitosas segmento de acceso WLAN.
- Llamadas fallidas segmento de acceso WLAN
- Volumen de tráfico de pruebas de llamadas WLAN
- Llamadas totales segmento de conmutación.
- Llamadas exitosas segmento de conmutación.

- Llamadas fallidas segmento de acceso conmutación
- Volumen de tráfico de pruebas de llamadas segmento conmutación.

V.D. Capacidad de Tráfico Erlang B

Indicadores

- N° troncales equivalentes del segmento de acceso GSM.
- N° troncales equivalentes del segmento de acceso WLAN.
- N° troncales equivalentes del segmento de conmutación.

Tabla 4. Operacionalización de la Variable Independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento	Formula	Unidades
Pruebas de llamadas de voz	Se refiere a la realización de llamadas voz empleando acceso GSM/WLAN y conmutación basada en un servidor IP PBX Asterisk dentro de un tiempo de observación establecido de 1 hora.	Llamadas segmento de acceso	Llamadas totales	Guía de observación	-	N° llamadas
			Llamadas exitosas		-	N° llamadas
			Llamadas fallidas		-	N° llamadas
			Volumen de tráfico		-	min
		Llamadas segmento conmutación	Llamadas totales	Guía de observación	-	N° llamadas
			Llamadas exitosas		-	N° llamadas
			Llamadas fallidas		-	N° llamadas
			Volumen de tráfico		-	min

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento	Fórmula	Unidades
Capacidad de Tráfico voz	Se refiere a las troncales de voz equivalentes que han logrado determinarse en el segmento de acceso y el segmento de conmutación	Capacidades Erlang B	Troncales equivalentes Segmento de Acceso WLAN	Estimación analítica	-	N° troncales Erlang B
			Troncales equivalentes Segmento de Acceso GSM	Estimación analítica	-	N° troncales Erlang B
			Troncales equivalentes segmento de conmutación	Estimación analítica	-	N° troncales Erlang B

Fuente: Elaboración Propria

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

- a. Implementación de la central prototipo de atención de emergencias, basada en OpenBTS-Asterisk con acceso GSM-WLAN.

La central prototipo de atención de emergencia se encuentra conformada por un segmento de conmutación y un segmento de acceso. El segmento de conmutación se encuentra constituido por los software OpenBTS y Asterisk con sus diversas funcionalidades que se encuentran instalados en una laptop HP Core i7 con un sistema operativo Ubuntu 14.04 LTS. En cuanto al segmento de acceso GSM se conforma por un USRP N200 con dos antenas, una omnidireccional VERT900 y otra antena sectorial Kathrein800; el segmento de acceso WLAN está compuesto por un Access Point TPLINK TL-WA901ND.

Todos estos elementos tienen la necesidad de compartir una misma red para poder comunicarse, por lo que se emplea un Switch GigaBit Ethernet DLINK DGS-1005 para interconectarlos.



Figura 08. Central Prototipo

Fuente: Elaboración Propia

Se implementó la central prototipo de atención de emergencias, procediendo a instalar los software respectivos, en primer lugar se

instaló OpenBTS siguiendo los lineamientos básicos que se encuentran en su página oficial.(GNU RADIO, 2010).

En la Figura 09 se observa la consola de OpenBTS donde se pueden modificar sus diversos parámetros como frecuencia, identificadores, canales, potencias de transmisión, potencias de recepción, entre otros.

```

root@alex-virtual-machine: ~/dev/open...  root@alex-virtual-machine: ~/dev/open...  root@alex-virtual-machine: ~/de
0 0 SDCCH/4-3 - 0 0.00 - - - - 0:0 n
o-MMChannel
0 1 TCH/F T127 18 36.7 0.00 -0.6 15 -64 0.00 12:21 7
16152501902578
0 2 TCH/F T128 25 42.4 0.00 -0.3 9 -64 0.00 12:16 7
16060614403726
0 3 TCH/F T129 20 43.5 0.00 -0.2 13 -59 0.00 11:9 7
16060803048275
0 4 TCH/F T130 16 36.9 0.00 -0.5 15 -64 0.00 11:3 7
16060019950660
0 5 TCH/F T135 17 44.7 0.00 -0.3 17 -64 0.00 5:39 7
16060802346007
0 6 TCH/F T138 11 40.1 0.04 -1.0 19 -68 0.00 1:58 7
16170006427663
0 7 TCH/F - 3.31 0.48 - - - - 0:0 n
o-MMChannel

OpenBTS> Processing signal vector for sig 28
Done processing signal vector for sig 28
Rethrowing signal 28
system call during CLI select loop: Interrupted system call

OpenBTS>
OpenBTS> chans -a
CN TN chan transaction Signal SNR FER TA TXPWR RXLEV_DL BER_DL Time IMSI
type id dB pct sym dBm dBm pct
0 0 SDCCH/4-0 8 124 0.00 -0.1 33 -71 0.00 0:0 no-MMChannel
0 0 SDCCH/4-1 24 89.6 0.00 -0.2 23 -87 0.00 0:0 no-MMChannel
0 0 SDCCH/4-2 - 0 0.00 - - - - 0:0 no-MMChannel
0 0 SDCCH/4-3 - 0 0.00 - - - - 0:0 no-MMChannel
0 1 TCH/F T127 14 43.3 0.00 -0.5 19 -72 0.00 13:19 716152501902578
0 2 TCH/F T128 6 43.2 0.00 0.1 27 -81 0.00 13:14 716060614403726
0 3 TCH/F T129 19 46.8 0.00 -0.2 13 -59 0.00 12:7 716060803048275
0 4 TCH/F T130 18 43.3 0.00 -0.4 15 -62 0.00 12:1 716060019950660
0 5 TCH/F T135 20 41.8 0.00 -0.2 13 -60 0.00 6:37 716060802346007
0 6 TCH/F T138 10 45.5 0.15 -0.9 23 -65 0.00 2:56 716170006427663
0 7 TCH/F - 3.31 0.48 - - - - 0:0 no-MMChannel

OpenBTS>

```

Figura 09. Consola OpenBTS

Fuente: Elaboración Propia

Continuando con la implementación se procedió a instalar Asterisk igualmente siguiendo los lineamientos básicos que se encuentran en la página de su distribuidor oficial. (Digium, 2016).

