



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICAS**

**SISTEMA DE GESTIÓN DE DISEÑO PARA EL CORE DE UNA RED
GPRS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
ELECTRICISTA**

SEBASTIÁN ALBERTO LARRAÍN VELÁSQUEZ

**PROFESOR GUÍA:
JORGE SANDOVAL ARENAS**

**PROFESOR CO-GUÍA:
HELMUTH THIEMER WILCKENS**

**PROFESOR INTEGRANTE:
CHRISTIAN FELIU MENDIETA**

**SANTIAGO DE CHILE
JUNIO, 2008**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: SEBASTIÁN ALBERTO LARRAÍN VELÁSQUEZ
FECHA: JUNIO 2008
PROF. GUÍA: Sr. JORGE SANDOVAL ARENAS

“SISTEMA DE GESTIÓN DE DISEÑO PARA EL CORE DE UNA RED GPRS”

El objetivo del presente trabajo de título consiste en analizar el funcionamiento de una red GPRS, identificando sus componentes e interfaces principales, para luego proponer un sistema de gestión de diseño que permita evaluar el desempeño del core de la red de datos.

Para poder proponer un sistema de gestión de diseño, se consideraron dos puntos. Por un lado, se requiere tener un conocimiento del estado actual de los componentes de la red, respecto a su capacidad y la caracterización de la calidad del servicio que se está entregando. Para esto, se proponen indicadores de calidad y de control, con sus respectivos umbrales, para poder conocer el desempeño de la red. Por otro lado, se propone un modelo predictivo basado en redes neuronales, para poder así, anticiparse a posibles limitaciones de capacidad futuras, de modo tal, que se pueda corregir y mantener así un servicio de calidad de acuerdo a los requerimientos.

Se concluye, que con los indicadores propuestos y el modelo predictivo realizado, se puede tener una perspectiva de dimensionamiento y de caracterización de calidad, con lo que se puede ofrecer un servicio GPRS de buen desempeño.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer por sobre todo a mi familia, a mis padres, Cristina Velásquez y Alberto Larraín, y a mi hermana, María Paz Larraín, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Su forma de ver la vida, han marcado el rumbo de la mía. Ustedes han sido mi apoyo incondicional siempre, y gracias a eso he logrado esta meta. Mis logros son suyos.

Agradezco de igual manera a todos mis amigos que estuvieron ahí conmigo durante estos largos años. JP, nagatt, ítalo, fel8. Lo logramos!

También quiero agradecer a una persona maravillosa, que llegó para darme toda la tranquilidad, ánimo, aliento y apoyo necesario en los momentos que los necesité. Para ti, preciosa, que en este tiempo has sido mi compañera y mi mejor amiga, gracias!

Agradezco a mi profesor guía, Jorge Sandoval, por el apoyo y los consejos brindados, a Christian Feliú, por haber confiado en mí, y a toda la gente de Movistar con que compartí durante este periodo, Guajavox, Guillermo, Luis Machuca, Isaac, Morales, Roberto, Salinas, Carlos M., Alejandro P., Felipe, Mauricio, etc. Les agradezco porque durante el tiempo que compartí con ustedes, me hicieron sentir siempre como uno más, agradezco lo que me enseñaron y el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

Por último, quiero dedicar este trabajo a Cristóbal, mi sobrino, quien con una simple sonrisa, me ilumina el día.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 1.1. Alcance..... | 11 |
| 1.2. Objetivos..... | 11 |
| 1.2.1. Objetivos generales..... | 11 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 11 |
| 1.3. Estructura del informe..... | 12 |
| | |
| CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO..... | 13 |
| 2.1. Evolución de los sistemas de telefonía móvil..... | 13 |
| 2.1.1. Primera generación (1G)..... | 13 |
| 2.1.2 Segunda generación (2G)..... | 13 |
| 2.1.3. Segunda generación y media (2.5G)..... | 14 |
| 2.1.4 Tercera generación (3G)..... | 15 |
| 2.2. Red GSM..... | 17 |
| 2.2.1. Organización interna de GSM..... | 21 |
| 2.2.1.1 La estación Móvil (MS)..... | 21 |
| 2.2.1.2 Subsistema de Estación Base (BSS)..... | 21 |
| 2.2.1.1 Subsistema de Red (NSS)..... | 21 |
| 2.2.1.1 Subsistema deGestión de Red (NMS)..... | 21 |
| 2.3. Red GPRS..... | 25 |
| 2.3.1 Arquitectura de una red GPRS..... | 25 |
| 2.3.2 Terminales GPRS..... | 27 |
| 2.3.3 Interfaz aérea..... | 28 |
| 2.3.3.1 Canales GPRS..... | 21 |
| 2.3.3.2 Codificación de canales GPRS..... | 31 |
| 2.3.3.3 Asignación de Timeslots..... | 31 |
| 2.3.4 Elementos de la Red..... | 32 |
| 2.3.4.1 Unidad de control de paquetes (PCU)..... | 32 |
| 2.3.4.2 Nodo de soporte servidor (SGSN)..... | 32 |
| 2.3.4.2.1 Unidad de procesamiento de paquetes (PAPU)..... | 34 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.3.4.2.2 | Unidad de Gestión de movilidad y señalización(SMMU)... | 35 |
| 2.3.4.3 | Nodo de soporte pasarela (GGSN)..... | 35 |
| 2.3.5 | Interfaces de GPRS..... | 36 |
| 2.3.6 | Arquitectura de protocolos GPRS | 39 |
| 2.3.6.1 | Capa física..... | 39 |
| 2.3.6.2 | Capa de control de enlac de radio y acceso al medio..... | 40 |
| 2.3.6.3 | Capa de control enlace lógico..... | 40 |
| 2.3.6.4 | Capa de protocolo de convergencia dependiente de la sub-red..... | 40 |
| 2.3.6.5 | Capa de protocolo de tunelización GPRS..... | 40 |
| 2.3.7 | Gestión de movilidad GPRS (GMM)..... | 41 |
| 2.3.7.1 | Estados de la gestión de movilidad..... | 41 |
| 2.3.7.2 | Atachado y desatachado GPRS..... | 42 |
| 2.3.8 | Gestión de sesión..... | 43 |
| 2.3.8.1 | Contexto de protocolo de paquete de datos(PDP)..... | 43 |
| 2.3.8.1.1 | Direcciones PDP estáticas y dinámicas..... | 43 |
| 2.3.8.1.2 | Activación del contexto PDP..... | 44 |
| 2.3.8.1.3 | Modificación contexto PDP..... | 44 |
| 2.3.8.1.4 | Desactivación contexto PDP..... | 44 |
| 2.3.9 | Gestión de ubicación | 44 |
| 2.3.10 | Transferencia de paquetes entre GSNs..... | 45 |
| 2.3.11 | Calidad de servicio en GPRS (QoS)..... | 45 |

| | | |
|--|--|-----------|
| CAPITULO 3: IDENTIFICACIÓN DE CONTADORES Y RANGOS PARA DIMENSIONAR CAPACIDAD Y CARACTERIZAR LA CALIDAD DE LA RED GPRS | | 47 |
| 3.1 | Descripción física red GPRS de Movistar..... | 47 |
| 3.2 | Capacidad de los componentes e interfaces relevantes | 47 |
| 3.2.1 | Abis – PCU – Gb..... | 47 |
| 3.2.2 | SGSN | 50 |
| 3.2.3 | GGSN | 51 |
| 3.3 | Indicadores y estadísticas de desempeño..... | 52 |
| 3.3.1 | Descripción de contadores..... | 53 |
| 3.3.1.1 | Tablas del SGSN. | 53 |
| 3.3.2 | Determinación de indicadores a considerar..... | 54 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.2.1 Indicadores BSS | 54 |
| 3.3.2.2 Indicadores SGSN | 55 |
| 3.3.2.3 Indicadores GGSN..... | 57 |
| 3.3.2.4 Factores que influyen en los indicadores de calidad y recomendaciones..... | 58 |
| | |
| CAPÍTULO 4: MODELO DE PREDICCIÓN..... | 62 |
| 4.1 Introducción..... | 62 |
| 4.2 Análisis de series de tiempo | 63 |
| 4.3 Redes Neuronales | 69 |
| 4.3.1 Modelo de neurona | 69 |
| 4.3.2 Selección de parámetros de una RNAs..... | 72 |
| 4.4 Diseño de experimentos..... | 73 |
| 4.5 Modelación de las medidas de desempeño..... | 74 |
| 4.6 Minimización de las medidas de desempeño | 75 |
| 4.7 METODOLOGÍA..... | 76 |
| 4.7.1 Descripción de la RNA..... | 78 |
| 4.7.2 Análisis de experimentos..... | 78 |
| 4.7.3 Modelación | 79 |
| 4.7.4 Minimización..... | 79 |
| 4.8 Desarrollo | 80 |
| 4.8.1 Pronóstico Tendencia | 83 |
| | |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES..... | 91 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 93 |
| APÉNDICE A | 94 |
| Lista de acrónimos..... | 94 |
| APÉNDICE B..... | 97 |
| Tabla de resultados para el análisis de experimentos..... | 97 |
| APÉNDICE C..... | 99 |
| Ecuación de salida red neuronal | 99 |
| APÉNDICE D | 100 |
| FÓRMULAS DE LOS INDICADORES | 100 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO | 103 |
| Código Matlab para el Modelo de Predicción | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Estructura FMDA y TDMA en GSM | 18 |
| Figura 2: Composición de un TRX..... | 18 |
| Figura 3: Esquema Red GSM..... | 24 |
| Figura 4: Arquitectura de la Red GPRS | 26 |
| Figura 5: Capacidad multislots GPRS..... | 28 |
| Figura 6: Canales lógicos en GPRS..... | 29 |
| Figura 7 SGSN. Disposición de sus elementos..... | 34 |
| Figura 8: Interfaces de GPRS..... | 37 |
| Figura 9: Plano de transmisión..... | 39 |
| Figura 10: Estado de gestión de Movilidad | 41 |
| Figura 11 Opciones de transmisión Interfaz Gb | 49 |
| Figura 12 Serie original..... | 65 |
| Figura 13 Serie y tendencia (arriba). Ciclo (abajo)..... | 65 |
| Figura 14 Coeficiente de auto correlación..... | 66 |
| Figura 15 Promedio del ciclo para coef. de autocorr. 19 | 67 |
| Figura 16 Ciclo Promedio..... | 67 |
| Figura 17 Comparación serie original y serie obtenida mediante coeficiente de autocorrelación..... | 68 |
| Figura 18: Modelo de una neurona..... | 70 |
| Figura 19: Modelo RNA multicapa | 71 |
| Figura 20 Serie original (arriba), Tendencia (centro) y ciclo (abajo) | 77 |
| Figura 21 Carga en bearer channel..... | 80 |
| Figura 22 Carga bearer channel con datos rellenos..... | 81 |
| Figura 23 Serie original y filtrada..... | 81 |
| Figura 24 Serie y tendencia (arriba). Ciclo (abajo) | 82 |
| Figura 25 Series filtrada y limpia..... | 83 |
| Figura 26 Salida red neuronal para predicción 15 pasos..... | 84 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 Modelación del MAE mediante una RNA..... | 86 |
| Figura 28 Modelación del MSE mediante una RNA..... | 87 |
| Figura 29 Pronóstico de la RNA a 15 días..... | 88 |
| Figura 30Pronóstico de la tendencia 60 días..... | 89 |
| Figura 31Pronóstico de 60 días..... | 90 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Es imprescindible para las empresas de comunicaciones móviles, contar con sistema que monitoree el desempeño de sus redes, con el fin de poder entregar un buen servicio a sus usuarios finales.