Se creó un IVR (Interactive Voice Response) para la futura realización de pruebas de llamadas, con el objetivo de simular la comunicación entre dos usuarios.

Para automatizar los procedimientos de ambos software se procedió a elaborar scripts que permitieron en el caso de los dispositivos GSM agilizar su proceso de inserción al DialPlan de Asterisk mediante el ingreso de su IMSI y su respectivo anexo.

Por el lado de los dispositivos que usan tecnología WLAN solo se optimizó su procedimiento de inserción por medio de un script que permitía su acceso al sistema con un anexo determinado. En la Figura 10,11 y 12 se observa lo antes detallado con respecto a la configuración de Asterisk y los scripts.

```

GNU nano 2.2.6                               Archivo: sip.conf
[general]
port=5060
context=openbts
disallow=all
allow=g726
allow=gsm

[IMS1716060019950660]
callerid=1001
canreinvite=no
type=friend
context=openbts
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
allow=gsm
host=dynamic

[2001]
callerid=2001
canreinvite=no
type=friend
context=openbts
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
allow=gsm
host=dynamic
dtmfmode=info
secret=teleco

```

Figura 10. Archivos de Configuración Sip Asterisk

Fuente: Elaboración Propia

```

GNU nano 2.2.6                               Archivo: extensions.conf
[macro-openbts]
exten => s,1,Dial(${ARG1},30,Tt)
exten => s,n,GotoIf("${DIALSTATUS}"="BUSY"?dest1:dest2)
exten => s,n(dest1),Voicemail(${MACRO_EXTEN}@default,b)
exten => s,n,Hangup()
exten => s,n(dest2),Voicemail(${MACRO_EXTEN}@default,u)
exten => s,n,Hangup()
[ivr]
exten => 555,1,Goto(ivr-tesis,s,1)
[ivr-tesis]
exten => s,1,Answer()
exten => s,n,Wait(0.5)
exten => s,n,Background(ivrtesis)
exten => s,n,WaitExten(8)
exten => 1,1,Goto(openbts,609,1)
exten => 2,1,Goto(openbts,610,1)
exten => 3,1,Goto(openbts,611,1)
exten => t,1,Playback(en/vm-goodbye)
exten => t,n,Hangup()
exten => i,1,Playback(en/vm-pbx-invalid)
exten => t,1,Goto(s,1)
[openbts]
include => ivr
exten => 1001,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716060019950660@127.0.0.1:5062)
exten => 1002,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716152501902578@127.0.0.1:5062)
exten => 1003,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716060800509219@127.0.0.1:5062)
exten => 1004,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716060601517691@127.0.0.1:5062)
exten => 1005,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716060616651535@127.0.0.1:5062)
exten => 1006,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716101500386695@127.0.0.1:5062)
exten => 1007,1,Macro(openbts,SIP/IMS1716060802346007@127.0.0.1:5062)
exten => 2001,1,Macro(openbts,SIP/2001)
exten => 2002,1,Macro(openbts,SIP/2002)
exten => 2003,1,Macro(openbts,SIP/2003)
exten => 2004,1,Macro(openbts,SIP/2004)
exten => 2001,1,Macro(openbts,SIP/2001)
exten => 2002,1,Macro(openbts,SIP/2002)

```

Figura 11. Archivos de Configuración Extensions Asterisk

Fuente: Elaboración Propia

```

GNU nano 2.2.6                               Archivo: registrogsn.sh
#!/bin/bash
clear
read -p "Ingrese IMSI del equipo: " IMSI
until [ ${#IMSI} -ge 15 ]; do
echo "Error:Ingrese 15 datos numericos"
read -p "Ingrese IMSI del equipo: " IMSI
done

read -p "Ingrese Numero de extension: " ID
echo
until [ ${#ID} -ge 4 ]; do
echo "Error:Ingrese 4 caracteres"
read -p "Ingrese Numero de extension: " ID
done

echo -e "\n[IMSI$IMSI] \ncallerid-$ID \ncanreinvite-no \ntype-friend \ncontext-openbts \ndisallow-all
\nallow-ulaw \nallow-alaw \nallow-gsm \nhost-dynamic \ndtnfnode-info" >> /etc/asterisk/sip.conf

echo -e "exten => $ID,1,Macro(openbts,SIP/IMSI$IMSI@127.0.0.1:5060)" >> /etc/asterisk/extensions.conf

echo "Se le asigno La extension Numero $ID "

GNU nano 2.2.6                               Archivo: registrolp.sh
#!/bin/bash
clear
read -p "Ingrese Numero de extension: " ID
echo
until [ ${#ID} -ge 3 ]; do
read -p "Ingrese Numero de extension: " ID
done

echo -e "\n[$ID] \ncallerid-$ID \ncanreinvite-no \ntype-friend \ncontext-openbts \ndisallow-all
\nallow-ulaw \nallow-alaw \nallow-gsm \nhost-dynamic \ndtnfnode-info \nsecret-teleco" >> /etc/asterisk/sip.conf

echo -e "exten => $ID,1,Macro(openbts,SIP/$ID)" >> /etc/asterisk/extensions.conf

GNU nano 2.2.6                               Archivo: startbts.sh
#!/bin/bash

echo "Ejecutando OpenBTS ..."

gnome-terminal --tab -e "bash -c 'cd /dev/openbts/Transceiver52M' 'sudo -s teleco' './transclever'"
--tab -e "bash -c 'cd /dev/openbts/apps' 'sudo -s teleco' './OpenBTS'"

```

Figura 12. Scripts de Automatización

Fuente: Elaboración Propia

- b. Pruebas de llamadas en el segmento de acceso y en el segmento de conmutación para la recolección de datos.

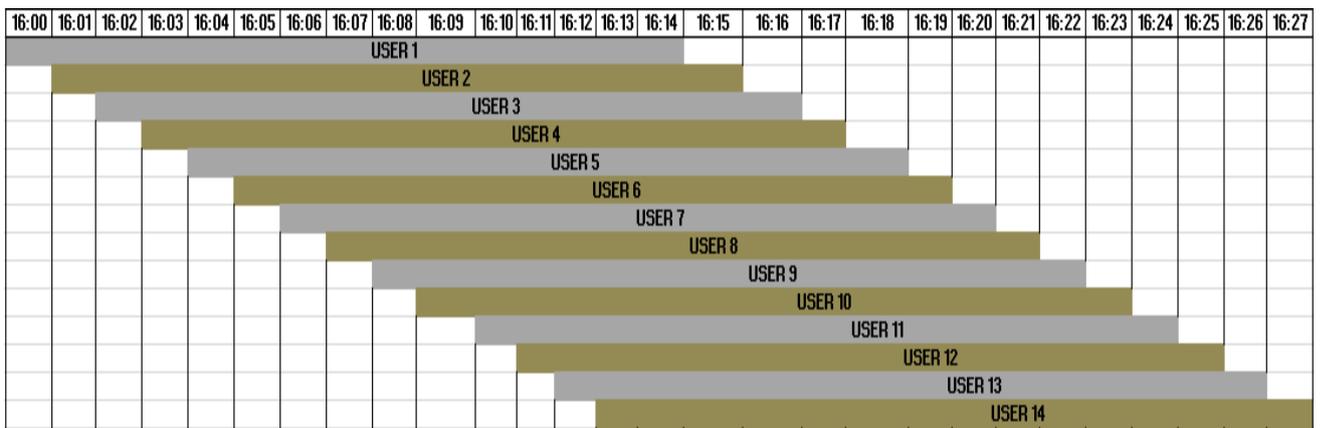
En cuanto al segmento de acceso se hicieron pruebas de llamadas con un total de 21 usuarios, los que se dividieron en 14 con acceso WLAN y 7 con acceso GSM; ya que los respectivos equipos presentaban limitaciones en su capacidad de atención de usuarios.

En el ANEXO 5 se muestra la ficha técnica de observación donde se ha estructurado los tipos de prueba antes mencionados para cada usuario; cada guía se encuentran conformada por las llamadas exitosas, que son las que se han realizado de manera satisfactoria, llamas fallidas: que son las que se lograron establecer pero que en el transcurso de la misma se cayeron, llamadas rechazadas: que son las que no se pudieron establecer, duración real: que se emplea para determinar el tiempo efectivo en caso fuera necesario, MOS(Mean Opinion Score): que se usa

para medir la calidad de la llamada y que se su valor puede variar en el intervalo del 1 al 5.

En la Tabla 6 se muestra la primera prueba para el acceso WLAN se caracteriza por realizar llamadas consecutivas que se ejecutan una después de la otra con un intervalo de un minuto.

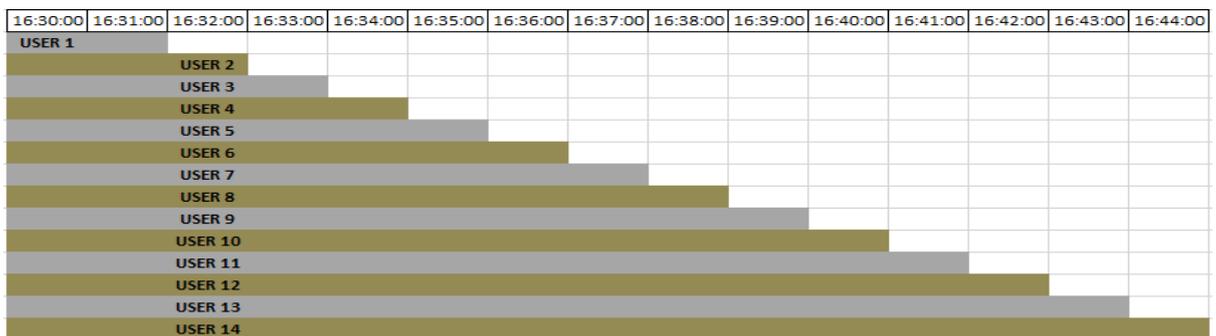
Tabla 6. Prueba 1 Acceso WLAN



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 7 se muestra la segunda prueba para el acceso WLAN que corresponde a la realización de llamadas concurrentes durante un periodo tiempo determinado.

Tabla 7. Prueba 2 Acceso WLAN



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 8 se muestra tercera prueba para el acceso WLAN en la que se efectúan llamadas aleatorias de un minuto de duración.

Tabla 8. Prueba 3 Acceso WLAN

Fuente: Elaboración Propia

16:47	16:48	16:49	16:50	16:51	16:52	16:53	16:54	16:55	16:56	16:57	16:58	16:59
						USER 1						
					USER 2							
						USER 3						
					USER 4							
						USER 5						
					USER 6							
						USER 7						
					USER 8							
						USER 9						
					USER 10							
						USER 11						
					USER 12							
						USER 13						
					USER 14							

En la Tabla 9 se muestra la primera prueba con respecto al acceso GSM, la cual se caracteriza por iniciar las llamadas con un retraso de un segundo y culminar de manera simultánea todas las llamadas.

Tabla 9. Prueba 1 Acceso GSM

11:00:00	11:01:00	11:02:00	11:03:00	11:04:00	11:05:00	11:06:00	11:07:00	11:08:00	11:09:00	11:10:00	11:11:00	11:12:00	11:13:00	11:14:00
USER 1														
USER 2														
USER 3														
USER 4														
USER 5														
USER 6														
USER 7														

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 10 se muestra la segunda prueba con respecto al acceso GSM, en la cual se realizan llamadas simultáneas de 2 minutos de duración cada llamada.

Tabla 10. Prueba 2 Acceso GSM

11:30:00	11:31:00	11:32:00	11:33:00	11:34:00	11:35:00	11:36:00	11:37:00	11:38:00	11:39:00	11:40:00	11:41:00	11:42:00	11:43:00
USER 1		USER 1											
USER 2		USER 2											
USER 3		USER 3											
USER 4		USER 4											
USER 5		USER 5											
USER 6		USER 6											
USER 7		USER 7											

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 11 se muestra la tercera prueba con respecto al acceso GSM, en la cual se realizan diversas llamadas de manera aleatoria con una duración de 1 minuto.