Un sistema de gestión de diseño se encarga de monitorear el desempeño de la red, chequeando un conjunto de datos e indicadores, que poseen información específica respecto a algún proceso. Precisar estos indicadores supone un estudio de la red inicialmente, para poder saber cuales caracterizan el desempeño de ésta.

Por otro lado, en la medida en que se pueda anticipar o pronosticar ciertos parámetros de la red, ya sea, carga de la CPU de un nodo, o la carga en un enlace, es posible tomar acciones a tiempo, logrando con esto, evitar una baja en el desempeño de la red. Para esto, se propone un modelo de predicción de series de tiempo basado en redes neuronales, con el cual se pretende poder tomar acciones que prevengan problemas, o que permitan anteponerse a limitaciones de capacidad.

En resumen, este trabajo nace como inquietud de la empresa patrocinante, la empresa de telecomunicaciones móviles Movistar Chile, de monitorear el desempeño del Core de su red GPRS. Se tiene como objetivo entonces, el análisis del Core GPRS, y proponer el sistema de gestión y el modelo de predicción.

1.1. Alcance

El presente trabajo se centra en el análisis de la red de datos GPRS de Movistar, que corresponde a la implementación Nokia, para así, poder plantear un sistema de gestión de diseño que sea capaz de monitorear la capacidad y calidad de la red. Se propone un conjunto de indicadores, de tal forma que se pueda tener una visión del desempeño de la red. También se propone un modelo predictivo basado en redes neuronales, para poder pronosticar la demanda de capacidad de los distintos elementos involucrados en el Core GPRS, o la carga de CPU de algún elemento, etc.

1.2. Objetivos

Los objetivos generales y específicos de esta memoria se plantean a continuación

1.2.1. Objetivos generales

- Analizar el comportamiento de una red GSM/GPRS, identificando sus componentes e interfaces, especialmente, del core de la red.
- Proponer un sistema de gestión de diseño que sea capaz de monitorear la red. Proponer alarmas y recomendaciones.
- Proponer un modelo predictivo basado en redes neuronales, con el fin de poder prever algún problema que se pueda presentar en algún elemento de la red.

1.2.2. Objetivos específicos

- Estudio de las generalidades de la red GPRS.
- Identificar componentes relevantes e interfaces, para el dimensionamiento y caracterización de calidad de la red GPRS
- Estudio de los contadores de distintos elementos de red
- Estudio de las redes neuronales para el pronóstico de series de tiempo.

1.3. Estructura del informe

En el Capítulo 2 se presenta el marco teórico respecto a los sistemas GSM y GPRS, con el propósito de ir entendiendo el funcionamiento de las redes de telefonía móvil para proveer servicios de voz y datos y describir la base teórica sobre la cual se desarrollaron los temas a tratar en este trabajo.

En el Capítulo 3 se definen los indicadores a considerar para el sistema de gestión de diseño. Se tienen los indicadores con sus rangos de desempeño, de tal manera que es posible determinar si un nodo tiene un comportamiento bueno, regular o malo.

En el Capítulo 4 se describen los temas que están involucrados en el modelo de predicción a proponer. Estos son: Series de tiempo, redes neuronales y análisis y diseño de experimentos. Luego se describe la metodología y el desarrollo del modelo, para la predicción de la carga en un bearer channel, tomado como caso ejemplo.

Finalmente en el Capítulo 5 se plantean las principales conclusiones del trabajo realizado, verificando el cumplimiento de los objetivos.

Las referencias bibliográficas, anexos y apéndices están al finalizar la sección de capítulos

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Evolución de los sistemas de telefonía móvil

El incremento sustancial que ha experimentado la demanda por parte de los usuarios de comunicaciones móviles ha llevado a la evolución de las tecnologías móviles. Los sistemas de telefonía móvil se pueden clasificar en distintas generaciones dependiendo del grado de evolución técnica de los mismos. Las características fundamentales de cada una de estas generaciones se resumen a continuación.

2.1.1. Primera generación (1G)

Es la más antigua de todas y engloba a todas aquellas tecnologías de comunicaciones móviles analógicas. Es un sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex en la banda de 850 MHz, con capacidad para transmitir voz pero no datos. La tecnología predominante de esta generación es *AMPS (American Mobile Phone System)*, desarrollado en 1979 por los laboratorios Bell y puesto en servicio en la primera mitad de la década de los 80. En la actualidad está en desuso y pronto desaparecerá.

2.1.2 Segunda generación (2G)

Las limitaciones de la primera generación de telefonía móvil condujeron al desarrollo del sistema GSM (Global System for Mobile Communications). GSM es una tecnología digital cuya primera funcionalidad es la transmisión de voz, pero que también permite la transmisión de datos a baja velocidad: 9,6 kbit/s. A diferencia del sistema anterior, GSM define un sistema completo que incluye no sólo la interfaz radio, sino también una completa arquitectura de red, lo que permite el desarrollo de multitud de nuevos servicios sobre el estándar GSM. Aunque preparado para la transmisión de datos, GSM es un estándar pensado fundamentalmente para la transmisión de voz. Por ello, de la concepción original del estándar se derivan una serie de limitaciones para las aplicaciones basadas en la transmisión de datos, como son: establecimiento de la

conexión, poco ancho de banda, simetría del enlace (mismo ancho de banda para ambos sentidos de la comunicación), alto costo (facturación por tiempo de conexión).

Por otro lado, existe otro estándar llamado CDMA, o Acceso múltiple por división de código, el cual soporta velocidades de datos de alrededor de 14,4Kbps vía conmutación de paquetes y vía conmutación de circuitos. Es un método de transmisión móvil celular de espectro extendido que permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de radiofrecuencia por asignación de un código único a cada usuario activo.

Debido a que en este trabajo, el estudio se centra en GPRS, el cual está soportado en la arquitectura de GSM, no se considerará de ahora en adelante al estándar CDMA.

2.1.3. Segunda generación y media (2.5G)

Aquí se incluyen todas aquellas tecnologías de comunicaciones móviles digitales que permiten una mayor capacidad de transmisión de datos y que surgieron como paso previo a las tecnologías 3G. Los operadores de telefonía móvil europeos y de Estados Unidos comenzaron a moverse a 2.5G en el 2001, mientras que Japón dio el salto directo de 2G a 3G. Una de estas tecnologías 2.5G es GPRS (General Packet Radio System), basada en la transmisión de paquetes y donde los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios de forma dinámica. GPRS coexiste con GSM, compartiendo gran parte de la infraestructura desplegada en el mismo, pero ofreciendo al usuario un servicio portador más eficiente para las comunicaciones de datos, especialmente en el caso de los servicios de acceso a redes IP como Internet. La velocidad teórica máxima que puede alcanzar GPRS es de 171,2 kbit/s (unas 18 veces mayor que GSM), si bien la velocidad de acceso que experimenta el usuario en la práctica está condicionada por distintos factores y suele ser bastante inferior: unos 40 kbit/s en el enlace descendente y 9,6 kbit/s en el ascendente. Las principales ventajas que aporta GPRS respecto a GSM son, además de una mayor velocidad de transmisión, la conexión permanente y la tarificación por tráfico, convirtiéndolo en el portador ideal para los servicios WAP, el acceso a Internet (web browsing, ftp, e-mail) y el acceso a intranets de empresas. Por otro lado, el HSCSD (High Speed Circuit

Switched Data) es una especificación de la fase 2+ de GSM homologada por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en febrero de 1997 y comercializada a partir de 1999. Con esta tecnología, el número de canales equivalentes de GSM utilizados en cada instante por una comunicación de datos es variable, permitiendo velocidades de transmisión de hasta 57,6 kbit/s. La ventaja de HSCSD es que la inversión para ser implantado es mínima, aunque tiene como desventaja un mayor coste para los usuarios, pues pagan por el uso de cada canal. Por último, la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) es otro de los desarrollos de las redes GSM, permitiendo teóricamente velocidades de datos de hasta 384 kbit/s. Se trata de una tecnología que mejora el ancho de banda de la transmisión de los datos en GSM y GPRS, y que se puede considerar como precursora de UMTS. En realidad, EDGE y UMTS son tecnologías complementarias que de forma conjunta pueden dar apoyo a las necesidades de los operadores para lograr la cobertura y capacidad global de las redes de tercera generación.

2.1.4 Tercera generación (3G)

Las tecnologías 3G se encuentran contenidas dentro del IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) de la ITU, el cual puede considerarse como la guía que marca los puntos en común que deben cumplirse para conseguir el objetivo de la itinerancia global, es decir, que un terminal de usuario de 3G pueda comunicarse con cualquier red 3G del mundo. Los servicios que ofrecen las tecnologías 3G son básicamente: acceso a Internet, servicios de banda ancha, roaming internacional e interoperatividad. Pero fundamentalmente, estos sistemas permiten el desarrollo de entornos multimedia para la transmisión de vídeo e imágenes en tiempo real, fomentando la aparición de nuevas aplicaciones y servicios tales como videoconferencia o comercio electrónico. Precisamente UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) constituye uno de los miembros de esta familia de estándares IMT-2000. Entre los atributos de UMTS se pueden destacar: conectividad virtual a la red todo el tiempo, diferentes formas de tarificación, ancho de banda asimétrico en el enlace ascendente y descendente, configuración de la calidad de servicio (QoS), integración de la tecnología y estándares de redes fijas y móviles,

entorno de servicios personalizado, y muchos otros. En cuanto a las capacidades de transmisión de datos de las tecnologías 3G, se pueden establecer distintos entornos de trabajo, llegando incluso hasta los 2 Mbit/s en condiciones ideales de funcionamiento, como por ejemplo en el entorno interior de una oficina. Esta capacidad es muy superior a la de las tecnologías precedentes, posibilitando el desarrollo de servicios multimedia reales.