Tabla 11. Prueba 3 Acceso GSM

	11:46	11:47	11:48	11:49	11:50	11:51	11:52	11:53	11:54	11:55	11:56	11:57	11:58	11:59
7								USER 1						
6							USER 2							
7								USER 3						
6							USER 4							
7								USER 5						
6							USER 6							
7								USER 7						

Fuente: Elaboración Propia

En el segmento de conmutación se realizó una prueba con un software denominado SIPP que permite realizar diferentes tipos de pruebas de llamadas delimitándolas por: tasa de llamadas (call rate) que se define como el número de intentos de llamada por segundo, duración de llamadas (call length) que se define como la longitud de las llamadas en milisegundos y llamadas concurrentes (concurrent calls) que se definen como el número máximo de llamadas simultaneas que atenderá la PBX.

Se realizaron diversas pruebas para obtener el máximo rendimiento de la PBX, obteniendo con los siguientes parámetros un rendimiento óptimo.

Call rate (-r) = 10

Call length (-d) = 10000

Concurrent Calls (-l) = 82

En la Figura 13 se observa la línea de código usada para la prueba antesmencionada.

```
root@alex-HP-Pavilion-dv6-Notebook-PC:~# sipp -sn uac -l 82 -d 10000 -r 10 -s 28
2016 -nd -i 127.0.0.1 remote_host 127.0.0.1 -trace_err
```

Figura 13. Línea de Código SIPP

Fuente: Elaboración Propia

Con esta prueba se obtuvo los siguientes resultados que se pueden visualizar en la siguiente Figura.

```
----- Statistics Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Start Time | 2016-07-05 11:58:38:110 | 1467737918.110159
Last Reset Time | 2016-07-05 12:58:47:652 | 1467741527.652146
Current Time | 2016-07-05 12:58:47:652 | 1467741527.652259
-----
Counter Name | Periodic value | Cumulative value
-----
Elapsed Time | 00:00:00:000 | 01:00:09:542
Call Rate | 0.000 cps | 8.093 cps
Incoming call created | 0 | 0
OutGoing call created | 0 | 29211
Total Call created | 0 | 29211
Current Call | 0 | 0
-----
Successful call | 0 | 29065
Failed call | 0 | 146
-----
Response Time 1 | 00:00:00:000 | 00:00:00:000
Call Length | 00:00:00:000 | 00:00:10:109
----- Test Terminated -----
2016-07-05 12:58:42:838 1467741522.838709: Continuing call on an unexpect
```

Figura 14. Prueba PBX Asterisk

Fuente: Elaboración Propia

Con la Prueba antes realizada también se observó el rendimiento del procesador de la PBX Asterisk, donde destacan el comportamiento de sus núcleos y de la memoria RAM, tal y como se puede observar en la Figura 15.

```
alex@alex-HP-Pavilion-dv6-Notebook-PC: ~
1 [|||||] 22.6%] 5 [|||||] 22.2%]
2 [||||] 12.4%] 6 [||||] 15.7%]
3 [|||||] 99.3%] 7 [|||||] 22.8%]
4 [|||||] 19.8%] 8 [|||||] 24.7%]
Mem[|||||] 1189/7879MB] Tasks: 129, 402 thr; 3 running
Swp[ ] 0/4766MB] Load average: 2.31 1.94 1.54
Uptime: 00:51:44

PID USER PRI NI VIRT RES SHR S CPU% MEM% TIME+ Command
9522 root 20 0 32988 5080 4024 R 85.9 0.1 20:28.60 sipp -sn uac -l 8
15737 alex 20 0 1360M 339M 99560 S 14.4 4.3 1:57.51 /usr/lib/firefox/
9475 asterisk -11 0 4792M 92204 22576 S 13.8 1.1 3:34.00 /usr/sbin/asteris
1265 root 20 0 569M 93376 79152 S 6.9 1.2 1:54.85 /usr/bin/X -core
2161 alex 20 0 1568M 221M 72688 S 4.6 2.8 1:58.76 compiz
15786 alex 20 0 1360M 339M 99560 S 4.0 4.3 0:24.01 /usr/lib/firefox/
11590 alex 20 0 522M 43780 33848 S 2.9 0.5 0:32.25 gnome-system-moni
2102 alex 9 -11 429M 11144 8816 S 1.2 0.1 0:07.50 /usr/bin/pulseaud
2942 alex 20 0 641M 34636 23176 S 1.2 0.4 0:39.52 gnome-terminal
12847 alex 20 0 30184 3768 2904 R 1.2 0.0 0:11.21 htop
18658 alex 20 0 1360M 339M 99560 S 1.2 4.3 0:01.04 /usr/lib/firefox/
18670 alex 20 0 1360M 339M 99560 S 1.2 4.3 0:01.04 /usr/lib/firefox/
18661 alex 20 0 1360M 339M 99560 S 1.2 4.3 0:01.05 /usr/lib/firefox/
F1Help F2Setup F3Search F4Filter F5Tree F6SortByF7Vice F8Nice F9Kill F10Quit
```

Figura 15. Procesador PBX

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos

Se consolido la información con respecto a los segmentos de conmutación y acceso obteniendo los siguientes resultados.

En cuanto al acceso de llamadas basadas en GSM se obtuvo la siguiente tabla donde se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 12 Consolidado de Pruebas GSM

USER	TOTAL CALLS	SUCCESFULL CALLS	FAILED CALLS	REJECTED CALLS	avg MOS	DURATION (min)
1	13	13			4	25
2	12	12			4	24
3	13	13			5	25
4	12	12			4	24
5	13	13			4	25
6	12	11		1	3	23
7	13	13			4	25
TOTAL	88	87	0	1	4	171

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte mediante las pruebas realizadas en cuando al acceso WLAN se obtuvo la siguiente tabla con sus respectivos datos.

Tabla 13. Consolidado de Pruebas WLAN

USER	TOTAL CALLS	SUCCESFULL CALLS	FAILED CALLS	REJECTED CALLS	avg MOS	DURATION (min)
1	9	9			3	24
2	8	8			4	24
3	9	9			4	26
4	8	8			4	26
5	9	9			4	28
6	8	8			4	28
7	9	9			4	30
8	8	8			5	30
9	9	8	1		3	22
10	8	7	1		3	15
11	9	9			4	34
12	8	8			5	34
13	9	9			3	36
14	8	8			5	36
TOTAL	119	117	2	0	3.93	393

Fuente: Elaboración Propia

Por último se obtuvo también mediante las pruebas realizadas a la PBX ASTERISK la siguiente tabla.