2.2. Red GSM

El estándar GSM (Global System for mobile communications) es un sistema celular de segunda generación (2G) que se implementa en las bandas de 800, 900, 1800 y 1900 Mhz. Fue diseñado para la transmisión de voz por lo que se basa en la conmutación de circuitos, al realizar la transmisión de esta manera los recursos quedan ocupados durante toda la comunicación y tarificación es por tiempo. El estándar GSM define una red telefónica móvil terrestre digital y de servicios integrados (PLMN por sus siglas en inglés) que comprende el acceso radio con estructura celular, la transmisión, conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad y los mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante éstas.

GSM esta basado en un sistema multi-portadora (MC), de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) y de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA). La portadora FDMA tiene un ancho de banda de 200 kHz, sobre el cual se aplica TDMA. Un frame TDMA dura aproximadamente 4,615 ms y hospeda a 8 ranuras de tiempo (TSL), también conocidas como radio TSL (RTSL), los cuales tienen una duración aproximada de 577 μ s. En la Figura 1 se puede apreciar la estructura del frame TDMA y la división de frecuencia FDMA.

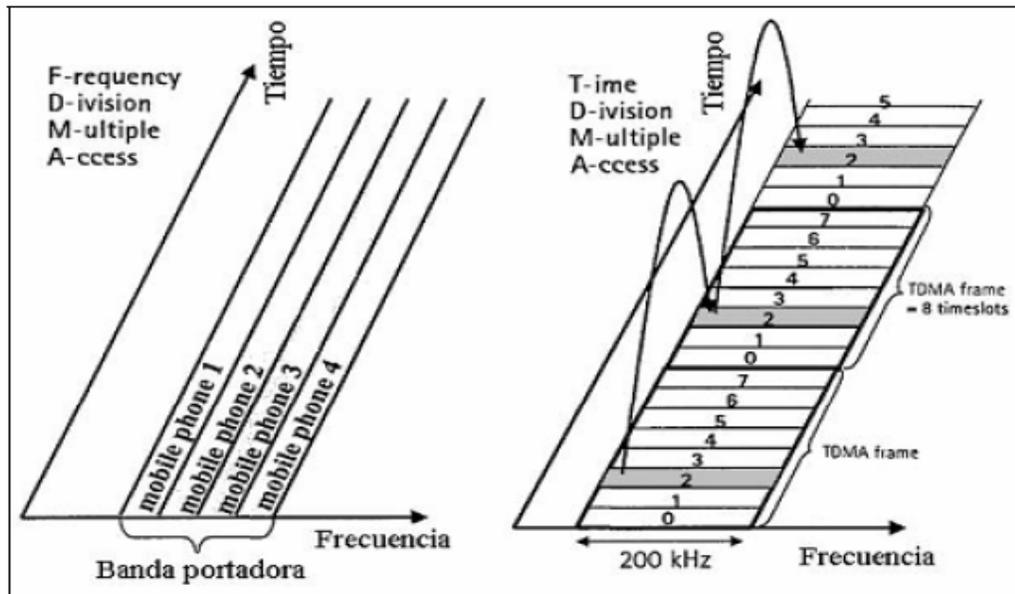


Figura 1: Estructura FDMA y TDMA en GSM

Por estándar GSM, la banda de frecuencia se divide en frecuencias para el enlace de subida o transmisión (UL) y en frecuencias para el enlace de bajada o de recepción (DL), con una separación de 45 u 80 MHz entre éstas. Un par de frecuencias UL y DL constituyen un trans-receptor (TRX) y sobre éste se definen 8 RTSLS, que corresponderían a la unión de los TSLs del frame TDMA de la frecuencia UL con los TSLs del frame TDMA de la frecuencia DL. En la Figura 2 se muestra la composición de un TRX.

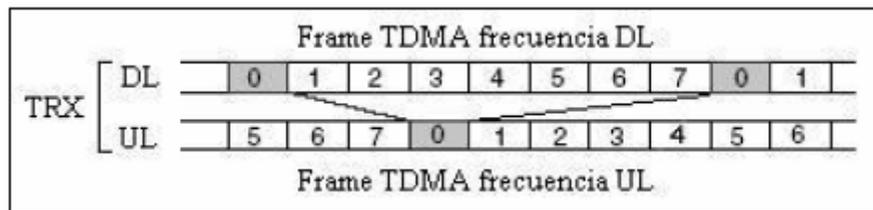


Figura 2: Composición de un TRX.

Las principales componentes una Red GSM, y que serán descritas a continuación son:

1. Mobile Station (MS): Dispositivo móvil del usuario.
2. Base Transceiver Station (BTS): componente de la red que da el servicio en un lugar determinado.
3. Base Station Controller (BSC): componente de la red que controla una o más BTS.
4. Mobile-services Switching Centre (MSC): constituye la interfaz entre el sistema de radio y la red fija. El MSC realiza todas las funciones necesarias para manejar los servicios de conmutación de circuitos desde y hacia el MS. El MSC realiza todas las funciones de señalización y conmutación para los MS ubicados en un área geográfica determinada. El MSC tiene que tomar en cuenta el impacto de la disposición de los recursos de radio y la naturaleza móvil de los suscriptores, además de realizar procedimientos específicos como el handover.
5. Home Location Register (HLR): El HLR debe ser capaz de dar el soporte necesario a las entidades correspondientes, en el dominio PS (Packet Switched), de modo que permita a los suscriptores el acceso a los servicios que se encuentren en éste dominio. Es decir debe brindar soporte a entidades tales como la SGSN y la GGSN. Por otra parte debe dar el soporte necesario a las entidades correspondientes, en el dominio CS (Circuit Switched), de modo que permita a los suscriptores el acceso a los servicios que se encuentren en éste dominio y dar el soporte para el roaming al dominio CS de las redes legacy GSM/UMTS
6. Authentication Centre (AuC): El AuC está asociado con un HLR y almacena una clave de identificación para cada suscriptor registrado con el HLR asociado. El AuC se comunica sólo con su HLR asociado a través de una interfaz no estandarizada denominada interfaz-H. El HLR pide los datos necesarios para la autenticación y el cifrado desde el AuC a través de la interfaz-H, los almacena y luego se los entrega al VLR y al SGSN el cual los necesita para realizar las funciones relacionadas con la seguridad para la estación móvil.
7. Visitor Location Register (VLR): Una estación móvil (MS) en roaming en el área MSC es controlado por el VLR. Cuando un MS entra a una nueva área de localización comienza el procedimiento de registro. El MSC que está a cargo en esa área lleva a cabo el registro y transfiere la identidad del área de localización en donde

esta situado el MS al VLR. Un VLR puede estar a cargo de una o varias áreas MSC. Los elementos que contiene el VLR se listan a continuación.

- International Mobile Subscriber Identity (IMSI);
- Mobile Station International ISDN number (MSISDN);
- Mobile Station Roaming Number (MSRN);
- Temporary Mobile Station Identity (TMSI), si es aplicable;
- Local Mobile Station Identity (LMSI), si es usado;
- El área de localización en donde el MS ha sido registrado;
- La identidad del SGSN donde el MS ha sido registrado. Aplicable cuando está habilitado el servicio GPRS;
 - La última ubicación conocida y la primera del MS.

8. Equipment Identity Register (EIR): en el sistema GSM es una entidad lógica la cual es responsable de almacenar en la red el International Mobile Equipment Identities (IMEIs), usado en el sistema GSM.

2.2.1. Organización interna de GSM

Dentro de la organización interna de GSM se pueden identificar los siguientes subsistemas: la Estación Móvil ("Mobile Station" ó MS), el subsistema de la estación base ("Base Station Subsystem" ó BSS) y el Subsistema de Conmutación de red ("Network Switching Subsystem" ó NSS) el cual debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a otro tipo de redes o a otras estaciones móviles y el Subsistema de Gestión de Red ("Network Management Subsystem" ó NMS).

2.2.1.1 La Estación Móvil (MS)

La estación móvil representa la única parte del sistema completo que el usuario ve. Una estación móvil además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesado de señales y de radio frecuencia, debe ofrecer también una interfaz al usuario humano (un micrófono, altavoz) para la gestión de las llamadas de voz, y/o una interfaz para otro tipo de equipos. Otra parte dentro de la estación móvil es el Módulo de Identificación del Abonado ("Subsystem Identity Module" ó SIM), que es un nombre muy restrictivo para las diversas funciones que este permite. El SIM es una tarjeta que sigue las normas ISO que contiene toda la información relacionada con el abonado almacenado en la parte del usuario de la interfaz de radio. Sus funciones, además de la capacidad de almacenar información, están relacionadas con el área de la confidencialidad.

2.2.1.2 El Subsistema de la Estación Base (BSS)

El BSS corresponde a la maquinaria de infraestructura específica a los aspectos celulares de GSM. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio. Por lo tanto, incluye las máquinas encargadas de la transmisión y recepción de radio, y de su gestión. Las principales funciones del BSS son el seguimiento y localización del MS, establecimiento y mantenimiento de las llamadas y la supervisión y control de calidad. De acuerdo con la estructura canónica de GSM, el BSS incluye los siguientes componentes:

- BTS ("Base Transceiver Station" ó Transceptor de la Estación Base), en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio, lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesamiento de señales específico a la interfaz de radio. Las BTSs se pueden considerar como complejos modems de radio, con otras pequeñas funciones.

- BSC ("Base Station Controller" ó Controlador de la Estación Base), encargado de toda la gestión de la interfaz de radio a través de comandos remotos sobre el BTS y la MS, principalmente, la gestión de la localización de los canales de tráfico y de la gestión del "handover". El BSC está conectado por un lado a varios BTSs y por otro al NSS (más específicamente a un MSC). Sus funciones principales, como ya se ha dicho son la gestión de los canales de radio y de los handovers.

- Transcoder (TC) componente importante del BSS, que está considerado en la arquitectura canónica de GSM como que forma parte del BTS, es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y decodificación de la voz (fuente), así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos.

2.2.1.3 El Subsistema de Red (NSS)

El NSS incluye las principales funciones de conmutación en GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de los abonados y para la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones. Dentro del NSS, las funciones básicas de conmutación están realizadas por el MSC (Centro de Conmutación de servicios Móviles), cuya función principal es coordinar el establecimiento de llamadas hacia y desde los usuarios GSM. El MSC tiene interfaces con el BSS por un lado (a través del cual está en contacto con los usuarios GSM), y con redes externas por el otro. La interfaz con las redes externas requiere un "gateway" para la adaptación (Funciones de "Interworking"), cuya función es más o menos importante dependiendo del tipo de datos y de la red a la que se accede. El NSS también necesita conectarse a las redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos o señalización entre entidades GSM. En particular el NSS hace uso de un tipo de señalización parcialmente externo a GSM, que sigue el sistema de señalización del CCITT nº 7 (que usualmente se conoce como la red SS7); esta red de señalización habilita el trabajo interactivo entre máquinas del NSS dentro de una o varias redes GSM. El NSS incluye las bases de datos. La información del abonado relativa al suministro de los servicios de telecomunicación está situada en el Registro de Posiciones Base ("Home Location Register" ó HLR), independientemente de la posición actual del abonado. El HLR también incluye alguna información relacionada con la posición actual del abonado. Como una máquina física, un HLR es típicamente un computador independiente, sin capacidades de conmutación, y capaz de manejar a cientos o miles de abonados. Una subdivisión funcional del HLR es el Centro de Autenticación ("Authentication Center" ó AuC), cuya función se limita a la gestión de la seguridad de los datos de los abonados. La segunda función de bases de datos identificada en GSM es el VLR (Registro de Posiciones Visitado), asociado a uno o más MSCs, y encargado del almacenamiento temporal de los datos para aquellos abonados situados en el área de servicio del correspondiente MSC, así como de mantener los datos de su posición de una forma más precisa que el MSC. Pero el NSS contiene más elementos que los MSCs, VLRs y HLRs. Para establecer una llamada hacia un usuario

GSM, la llamada es primero encaminada a un conmutador-gateway llamado GMSC, sin ningún conocimiento de dónde está el abonado. Los GMSCs están encargados de buscar la información sobre la posición y encaminar la llamada hacia el MSC a través del cual el usuario obtiene servicio en ese instante.

2.2.1.4 El Subsistema de Gestión de Red (NMS)

El propósito de este subsistema es monitorear las funciones y los elementos de la red. Gestiona fallas, la configuración de la red y el funcionamiento de ésta. Con el NMS se cubren todos los elementos de la red desde una BTS hasta los MSCs y HLRs.

En la Figura 3 se muestra el esquema de los componentes descritos anteriormente

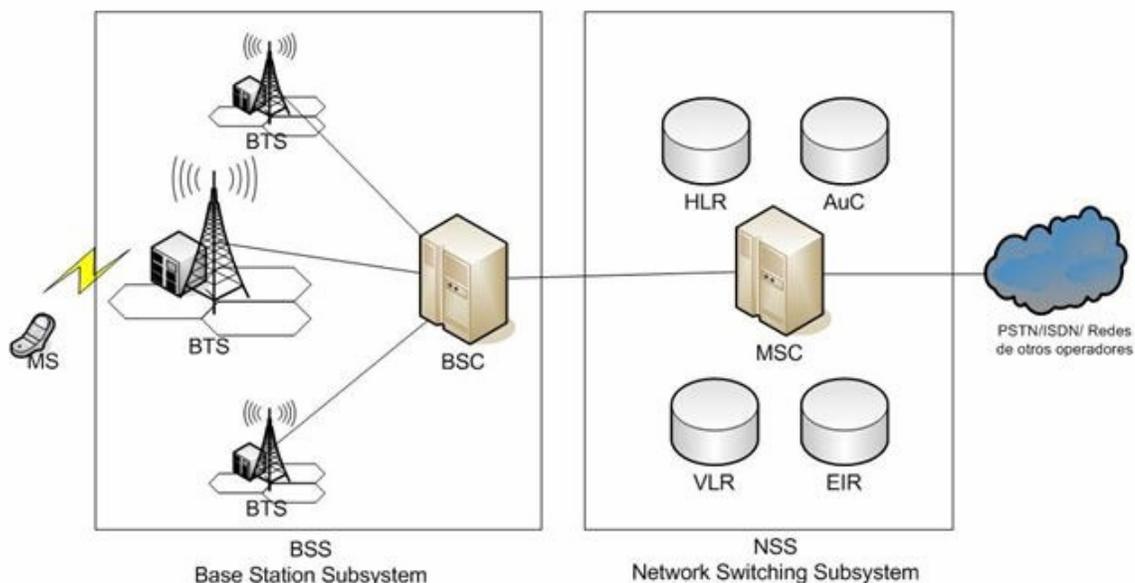


Figura 3: Esquema Red GSM

2.3. Red GPRS

El sistema GPRS representa un sistema portador de datos, que agrega un servicio de conmutación de paquetes a la existente red GSM. Mediante GPRS un usuario puede acceder directamente a una red pública de datos, usando direcciones de protocolos estandarizados (como IP o X..25), las cuales pueden ser activadas cuando el MS está adjuntado a la red GPRS. Un MS con capacidad GPRS, puede usar entre 1 y 8 canales sobre la interfaz de aire (RTSL), dependiendo de la clase del MS; y esos canales son dinámicamente asignados a un MS cuando existen paquetes de datos por enviar o por recibir. En la red GPRS, los canales para el UL y el DL son independientes entre sí, y por lo tanto son reservados separadamente, haciendo posible que existan MSs con variadas capacidades tanto para el UL como para el DL. Como se mencionó anteriormente, la asignación de los recursos en la red GPRS es dinámica, por lo que ésta depende tanto de la demanda como de la disponibilidad de recursos.

2.3.1 Arquitectura de una red GPRS

El sistema GPRS agrega pocos componentes nuevos a la red GSM, los más importantes son: el nodo de soporte servidor de GPRS (SGSN) y el nodo de soporte pasarela de GPRS (GGSN). En la Figura 4 se muestra la arquitectura de la red GPRS, las interfaces Gn y Gp, representan las redes vertebrales (basadas en IP) Intra –PLMN respectivamente, las cuales también constituyen nuevos elementos. Los puntos R y Gi constituyen puntos de referencia, marcando en un caso la conexión del MS con un equipo terminal (como un computador) y en el otro, la conexión de la red GPRS con una red pública de datos.

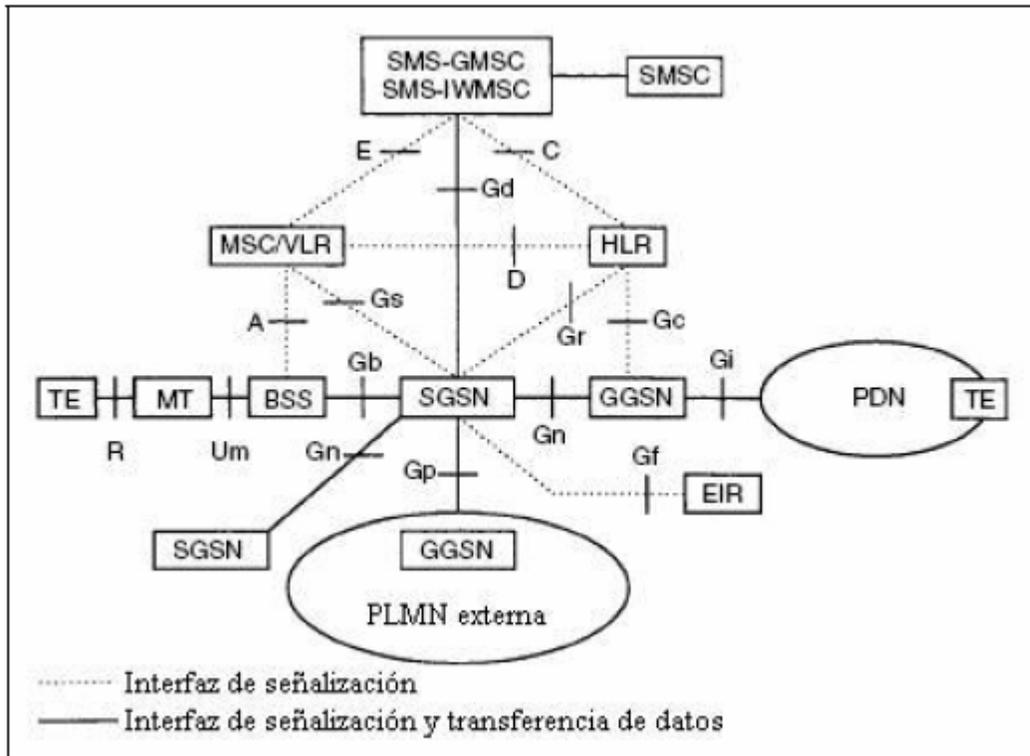


Figura 4: Arquitectura de la Red GPRS

Tal como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de GPRS es brindar a sus usuarios acceso a redes de datos estandarizados tales como las basadas en los protocolos TCP/IP y X.25, estas redes consideran a la red GPRS como una sub-red normal, y el GGSN se comporta como un enrutador, ocultando a la red externa las características específicas de GPRS.

2.3.2 Terminales GPRS

Los terminales GPRS presentan características comunes entre sí, están adaptados para aprovechar la cobertura existente GSM para la voz y en GPRS para la transmisión de datos, para lo cual utilizan varios canales simultáneos o timeslots. Cada timeslot representa una velocidad teórica de 13,4 kbits. Por otra parte la tarjeta SIM es la misma que para GSM, no es necesario cambiar de SIM para poder utilizar la red GPRS.

Los terminales de GPRS pueden operar en 1 de 3 modos, dependiendo del tipo de terminal. A continuación se detalla cada uno:

1. Modo de operación clase A: El MS está adjuntado simultáneamente a la red GPRS y a la red GSM, pudiendo hacer y/o recibir llamadas, tanto de servicios de voz como de datos. Lo anterior sujeto a los requerimientos de QoS.
2. Modo de operación clase B: el MS está adjuntado simultáneamente a la red GSM y GPRS, pero sólo puede operar un servicio a la vez. Durante una llamada de voz, la conexión GPRS se mostrará como ocupada o nula.
3. Modo de operación clase C: el MS sólo puede estar adjuntado a la red GSM o a la red GPRS. La selección es realizada en forma manual, no existiendo operación simultánea de los servicios.

En GSM, el MS utiliza un canal físico (RTSL) para el tráfico UL y un canal para el tráfico DL. En GPRS es posible que el MS utilice múltiples TSLs por enlace, pudiendo tener capacidades diferentes (asimétricas) para el UL y el DL. Cuando un MS soporta el uso de múltiples TSLs éste pertenece a una clase multislotslot.