Tabla 14. Consolidado de Pruebas PBX

	Successfull Calls	Failed Calls	avg Traffic Volume	Observation Time
PBX	29065	146	4844 min	60 min

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6. Técnicas de análisis de datos

Fórmula para obtener el Blocking Probability

$$P = \frac{FailedCalls}{SucessfullCalls} \times 100$$

Esta fórmula determina la probabilidad de bloqueo y se obtiene al dividir las llamadas fallidas entre las llamadas exitosas y multiplicarlas por 100 para obtener un porcentaje.

Formula fórmula para obtener el Traffic Intensity

$$Ti = \frac{TrafficVolume}{ObservationTime}$$

Esta fórmula permite calcular la intensidad de tráfico y se obtiene al dividir el volumen de tráfico en minutos y el tiempo de observación que es de 60 minutos.

IV. RESULTADOS

Mediante el empleo de las técnicas de procesamiento y análisis de datos se logró obtener los elementos necesarios para determinar las capacidades de Trafico Erlang B tanto en segmento de acceso como en el segmento de conmutación, esto se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados de Probabilidad de Bloqueo e Intensidad de Trafico

	Succesfull Calls	Failed Calls	Blocking Probability (%)	Traffic Volume	Observation Time	Traffic Intensity
PBX	29065	146	0.50	4844 min	60 min	80.73 Erlangs
GSM	87	1	1.15	171 min	60 min	2.85 Erlangs
WLAN	117	2	1.71	393 min	60 min	6.55 Erlangs

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 16 se determina el número de troncales equivalentes correspondientes al segmento de acceso que se encuentra subdivido por acceso GSM y por el acceso WLAN, además del segmento de conmutación conformado por la PBX ASTERISK.

Tabla 16. Erlang B Final

No. of Trunks (N)	Traffic (A) in erlangs for P =																		
	0.1%	0.2%	0.5%	1%	1.2%	1.3%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%			40%	50%
1	0.001	0.002	0.005	0.010	0.012	0.013	0.02	0.020	0.031	0.053	0.075	0.111	0.176	0.250	0.429	0.667	1.00		PBX
2	0.046	0.065	0.105	0.153	0.168	0.176	0.19	0.223	0.282	0.381	0.470	0.595	0.796	1.00	1.45	2.00	2.73		GSM
3	0.194	0.249	0.349	0.455	0.489	0.505	0.53	0.602	0.715	0.899	1.06	1.27	1.60	1.93	2.63	3.48	4.59		WLAN
4	0.439	0.535	0.701	0.869	0.922	0.946	0.99	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05	2.50	2.95	3.89	5.02	6.50		
5	0.762	0.900	1.13	1.36	1.43	1.46	1.52	1.66	1.88	2.22	2.50	2.88	3.45	4.01	5.19	6.60	8.44		
6	1.15	1.33	1.62	1.91	2.00	2.04	2.11	2.28	2.54	2.96	3.30	3.76	4.44	5.11	6.51	8.19	10.4		
7	1.58	1.80	2.16	2.50	2.60	2.65	2.73	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67	5.46	6.23	7.86	9.80	12.4		
8	2.05	2.31	2.73	3.13	3.25	3.30	3.40	3.63	3.99	4.54	5.00	5.60	6.50	7.37	9.21	11.4	14.3		
9	2.56	2.85	3.33	3.78	3.92	3.98	4.08	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55	7.55	8.52	10.6	13.0	16.3		
10	3.09	3.43	3.96	4.46	4.61	4.68	4.80	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51	8.62	9.68	12.0	14.7	18.3		
11	3.65	4.02	4.61	5.16	5.32	5.40	5.53	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49	9.69	10.9	13.3	16.3	20.3		
12	4.23	4.64	5.28	5.88	6.05	6.14	6.27	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47	10.8	12.0	14.7	18.0	22.2		
13	4.83	5.27	5.96	6.61	6.80	6.89	7.03	7.40	7.97	8.83	9.54	10.5	11.9	13.2	16.1	19.6	24.2		
14	5.45	5.92	6.66	7.35	7.56	7.65	7.81	8.20	8.80	9.73	10.5	11.5	13.0	14.4	17.5	21.2	26.2		
15	6.08	6.58	7.38	8.11	8.33	8.43	8.59	9.01	9.65	10.6	11.4	12.5	14.1	15.6	18.9	22.9	28.2		
96	71.7	73.9	77.2	80.3	81.2	81.6	82.34	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7	107.6	115.7	134.0	157.6	190.0		
97	72.6	74.8	78.2	81.2	82.2	82.6	83.29	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3	192.0		
98	73.5	75.7	79.1	82.2	83.1	83.5	84.25	86.0	88.8	93.2	96.9	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9	194.0		
99	74.4	76.6	80.0	83.1	84.1	84.5	85.20	87.0	89.8	94.2	97.9	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6	196.0		
100	75.2	77.5	80.9	84.1	85.0	85.4	86.16	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0		

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Tabla 16, para el acceso GSM se determinó una probabilidad de bloqueo del 1.15 que se aproximó al 1.2 % y una intensidad de tráfico 2.85 Erlangs, que se aproximó al 2.60, los cuales corresponden a su vez a 7 troncales equivalentes.

Para el acceso WLAN se determinó también una probabilidad de bloqueo del 1.71 que se aproximó al 1.5% y una intensidad de tráfico 6.55 que se aproximó al 7.03, los cuales corresponden a su vez a 13 troncales equivalentes.

Por ultimo para la PBX Asterisk se determinó una probabilidad de bloqueo del 0.5 y una intensidad de tráfico 80.73 que se aproximó al 80.90, los cuales corresponden a su vez a 100 troncales equivalentes.

Además, en esta investigación se estimó la capacidad de usuarios que la central prototipo puede atender ante una situación de emergencia, por lo que se trabajó con una probabilidad de bloqueo del 1%, lo que significa que de cada 100 llamadas, 1 no se concretará. Por otra parte se trabajará con un número mínimo de una llamada por abonado. Considerando todo esto ya que se simula una situación de emergencia y se necesita mayor desempeño en el segmento de acceso.