Además que el MS soporte distintas capacidades para el UL y el DL, éste debe ser capaz de manejar los instantes de recepción y transmisión de los datos. Existen dos tipos de MSs en este aspecto. El MS tipo I no puede recibir y enviar paquetes de datos al mismo tiempo, pues posee un solo transponedor; mientras que el MS tipo II sí puede hacerlo.

En la Figura 5 se ve que el sistema GPRS difiere temporalmente en 3 TSLs al frame TDMA correspondiente al UL con respecto al frame TDMA DL, permitiendo así el funcionamiento de un MS tipo I. Finalmente, el número máximo de canales físicos asignados a un determinado MS está limitado a 8 RTSLs, pues éstos deben pertenecer a un mismo TRX.

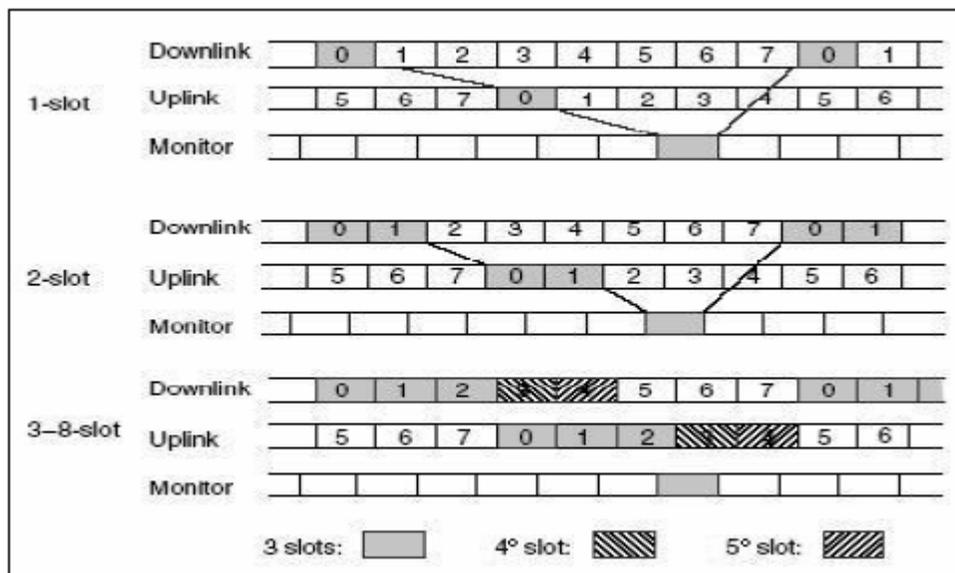


Figura 5: Capacidad multislot GPRS

2.3.3 Interfaz aérea

La interfaz aérea es la interfaz donde tiene lugar la comunicación entre el MS y el BSS. Es la interfaz más importante de la red ya que establece (o limita) el ancho de banda disponible para los usuarios, por esto, es el mayor cuello de botella en el rendimiento de la red GPRS.

Las funciones más importantes que se realizan a través de esta interfaz son Framing, codificación de canales, Modulación, Control de congestión, Sincronización, Multiplexing, Handover, Cifrado, entre otros.

2.3.3.1 Canales de GPRS

En GSM 25 MHz son divididos en 125 bandas de frecuencias, cada una con un ancho de banda de 200 kHz. En cada una de estas 125 bandas se puede transmitir una portadora, la que su vez se divide en timeslots (TSL) y cada uno de éstos es un canal físico a través del cuál es transmitida la información (physical channel). Es posible también compartir un canal físico entre muchos usuarios o procesos, éstos “segmentos” se llaman canales lógicos.

Los canales también se clasifican dependiendo de la información que llevan. Los canales de tráfico (TCH, traffic channels) transportan la voz y los datos, mientras que la mayoría de las señales de control se envían por canales que se denominan de control común (CCH, common control channels). Dependiendo de la cantidad de tráfico de datos se pueden asignar uno o más TCHs para GPRS. Estos TCHs asignados (“Packet Data Channel”, PDCH) pueden ser divididos a su vez en canales de tráfico y canales de control.

En GPRS no existen canales dedicados para la señalización como en GSM. Los PDCH son usados tanto para datos y como para señalización. En la Figura 6 se observa con los canales lógicos usados por GPRS.

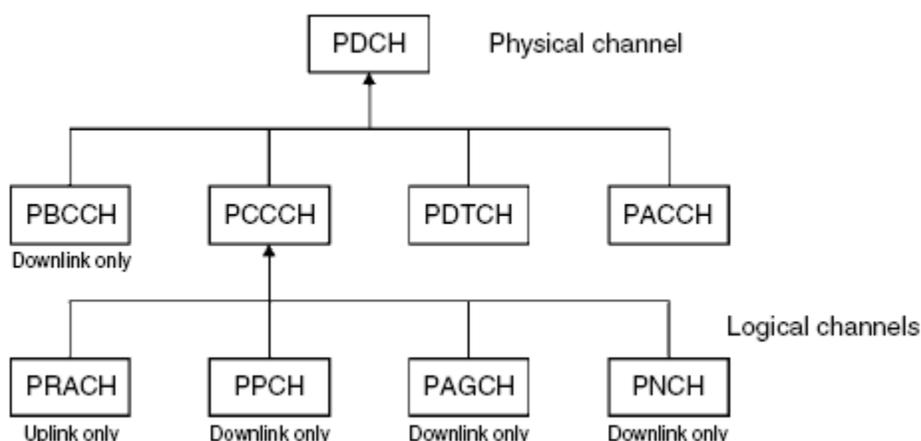


Figura 6: Canales lógicos en GPRS.

• **PBCCH (“Packet broadcast control channel”)**: es un canal de downlink usado para enviar a todos los usuarios de una celda información específica relacionada con los paquete de datos.

• **PCCCH (“Packet common control channel”)**: son canales lógicos usados para la señalización de control común para los paquetes de datos. Hay cuatro tipos de PCCCH:

- Packet random Access channel (PRACH): es un canal sólo de uplink usado por el MS para pedir un canal de tráfico para uplink y para obtener el estado de avance.

- Packet paging channel (PPCH): es sólo de downlink y se usa para hacer un page al MS antes de transferencia de paquetes.

- Packet access grant channel (PAGCH): es sólo de downlink y se usa para la asignación de recursos durante la fase de establecimiento de la conexión.

- Packet notification channel (PNCH): es sólo de downlink y se usa para notificar a un grupo de MS que se van a enviar paquetes PTM-M (Point-to-Multipoint Multicast)

• **PDTCH (“Packet data traffic channel”)**: se reservan para el envío de paquetes de datos. Este canal corresponde a la asignación de recursos de un solo MS en un canal físico para la transmisión de datos. Al operar con multislot un Ms puede usar múltiples PDTCH en paralelo para el envío de un paquete. El canal PDTCH es unidireccional.

• **PACCH (“Packet associated control channel”)**: Es un canal bidireccional dedicado a la señalización de algunos MSs. La información de señalización puede incluir *acknowledgments*, control de potencia, asignación de recursos o mensajes de reasignación.

2.3.3.2 Codificación de canales de GPRS

Las técnicas de codificación de canales son usadas para transmitir datos sin error. En el estándar GPRS se definen cuatro esquemas de codificación para canales de tráfico de datos, llamados CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4.

CS-1 tiene la más alta corrección de error y el más bajo *throughput*, mientras que el CS-4 tiene la más baja corrección de error y el más alto *throughput*.

2.3.3.3 Asignación de Timeslots

En la red GSM/GPRS los *timeslots* son usados para voz y datos. El tráfico de voz tiene prioridad sobre el tráfico de datos, sin embargo cuando algún *timeslot* no es usado para el tráfico de voz puede ser usado por GPRS. Desde el punto de vista de la red GPRS los *timeslot* se clasifican en:

- **Timeslots dedicados:** son de uso exclusivo para el tráfico de datos y permanecen asignados a GPRS a pesar que ocurra congestión en el tráfico de voz.
- **Timeslots por defecto:** por defecto se asignan a GPRS, pero en el caso que se requieran por tráfico de voz son reasignados para GSM.
- **Timeslots adicionales:** por defecto están asignados al tráfico de voz, pero en el caso que éste se bajo son reasignados dinámicamente para GPRS.

2.3.4 Elementos de la Red

2.3.4.1. Unidad de control de paquetes (PCU)

La unidad de control de paquetes PCU es el elemento de la red GPRS que se preocupa de separar el tráfico de voz o GSM del tráfico de datos generado por los usuarios, enviándolos a las redes GSM y GPRS según corresponda. Además la PCU desempeña la mayoría de las funciones de administración de los recursos de radio de la red (selección de esquema de codificación, asignación de recursos de radio, establecimiento de la conexión de radio, transferencia de datos, etc.), pudiendo estar ubicada en la BTS, en el BSC, o en algún otro punto entre el MS y el MSC. Debe haber al menos una PCU que sirva a un sector, en la cual los servicios GPRS están disponibles. En la actualidad está siendo usada tecnología FR para interconectar la PCU con el núcleo de red GPRS, pensando para el futuro la utilización de tecnología IP.

2.3.4.2. Nodo de soporte servidor GPRS (SGSN)

El SGSN es el componente principal de la red GPRS. Está conectado al BSS por medio de la Interfaz Gb. Para el Terminal móvil, constituye el acceso al servicio de la red GPRS. El SGSN puede servir a un gran número de BSCs y tiene que haber al menos un SGSN en la red GPRS ya que hay un área de cobertura asociada a este elemento.

Funciones del SGSN

El SGSN se encarga de:

- Retransmitir los datos entre el Terminal GPRS y el GGSN correspondiente. Lo realiza en ambos sentidos, dependiendo de donde provienen los datos.
- Soportar la interfaz Gb con la BSC
- Gestionar la autenticación de los terminales GPRS.
- Se encarga de la gestión de movilidad de los terminales.
- Cifrado entre el MS y el SGSN

- Recoger datos necesarios para generar CDRs de facturación y enviarlos al CG (charging gateway)
- Recolección de estadísticas de tráfico a objeto de administrar la red.

Arquitectura del SGSN.

En la figura 7 se observa la estructura y disposición de los elementos de un SGSN. (Cabe recordar, que la red GPRS corresponde a la implementación Nokia, por lo que el diagrama mostrado en la figura es válido solo para éste caso). Se identifican las siguientes componentes:

- Packet Processing Unit (PAPU). Unidad de Procesamiento de paquetes.
- Signalling and Mobility Management Unit (SMMU). Unidad de gestión de movilidad y señalización.
- Operation and Maintenance Unit (OMU). Unidad de Operación y Mantenimiento
- Group Switch (GSW) par alas conexiones semipermanentes dentro del sistema
- Exchange Terminals (ET), para la transmisión y señalización
- Clock and Synchronisation Units (CLS). Unidad de sincronización.

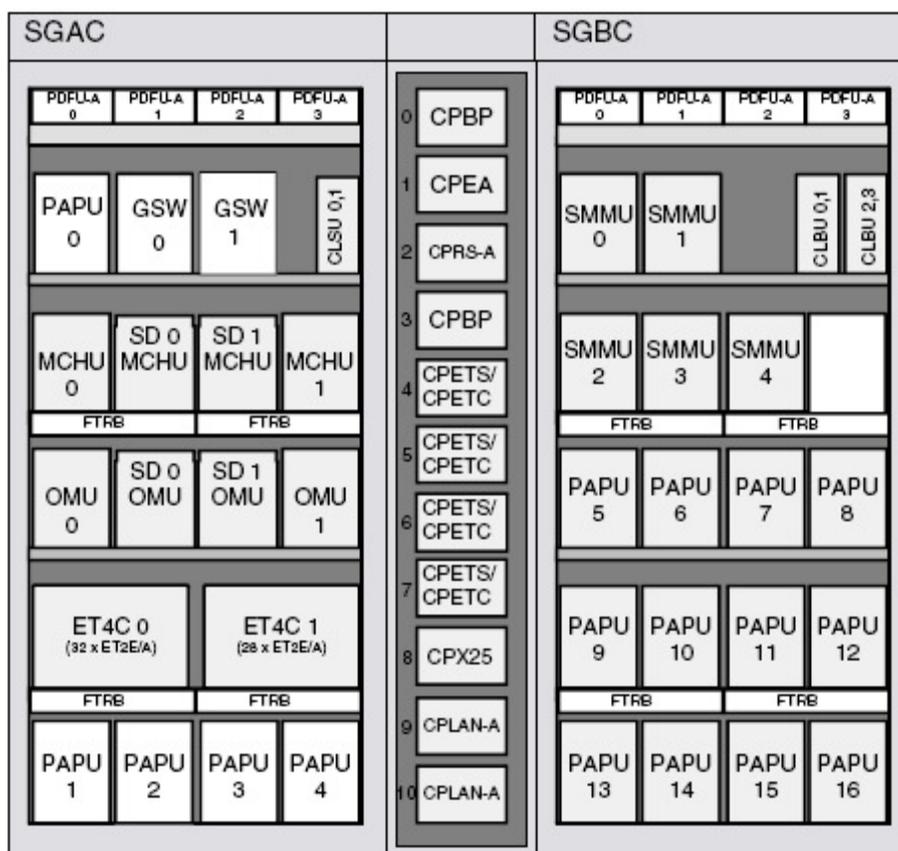


Figura 7 SGSN. Disposición de sus elementos

Se procederá a detallar brevemente los elementos más importantes de estos, que son la PAPU y el SMMU.

2.3.4.2.1 Unidad de procesamiento de paquetes (PAPU)

Uno de los componentes principales del SGSN es la PAPU, cuyo propósito primordial es procesar la información del usuario y la conversión del protocolo entre el BSS y la red vertebral GPRS. La unidad de procesamiento de paquetes maneja los procedimientos de gestión de movilidad GPRS (GMM), tales como el adjuntado y desadjuntado GPRS, y la gestión de la ubicación del MS (LM). También es responsable de la gestión de la sesión (SM), incluyendo la activación, modificación, desactivación del contexto PDP, así como es responsable de la entrega de SMSs sobre GPRS. La PAPU además se preocupa del cifrado y compresión de la información entre el MS y el SGSN.

2.3.4.2.2. Unidad de Gestión de movilidad y Señalización (SMMU)

El propósito principal de la SMMU es soportar funcionalidades GMM (gestión de movilidad en GPRS) de los usuarios, es decir, soportar todos los procedimientos que involucran el GMM (GPRS attach, GPRS detach, Location Management, etc.). Para realizar esto, hace uso de varias interfaces basadas en SS7 que conectan al SGSN con distintos electos de la red.

La SMMU tiene una base de datos que contiene la información de suscripción de los usuarios. También contiene los parámetros para la autenticación de identificación. Contiene en que PAPU y RA se encuentra un MS. Toda la información que almacena es temporal.

Otra base de datos que contiene el SMMU, se encarga de almacenar los PDP contexts.

2.3.4.3. Nodo de soporte pasarela GPRS (GGSN)

El GGSN está conectado a redes externas basadas en protocolos IP y X.25. Desde el punto de vista de las redes externas, el GGSN es un enrutador a una sub-red, porque éste esconde la infraestructura GPRS. Cuando el GGSN recibe información de datos dirigida a un usuario específico, revisa si la dirección (IP) está activa; si lo está el GGSN envía la información al SGSN que está sirviendo al MS, pero si la dirección está inactiva la información es descartada. Los paquetes de datos originados por el MS son encaminados hacia la red correcta por el GGSN. El GGSN rastrea el MS hasta el nivel de SGSN.

Funciones del GGSN

Las funciones que realiza el GGSN son:

- Recibir datos de un usuario desde una intranet o desde Internet y enviarlos hacia el SGSN que controla el MS, a través del backbone mediante el protocolo de tunnelling GTP.

- Recibir paquetes de datos del backbone GPRS, eliminar el túnel GTP y encaminar los datos del usuario hacia la intranet o Internet.
- Recibir datos de señalización desde el backbone y configurar la operación correspondiente.
- Recoger datos necesarios para generar CDRs de facturación y enviarlos al CG (charging gateway)
- Proporcionar direcciones IP a los terminales GPRS
- Handover Inter-SGSN

2.3.5 Interfaces de GPRS

El sistema GPRS introduce nuevas interfaces a la arquitectura de la red GSM, las cuales se pueden apreciar en la Figura 8. Las conexiones del sistema GPRS al NSS de la red GSM (GC, Gd, Gf, Gr y Gs) están implementadas mediante una red basada en el sistema de señalización número 7 (SS7), mientras que las otras interfaces y puntos de referencia están implementados mediante una red backbone Intra-PLMN (Gn), una red backbone Inter-PLMN (Gp) o a través de una red externa (Gi).

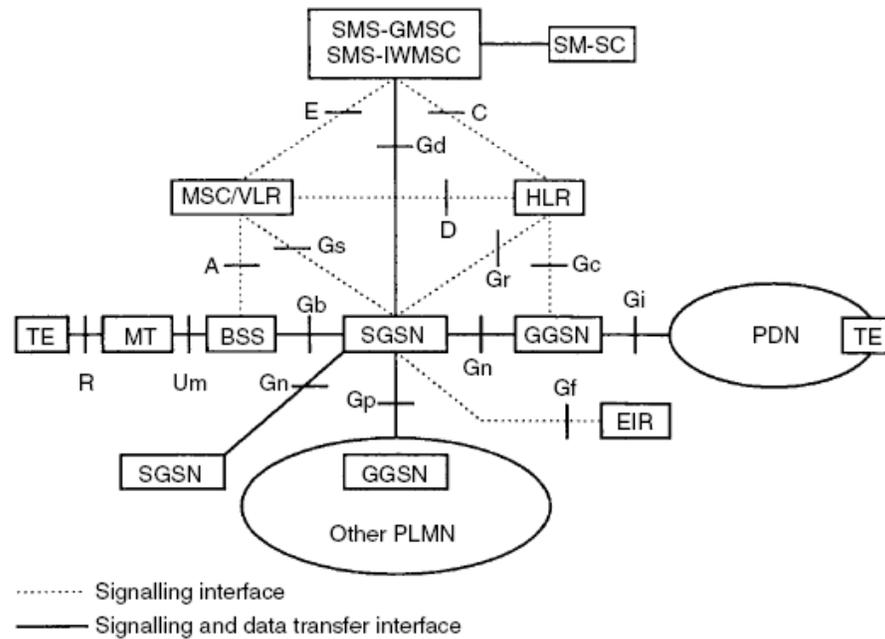


Figura 8: Interfaces de GPRS

- *Gb entre el SGSN y el BSS:* la interfaz Gb es la portadora del tráfico GPRS y de la señalización entre la red de radio GSM (BSS) y la parte GPRS. Esta interfaz está basada actualmente en tecnología FR y tecnología IP.

- *Gc entre el GGSN y el HLR:* sólo por esta interfaz opcional el GGSN puede solicitar información de ubicación del MS para una activación de un contexto PDP requerida por la red.

- *Gd entre el SMS-GMSC y el SGSN, y entre el SMS-IWMSC y el SGSN:* la interfaz Gd permite un uso más eficiente del servicio SMS.

- *Gf entre el SGSN y el EIR:* la interfaz Gf permite que el SGSN tenga acceso a la información de los equipos. En el EIR los MSs están divididos en 3 listas: la lista negra para los móviles robados, la lista gris para los móviles bajo observación y la lista blanca para los que operan válidamente.

- *Gi entre el GGSN y una red externa:* la red GPRS es conectada a una red de datos externa mediante este punto de referencia. La red GPRS debe soportar una variedad de tipos de redes de datos.

- *Gn entre 2 GSNs dentro de la misma PLMN:* esta interfaz proporciona transferencia de datos y señalización mediante la red backbone Intra-PLMN. EL

protocolo GTP es utilizado en la interfaz Gn (y en la Gp) sobre la red vertebral basada en IP.

- *Gp entre 2 GSNs en varias PLMNs*: la interfaz Gp proporciona las mismas funcionalidades que la Gn, pero también proporciona funciones de seguridad y enrutamiento, entre otras, que garantizan un correcto funcionamiento Inter-PLMN.

- *Gr entre el SGSN y el HLR*: esta interfaz le da al SGSN acceso a la información de los suscriptores presente en el HLR, el cual puede estar ubicado en una PLMN diferente a la del SGSN.

- *Gs entre el SGSN y el MSC*: mediante esta interfaz opcional, el SGSN puede enviar al MSC datos de la ubicación de los Mss o recibir desde el MSC peticiones para contactar a un determinado MS. LA interfaz Gs permite mejorar de gran manera el uso efectivo de los recursos tanto de radio como de red, en la red GSM/GPRS combinada.

- *R entre el MT y un equipo terminal (TE)*: este punto de referencia conecta al MT con el TE, permitiendo de esta manera que por ejemplo un computador se conecte a una red de datos por el MS.

- *Um entre el MS y la parte fija de la red GPRS*: Um es la interfaz de acceso del Msa la red GPRS. El MS tiene una interfaz de radio con la BTS, la cual es compartida entre la red GSM y la red GPRS, con algunos cambios específicos.