Mediante las diferentes tabulaciones realizadas para obtener la capacidad máxima de usuario se determinaron los siguientes resultados, los mismos que son detallados en el ANEXO 06.

Tabla 17. Estimación de Usuarios WLAN

ESTIMACIÓN DE USUARIOS ACCESO WLAN		
Usuarios WLAN	395	usuarios
ANÁLISIS TRÁFICO EN HORA PICO		
N° llamadas/abonados	1	llam/ab
duracion prom	60	seg
Nº abonados	395	abonados
Vt (Volúmen de Tráfico)	23700	seg
It (Intensidad de Tráfico)	6.58	Erlangs

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 17 se obtuvo un total de 395 usuarios, con unos parámetros de Intensidad de tráfico de 6.58 Erlangs y 1 % de Probabilidad de bloqueo.

Tabla 18. Estimación de Usuarios GSM

ESTIMACIÓN DE USUARIOS ACCESO GSM		
Usuarios GSM	150	usuarios
ANÁLISIS TRÁFICO EN HORA PICO		
Nº llamadas/abonados	1	llam/ab
duracion prom	60	seg
Nº abonados	150	abonados
Vt (Volúmen de Tráfico)	9000	seg
It (Intensidad de Tráfico)	2.50	Erlangs

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 18 se obtuvo un total de 150 usuarios, con unos parámetros de Intensidad de tráfico de 2.50 Erlangs y 1 % de Probabilidad de bloqueo.

Por lo tanto, la capacidad de usuarios total que puede atender la central prototipo simulando una situación de emergencia seria la suma de los totales de usuarios antes obtenidos en las tablas, lo que determina que la capacidad de atención es de 545 usuarios.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (2015) para establecer un nivel mínimo de calidad de servicio ofrecido que permita su adecuada prestación de los servicios de telecomunicaciones, exige un indicador de Tasa de Intentos No Establecidos, en otras palabras, un porcentaje de bloqueo menor igual al 3%. Nuestros resultados no superan este valor, por lo tanto están dentro del nivel adecuado.

Según los resultados anteriores se obtuvo un total de 20 troncales equivalentes que en la práctica corresponden a 20 canales disponibles en el segmento de acceso además de 100 troncales equivalentes correspondientes al sistema de conmutación, esto quiere decir que se podrían usar más dispositivos de acceso conectados a nuestra central telefónica de emergencias, esto tiene una importancia significativa ya que se ha logrado aunar diversas tecnológicas con diferentes parámetros técnicos y diferentes capacidades a un solo sistema compuesto, a pesar de las limitaciones técnicas que pudiesen presentar los diversos equipos a usar en el desarrollo de esta investigación.

Es también importante recalcar que este estudio es un aporte a los sistemas de comunicación emergencia ya existentes, pero que difiere con la mayoría de estos por el uso de software libre y hardware de bajo costo, además de su facilidad de implementación y movilidad que permitiría su inserción en las diversas situaciones donde se requiera su uso.

En cuanto a la capacidad total de atención de la central telefónica se determinó que podría atender un total de 545 usuarios dentro de una situación de emergencia, que fueron limitados por las capacidades de acceso, cave recalcar que el segmento de conmutación podría soportar muchas más usuarios de ser necesario ya que cuenta con un total de 100 troncales equivalentes.

VI. CONCLUSIONES

Se logró implementar de manera satisfactoria la central prototipo de atención de emergencias, esto se realizó en el caso de los equipos de acceso mediante el uso de un hardware de red que permitió su comunicación continua; por el lado de los software a pesar de su capacidad para interactuar en conjunto, se desarrollaron scripts para agilizar el proceso de registro de un usuario a la central.

Se realizaron pruebas de llamadas aleatorias con un minuto de duración, pruebas de llamadas simultaneas, pruebas de llamadas consecutivas con un intervalo de un minuto; de las cuales obtuvimos en el segmento de acceso GSM un porcentaje de bloqueo del 0.5 %, en el segmento de acceso WLAN un 1.15 % y en el segmento de conmutación un 1.71 %. Estas mismas pruebas permitieron medir la capacidad de tráfico en la central prototipo de atención de emergencias.

A partir de las pruebas de llamadas de voz realizadas se pudo determinar que en cuanto al segmento de acceso GSM se cuenta con 7 troncales equivalentes a diferencia del acceso WLAN que cuenta con 13 troncales equivalentes; por otra parte también se determinó la capacidad del segmento de conmutación que tiene un total de 100 troncales equivalentes basados en el modelo Erlang B.

Por todo lo antes descrito se determinó que la central prototipo puede brindar una atención a 545 usuarios con una probabilidad de bloqueo del 1% en una hora determinada, dentro de una situación de emergencia en el Campus de la Universidad Privada Antenor Orrego.

VII. RECOMENDACIONES

Debido a las limitaciones en los hardware de acceso se recomienda aumentar la cantidad de los mismos para determinar la capacidad real de tráfico que puede soportar la central prototipo de atención de emergencia.

Se recomienda la implementación de más servidores para simular los destinos de acceso de la central telefónica de emergencia y verificar posteriormente el tráfico de la troncal telefónica.