2.3.6 Arquitectura de protocolos GPRS

El sistema GPRS introduce nuevos protocolos a la red GSM, los cuales posibilitan el interfuncionamiento de los elementos GPRS. En la Figura 9 se muestra el plano de transmisión usado en el sistema GPRS

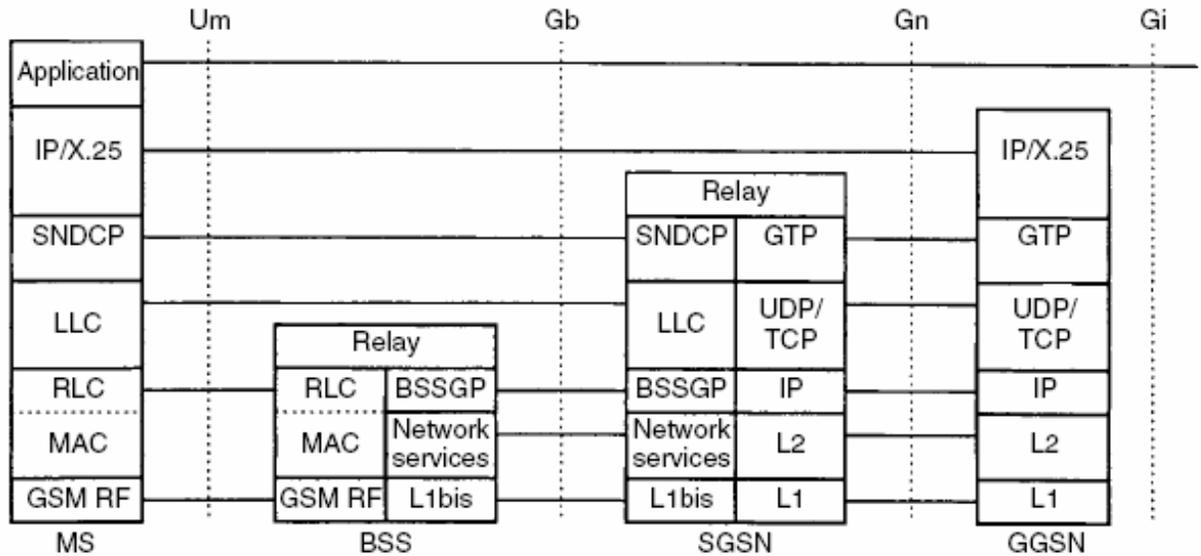


Figura 9: Plano de transmisión

2.3.6.1 Capa física (PHY-GSM RF)

La capa física se separa en dos sub-capas, la capa física de radio frecuencia RF y la capa física de enlace. La capa física RF realiza la modulación de las formas de ondas físicas basada en una secuencia de bits que recibe la capa física de enlace. Así como también realiza la demodulación de las formas de ondas recibidas, traduciéndolas en secuencias de bits que son transferidas a la capa física de enlace para su interpretación.

La capa física de enlace proporciona servicios para la transferencia de información sobre un canal físico entre el MS y la red. La capa física de enlace opera sobre la capa física RF, realizando funciones de codificación de datos y detección y corrección de errores en el medio de transmisión físico. El propósito de esta subcapa es transmitir

información a través de la interfaz de radio, pudiendo soportar que múltiples MSs compartan el mismo canal físico.

2.3.6.2 Capa de control de enlace de radio y del acceso al medio (RLC/MAC)

Esta capa proporciona servicios para la transferencia de información sobre la capa física de la interfaz de radio GPRS. Estas funciones incluyen un procedimiento de corrección de errores hacia atrás, que es posible gracias a la retransmisión selectiva de los bloques RLC erróneos. La función RLC ofrece un radio enlace confiable a las capas superiores. La capa RLC/MAC equivale a la capa 2 del modelo OSI.

2.3.6.3 Capa de control enlace lógico (LLC)

La capa LLC es independiente de las capas inferiores y ofrece a las capas superiores un enlace lógico seguro y confiable entre el MS y el SGSN, esta capa tiene 2 modos de transferencia, con acuse de recibo (ACK) y sin acuse de recibo (UNACK), transmitiendo señalización, SMSs y paquetes SMDP.

2.3.6.4. Capa de protocolo de convergencia dependiente de la sub-red (SMDP)

El protocolo SMDP constituye una función de mapeo y compresión entre la capa de red (del modelo OSI) y las capas inferiores. También realiza segmentación, reensamblado y multiplexado de los paquetes de datos.

2.3.6.5 Capa de protocolo de tunelización GPRS (GTP)

El protocolo GTP se utiliza para transmitir PDP PDUs entre las interfaces Gb y Gn y es usado para encapsular tanto la información del usuario como la señalización, para así ser transmitida entre los GSNs. El procedimiento de encapsular la información de datos dentro de una red se denomina túnel y es totalmente transparente para el usuario, permitiendo una mayor seguridad y confidencialidad de la información, ocultando a las redes de datos externas características de la red GPRS.

2.3.7 Gestión de movilidad GPRS (GMM)

Esta gestión se maneja casi de la misma manera que en el sistema GSM. Una o más celdas constituyen un área de enrutamiento (RA), la cual es un subconjunto de un área de ubicación (LA). Cada RA es servido por un SGSN. El rastreo de la ubicación del MS depende del estado de gestión de movilidad en el que se encuentre. Cuando un MS se encuentra en estado STANDBY (en espera), su ubicación se conoce a nivel de RA y cuando el MS está en estado READY (listo), su ubicación se conoce a nivel de celda (o sector).

2.3.7.1 Estados de la gestión de movilidad

En la Figura 10 se muestran los distintos estados de gestión de movilidad.

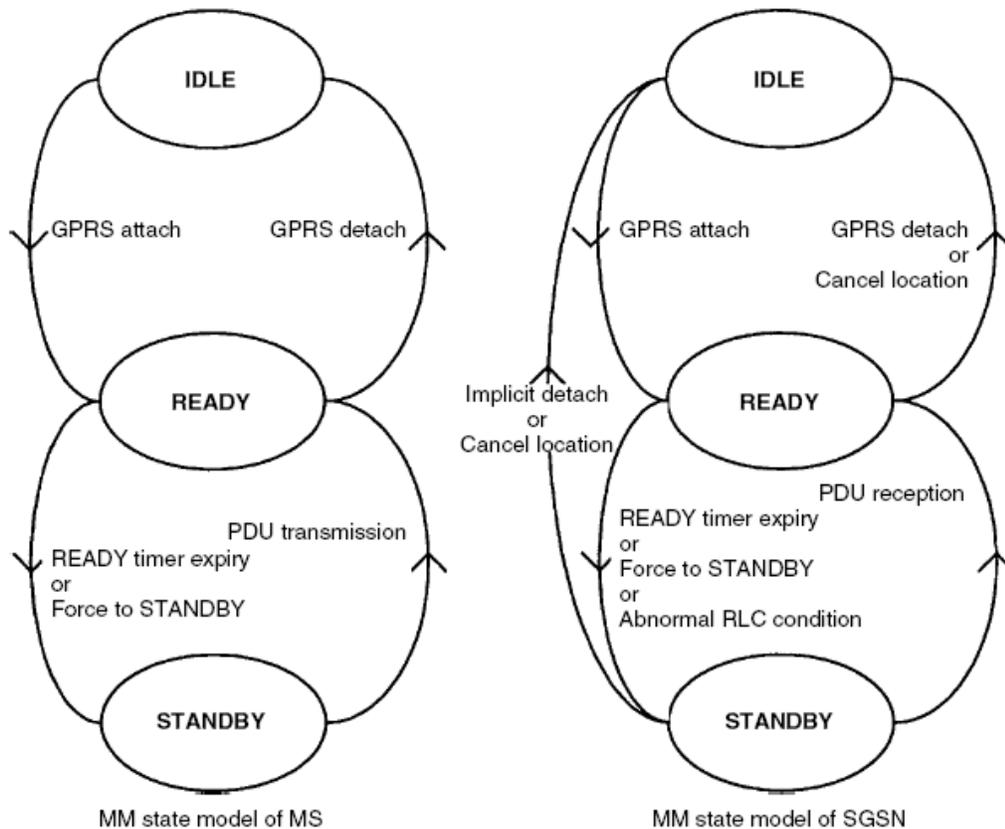


Figura 10: Estado de gestión de Movilidad

Los estados de gestión de movilidad son: IDLE (libre), READY (listo) y STANDBY (en espera) El estado IDLE se asigna cuando el suscriptor esta pasivo (no attached a GPRS). El estado STANDBY es asignado cuando el suscriptor ha terminado una fase activa. Un MS se encuentra en una fase activa (estado READY) cuando está transmitiendo información o recién ha dejado de hacerlo. El cambio entre estados ocurre en base a actividad o cuando un tiempo determinado expira.

2.3.7.2. Atachado y desatachado GPRS

El attached y detached GPRS son funciones del GMM para establecer y terminar respectivamente una conexión a la red GPRS. Con el attached el MS pasa del estado IDLE al estado READY, se establece un contexto MM, el MS es autenticado, las llaves de cifrado son generadas, se establece un enlace cifrado y se le asigna al MS una identidad de enlace lógico temporal (TLLI), que identifica de manera inequívoca el enlace lógico entre el MS y el SGSN (éste recibe las peticiones y las procesa). Luego, busca la información del suscriptor desde el HLR. En estas condiciones el MS puede enviar y recibir SMSs, pero no otro tipo de información de datos, para lo cual debe tener un contexto PDP activo. El detached GPRS se utiliza cuando el suscriptor desea terminar su conexión con la red, mediante el cual el MS pasa del estado IDLE y el contexto MM es removido.

2.3.8 Gestión de sesión

Esta gestión se refiere a los procedimientos de activación, modificación y desactivación de una sesión de transferencia de datos entre el MS y una red de datos externa. Para iniciar una sesión de datos, el sistema cuenta con un grupo de funciones para asociar a un MS una dirección (principalmente IP) y para liberar esta asociación (contexto PDP).

2.3.8.1 Contexto de protocolo de paquete de dato (PDP)

Las funciones del contexto PDP son funciones a nivel de Red, usadas para vincular a un MS con varias direcciones PDP y posteriormente usadas para desvincular al MS de esas direcciones. Cuando el MS está attached a la red GPRS, éste debe activar todas las direcciones que desea utilizar para traficar datos con las redes externas. Varios contextos PDP deben ser activados pues estos incluyen dirección, atributos de QoS (calidad de servicio), etc. Luego que el suscriptor ha terminado de utilizar las direcciones, éstas deben ser desactivadas. Algunas veces se deben realizar cambios en los atributos de una determinada dirección. El MS puede usar estas funciones cuando se encuentra en estado STANDBY o READY. El GGSN también puede usar estas funciones, pero el SGSN es el responsable de realizarlas. Finalmente el MS puede elegir un GGSN en particular para acceder a un determinado servicio, pudiendo activar anónimamente un contexto PDP, sin utilizar ningún tipo de identificación.