Se recomienda también ahondar en el tema del transporte de las llamadas hacia la nube, pudiendo limitar el ancho de banda con un software o hardware y permitiendo simular pruebas de llamadas hacia otro destino.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Denmark, T. U. (2001). *Teletraffic Engineering Handbook*. Dinamarca.
- Digium. (2016). *WikiAsterisk*. Recuperado de <http://www.wikiasterisk.com/index.php?title=Introducción>
- Dillinger, M., Madani, K., & Alonistioti, N. (2003). *Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions*. Chichester: Wiley.
- Duran, L. (12 de Abril de 2016). Conocer los protocolos que se siguen para atender una emergencia. (A. Cortijo, Entrevistador)
- Egúsquiza, C. (12 de Abril de 2016). Conocer los protocolos que se siguen para atender una emergencia. (E. Hurtado, Entrevistador)
- Ettus Research. (2015). *Ettus Research*. Recuperado de <https://www.ettus.com>
- Gaona, E. (2013). Medidas de calidad de voz en una red GSM sobre software libre (Tesis para optar el título profesional en Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones). Universidad Católica de Pereira, Pereira.
- GNU Radio. (2010). *OpenBTS*. Recuperado de http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTSIntroduction_To_GSM
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2007). *Plan Nacional de Operaciones de Emergencia PNOE*.
- Olaechea, F. B. (28 de Octubre de 2011). Las líneas telefónicas se congestionaron tras el sismo en Ica. *Diario el Comercio*. Recuperado de <http://elcomercio.pe/peru/lima/lineas-telefonicas-se-congestionaron-sismo-ica-noticia-1324952>
- Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2015). *Reglamento general de calidad de los servicios públicos de telecomunicaciones*. Recuperado de <https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/PAR/110-2015-cd-osiptel/Res110-2015-CD-Norma.pdf>
- Perahia, E., & Stacey, R. (2013). *Next Generation Wireless LANs 802.11n and 802.11ac*. (2ª ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Picó García, J., & Pérez Conde, D. (2014). *Hacking y Seguridad en comunicaciones móviles GSM / GPRS / UMTS / LTE*. (2ª ed.). Madrid: ZerosWord.
- Real Academia Española. (2016). *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=EiX5X40>

Valdivieso, A. (2011). Diseño de una PBX inalámbrica para la prestación de servicios de tipo fijo y móvil utilizando Wi-Fi y telefonía IP (Tesis para optar el título profesional en Ingeniería de Telecomunicaciones). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Vásquez, J. (2012). Prototipo de una estación celular portátil para atención de emergencias (Tesis para optar el título profesional en Ingeniería Electrónica). Universidad de Medellín, Medellín.

Yépez, D. (17 de Abril de 2016). Terremoto en Ecuador. *El mundo*. Recuperado de <http://www.elmundo.es/internacional/2016/04/17/5713ea92468aeb2b2c8b4608.html>

ANEXO 01: Guía de Entrevista N° 01

<p>Entrevistado: Sr. Luis Duran Gonzales</p> <p>Entrevistador: Alejandro Cortijo Miranda</p>	<p>Fecha: 12 de Abril del 2016</p> <p>Institución: Universidad Privada Antenor Orrego.</p>
<p>Objetivo</p> <p>Conocer los protocolos que se siguen para atender una emergencia de grado menor y una de gran magnitud, así como las comunicaciones que utiliza el personal de seguridad de la Universidad Privada Antenor Orrego.</p>	
<p>Dirigido a:</p> <p>Jefe del personal de seguridad de la corporación Tank's Perú, en calidad de prestar sus servicios de seguridad para la Universidad Privada Antenor Orrego.</p>	
<p>Preguntas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo se atienden las situaciones de emergencia comunes y las de mayor magnitud como desastres naturales en la UPAO? 2. ¿Qué tipos de aparatos de comunicaciones poseen para el uso de sus labores cotidianas? 3. ¿Existe algún medio de comunicación con la Oficina de Bienestar Universitario de la UPAO? 4. ¿Considera Ud. que es importante un medio de comunicación entre los alumnos, el personal de seguridad y la oficina de bienestar universitario? 	
<p>Resumen</p> <p>El jefe del personal de seguridad de la UPAO, nos manifiesta que actualmente no existe un protocolo de seguridad establecido para la atención de emergencias en la UPAO. Todo el personal de seguridad cuenta con unos equipos de radiofrecuencia Motorola para comunicarse exclusivamente entre ellos, no tienen la posibilidad de comunicarse con bienestar universitario para la atención de una emergencia.</p> <p>La forma de atender una emergencia, es dependiendo de la magnitud de esta, en el caso de una caída, golpe, o alguna situación menor; el mismo personal de seguridad es el encargado de llevar al alumno a la oficina de bienestar universitario, caso contrario si se presenta una emergencia de mayor magnitud se encarga directamente la oficina de Defensa Civil en la UPAO, que actualmente se encuentra inactiva, por lo tanto no existe un ente encargado de velar por estos tipos de emergencias.</p> <p>Afirmó también que la comunicación directa con la oficina de bienestar universitario y el alumnado de la UPAO usando una central telefónica inalámbrica de atención de emergencias, les sería de gran ayuda a la hora de atender una emergencia, obteniendo una mayor eficacia en su desempeño.</p>	

ANEXO 02: Guía de Entrevista N° 02

<p>Entrevistado: CPC. Carlos Egúsqüiza Cerna</p> <p>Entrevistador: Erick Hurtado Guerrero</p>	<p>Fecha: 12 de Abril del 2016</p> <p>Institución: Universidad Privada Antenor Orrego.</p>
<p>Objetivo</p> <p>Conocer los protocolos que se siguen para atender una emergencia de grado menor y una de gran magnitud, así como las comunicaciones que utiliza la Oficina de Bienestar Universitario de la Universidad Privada Antenor Orrego.</p>	
<p>Dirigido a:</p> <p>Jefe de la Oficina de Bienestar Universitario de la Universidad Privada Antenor Orrego.</p>	
<p>Preguntas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo se atienden las situaciones de emergencia comunes y las de mayor magnitud como desastres naturales en la UPAO? 2. ¿Existe algún medio de comunicación con la Oficina de Bienestar Universitario de la UPAO? 3. ¿Los alumnos tienen la facilidad de llamar a la Oficina de Bienestar Universitario de la UPAO? 4. ¿Tiene usted conocimiento de algún convenio tecnológico con alguna entidad acorde con una situación de emergencia? 5. ¿Existe un plan de contingencia definido en caso de un desastre natural o alguna de gran magnitud? 6. ¿Con que entidad se comunica la Oficina de Bienestar Universitario de la UPAO en caso que se requiera una atención más especializada? 7. ¿Considera Ud. que es importante un medio de comunicación entre los alumnos, el personal de seguridad y la oficina de bienestar universitario? 	
<p>Resumen</p> <p>El jefe de la Oficina de Bienestar Universitario de la UPAO, nos refiere que el procedimiento para atender una emergencia es el siguiente: el alumno llama a un personal de seguridad; Después de un tiempo el personal de seguridad, comprueba la magnitud de la emergencia, si es leve lleva al alumno a bienestar universitario para su atención, en caso contrario personal de Bienestar universitario acudirá en su auxilio, posteriormente llevándolo a su centro de atención, donde se evaluará la emergencia; si es factible se atenderá allí mismo sino se siguen unos trámites para trasladar al paciente a una clínica afiliada al seguro de salud que posee el alumnado de la Universidad Privada Antenor Orrego de la ciudad de Trujillo.</p> <p>Nos afirma que no hay una comunicación óptima y eficaz entre el alumno y la Oficina de Bienestar Universitario, y que los anexos con los que cuentan esta dedicados para uso administrativo.</p> <p>Por otro lado, no existe un plan de contingencia para emergencias de mayor magnitud como por ejemplo: el fenómeno del niño, terremotos, etc.</p>	

ANEXO 03: Guía de Entrevista N° 03

Entrevistado: Ing. Cristian Obregón Entrevistador: Alejandro Cortijo / Erick Hurtado	Fecha: 12 de Abril del 2016 Institución: Universidad Privada Antenor Orrego.
Objetivo Conocer los protocolos que se siguen para atender una emergencia de grado menor y una de gran magnitud, así como las comunicaciones que utiliza la Oficina de Bienestar Universitario de la Universidad Privada Antenor Orrego.	
Dirigido a: Administrador de Red del DSII de la Universidad Privada Antenor Orrego.	
Preguntas <ol style="list-style-type: none">1. ¿Existe actualmente una central telefónica de emergencia en la UPAO?2. ¿Existe algún medio de comunicación con la Oficina de Bienestar Universitario de la UPAO?3. ¿Los alumnos tienen la facilidad de llamar a la Oficina de Bienestar Universitario?4. ¿Tiene usted conocimiento de algún convenio tecnológico con alguna entidad acorde con una situación de emergencia?5. ¿Existe un plan de contingencia ante la caída de las comunicaciones?6. ¿Considera Ud que implementando una central telefónica de atención de emergencias con acceso inalámbrico para la comunicación de la población dentro de la UPAO con las entidades pertinentes según la emergencia, ayudaría a mejorar la comunicación actual y así mismo la atención de emergencias en la UPAO?	
Resumen <p>El administrador de red del DSII de la UPAO, nos manifiesta que no existe un protocolo para atención de emergencias de mayor magnitud ante la caída de las comunicaciones, tampoco existe una central telefónica dedicada a emergencias. Si poseen una central telefónica de alta disponibilidad con un respaldo. Por otro lado, esta central telefónica y su red no la puede hacer uso el alumnado de la UPAO, solamente el personal que cuente con un teléfono de la red. Los usuarios de esta red pueden llamar a la Oficina de Bienestar Universitario por medio de su número anexo.</p> <p>Al no existir una central de emergencia se considera necesario la implementación de algún sistema independiente a la red de la UPAO para poder comunicar a las personas que requieran atención de emergencia con las entidades pertinentes, ya sean dentro de la misma UPAO o fuera.</p>	

ANEXO 04: Cálculo para determinar la cantidad de usuarios en hora pico.

La respectiva observación se realizó en los horarios sugeridos por el personal de seguridad, las horas puntas de población máxima estudiantil en las mañanas son de 9:00 am a 10:00 am y por las tardes de 6:00 pm a 7:00 pm, con esos alcances se construyó la siguiente tabla, en la cual se tomó como referencia la hora punta antes mencionada entre las 6:00 pm y las 7:00 pm del día Viernes, el más concurrido, 6 de mayo de 2016.

Número de estudiantes en el campus UPAO Trujillo

PABELLON	CANTIDAD DE SALONES OCUPADOS	CANTIDAD DE ALUMNOS POR SALON	TOTAL
C	9	50	450
D	14	40	560
E	15	50	750
F	12	20	240
G	35	50	1750
H	18	60	1080
I	ICODDEM		500
J	25	50	1250
K	35	50	1750
L	BIBLIOTECA CENTRAL		600
	TOTAL		8930

Fuente: Elaboración Propia

Usuarios totales del campus UPAO Trujillo

USUARIOS TOTALES	CANTIDAD
ALUMNOS	8930
DOCENTES	163
ADMINISTRATIVOS	500
EXTERNOS	200
TOTAL	9793

Fuente: Elaboración Prop

ANEXO 05: Ficha Técnica de Observación de Llamadas.

USER 1:

Anexo:

	Inicio	Fin	Llamada exitosa	Llamada fallida	Llamada rechazada	Duración real	MOS(1-5)
Llamada 1	16:00:00	16:15:00					
Llamada 2	16:30:00	16:32:00					
Llamada 3	16:47:00	16:48:00					
Llamada 4	16:49:00	16:50:00					
Llamada 5	16:51:00	16:52:00					
Llamada 6	16:53:00	16:54:00					
Llamada 7	16:55:00	16:56:00					
Llamada 8	16:57:00	16:58:00					
Llamada 9	16:59:00	17:00:00					

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 06: Estimación de usuarios del segmento de acceso

La siguiente tabla detalla el cálculo realizado para obtener la cantidad de usuarios que se puede atender; la misma que se encuentra determinada por algunos parámetros y pequeños cálculos que se detallan a continuación.

ESTIMACIÓN DE USUARIOS ACCESO GSM		
Usuarios GSM	150	usuarios
ANÁLISIS TRÁFICO EN HORA PICO		
Nº llamadas/abonados	1	llam/ab
duracion prom	60	seg
Nº abonados	150	abonados
Vt (Volúmen de Tráfico)	9000	seg
It (Intensidad de Tráfico)	2.50	Erlangs

- Nº llamadas/abonados: Cada abonado puede hacer una llamada.
- Duración prom: La duración promedio de la llamada.
- Volumen de Tráfico: Tiempo de ocupación durante un periodo de tiempo.

$$Vt = N^{\circ} \text{ abonados} \times \text{duracion prom} \times N^{\circ} \text{ llam/abonados}$$

- Intensidad de Tráfico: Tráfico cursado en Erlangs

$$It = \frac{Vt}{3600}$$