2.3.8.1.1 Direcciones PDP estáticas y dinámicas

Un suscriptor puede usar varios tipos de direcciones PDP. Una dirección PDP estática es permanentemente asignada a un MS por el HPLMN, así como también el HPLMN puede asignar una dirección PDP dinámica a un MS, cuando éste realiza la activación de un contexto PDP. Por último cuando el MS activa un contexto PDP en una VPLMN también se le asigna una dirección PDP dinámica. Se indica en la suscripción del MS si es que éste puede tener una dirección estática o dinámica.

2.3.8.1.2 Activación del contexto PDP

La activación del contexto PDP puede ser llevada a cabo por el MS o por la red. La petición de la activación del contexto es enviada al SGSN cuando una determinada dirección requiere de activación. Opcionalmente la petición puede ser realizada por el GGSN, si es que éste ha recibido paquetes de dirección sin contexto PDP activo o el MS está adjuntado a la red GPRS. La petición contiene parámetros para el contexto, como el TLLI, el tipo de protocolo a utilizar, el tipo de dirección a usar, atributos QoS, el GGSN elegido, etc.

2.3.8.1.3 Modificación contexto PDP

Sólo los parámetros de QoS negociada y la prioridad de los recursos de radio pueden ser modificados. Esta modificación puede ser realizada por el SGSN, el cual envía la petición de modificación al MS, pudiendo éste aceptarla o no.

2.3.8.1.4 Desactivación del contexto PDP

La desactivación puede ser realizada por el MS o por red. Cada dirección puede ser desactivada separadamente, pero cuando se realiza un desatachado GPRS, la red automáticamente remueve todos los contextos PDP.

2.3.9 Gestión de ubicación

Los procedimientos de gestión de ubicación son utilizados para manejar los cambios de una celda y/o de una RA, y las actualizaciones periódicas de las RA. Si un MS pasa un tiempo prolongado en un mismo lugar, la red debe recibir una indicación de que el MS está aún alcanzable. Es por esto que se realizan actualizaciones de las RA (RAU) de manera periódica. Todos los MSs atachados a la red GPRS realizarán un RAU periódico, salvo un MS en modo de operación clase B que se encuentre realizando una llamada de voz (CS). Un MS en estado READY realiza una actualización de celda cuando éste cambia de celda dentro de una misma RA. Cuando un MS cambia de celda entre RA diferentes, realiza un RAU. Existen dos tipos de RAU:

- RAU Intra-SGSN
- RAU Inter-SGSN (IRAU)

El SGSN puede manejar varias RA y si la nueva RA pertenece a otro SGSN, se realiza un IRAU, en este caso el SGSN antiguo reenvía los paquetes de datos del usuario al nuevo SGSN. Si la nueva RA pertenece al mismo SGSN al cual pertenecía la antigua RA, se realiza un Intra – SGSN RAU.

2.3.10 Transferencia de paquetes entre GSNs

Los paquetes de datos que pretenden enviar los usuarios a través del backbone GPRS se encaminan “envasados” dentro del core GPRS. Esto quiere decir, que cuando un paquete enviado desde una red externa llega al GGSN, se inserta dentro de un envase y es enviado al SGSN. Para el usuario, esta forma en que se envían los paquetes dentro del core es absolutamente transparente ya que solo él percibe que está conectado directamente a la red externa mediante un router (GGSN). Este procedimiento de envasar los paquetes dentro de una red se denomina *túnel* y se dice que los GSNs están realizando un *tunneling* de los paquetes.

El protocolo encargado de este procedimiento se denomina GTP (GPRS Tunneling Protocol). Se tiene entonces que el paquete GTP contiene el paquete de datos que realmente está recibiendo o enviando el usuario (este paquete puede ser TCP/IP). El paquete GTP luego es transportado a través del core GPRS dentro de otro paquete TCP/IP. El paquete GTP va a indicar a que usuario va dirigido el paquete y el paquete TCP/IP dentro del core indica a que GSN se envía.

2.3.11 Calidad de servicio en GPRS (QoS)

La información sobre la calidad de servicio para un usuario está contenida en el HLR y, tal como se mencionó anteriormente, durante el establecimiento del contexto PDP, la red GPRS y el MS deben negociar el perfil de QoS. El perfil de QoS se basa en los siguientes atributos:

- Clase prioridad: indica la prioridad que debe ser dada a los paquetes de los usuarios, con el objetivo de mantener un determinado servicio bajo contingencias, como

por ejemplo la congestión. Los paquetes de algunos usuarios serán descartados para así poder cumplir con las exigencias de los usuarios de mayor clase de prioridad.

- Clase de retardo: indica el retardo asociado a los paquetes de datos en su paso por la red, El operador de red debe adecuar sus recursos de transmisión de radio y de red para que pueda soportar el número esperado de usuarios por celda.

- Clase de fiabilidad: se define en términos de la probabilidad que se pierdan los datos, que se entreguen fuera de secuencia, que se entreguen datos duplicados o corruptos. Esta clase indica la cantidad de servicios de control de errores a ser proporcionado a los datos del usuario.

- Clase de tasa de transferencia máxima: corresponde a la máxima tasa de transferencia que se espera los datos sean transmitidos para un determinado contexto PDP. No existen garantías que esta tasa se pueda alcanzar o mantener durante la sesión del usuario ya que depende de los recursos de radio disponibles y de la capacidad del terminal.

- Clase de tasa de transferencia media: es la tasa de transferencia media a la que se espera que los datos sean transmitidos a través de la red GPRS para un determinado contexto PDP durante el tiempo que éste este activo.

Las especificaciones definen un conjunto de reglas para diferentes clases de servicio, ya que los parámetros de QoS no son una descripción exacta para cada uno de los contextos PDP. Cada operador de red debe decidir cómo y cuándo va a satisfacer los requerimientos de los suscriptores.

Cada perfil de QoS se considera como un único parámetro con varios atributos que hacen referencia a la transferencia de datos, y es a partir de estos datos que el operador de red puede establecer tarifas diferenciadas de acuerdo a la QoS contratada por el usuario.

CAPITULO 3: IDENTIFICACIÓN DE CONTADORES Y RANGOS PARA DIMENSIONAR CAPACIDAD Y CARACTERIZAR LA CALIDAD DE LA RED GPRS

3.1 Descripción física red GPRS de Movistar

La red GPRS de Movistar consta con los siguientes elementos:

- 3 SGSNs
- 4 GGSN
- 1 DNS
- 1 BG
- 1 CG
- 52 BSCs

Salvo las BSC que están distribuidas a lo largo de todo Chile, los demás elementos se encuentran todos en Santiago.

3.2 Capacidad de los componentes e interfaces relevantes

3.2.1 Abis – PCU – Gb

En el sistema GSM/GPRS, los RTSL definidos en los TRXs de un sitio, están conectados mediante un enlace de hasta 4 Mbps (2 enlaces E1 de 2 Mbps) dependiendo de la cantidad de TRXs en el sitio en cuestión, lo que constituye la interfaz Abis. Sobre este enlace se pueden mapear hasta 256 Subcanales PCM, de una capacidad de 16 kbps cada uno, los cuales son asignados uno a uno con cada RTSL disponible en los TRX. El conjunto de 4 subcanales PCM se conoce como un canal PCM, con capacidad total de 64 kbps, por lo que en la interfaz Abis se puede tener hasta 64 canales PCM, lo que se puede configurar dentro de la PCU como 2 pilas de 32 canales PCM cada una, considerando que en cada pila de canales, se pueden utilizar 31 canales, dejando uno de control.

La información de voz, propia del sistema GSM, relativa a un TRX, en el cual se definen 8 RTSL, puede ser transportada por 2 canales PCM, a través de la interfaz Abis. Esto se debe a que la codificación de la voz es menor que la capacidad que tiene un subcanal PCM (16 kbps) para transportarla. Considerando ahora el caso GPRS/EDGE, se tiene que los esquemas de codificación de la información de datos, permiten distintas tasas de transferencia para un mismo RTSL, por lo que salvo en los esquemas de codificación (M)CS-1 y (M)CS-2, el mapeo de un subcanal PCM por RTSL, con una capacidad de transmisión de 16 kbps, no es suficiente. Por esto se considera la implementación de una EDAP (Extended Dynamic ABIS pool). Con lo anterior, se tiene un conjunto de subcanales PCM de 16 kbps, que pueden ser dinámicamente asignados a un RTSL para un determinado MS, cuando ésta requiera mayor capacidad de transmisión en la interfaz Abis (debido a la utilización de esquemas de codificación de menor redundancia). El tamaño de la EDAP se define a partir del número de canales PCM asignados a ésta, cuya cantidad varía dependiendo del número de TRX presentes en el sitio, los cuales limitan el tamaño de la EDAP desde 4 hasta 1 canal PCM. Una EDAP puede manejar 32 TRXs como máximos, y su tamaño puede alcanzar hasta 12 canales PCM.

La capacidad de la PCU está limitada a 2 Mbps (2.048 kbs), la cual puede ser configurada en escalones de 2 a 31 canales PCM (64 kbps). Dependiendo de la versión, la PCU puede manejar 256 RTSL, los cuales representan los canales de 32 TRXs. Además la PCU puede ser conectada a un máximo de 64 BTSs. La asignación de las distintas BTSs a una misma PCU se realiza mediante el identificador de entidad de servicio de red (NSEI), el cual permite discriminar al conjunto de BTSs que han sido asignadas a una PCU en particular, la cual es diferenciada inequívocamente del resto de las PCUs presentes en la red GPRS. En una PCU, se pueden definir hasta 16 EDAPs, ya que ésta cuenta con 16 procesadores digitales de señal (DSP), los cuales pueden manejar hasta 5 canales PCM, los que constituyen 20 subcanales PCM. A la vez, un DSP puede atender a solo una EDAP, pero una EDAP puede ser atendida por varios DSPs.

Por otra parte, la interfaz Gb esta basada en tecnología FR, y puede ser implementada de distintas maneras, entre las cuales, las más comunes son a través de un enlace punto a punto de 2 Mbps, entre un conjunto de PCUs y el SGSN, o a través de paquetes de datos FR, la cual interconecta varios conjuntos de PCUs con un SGSN.

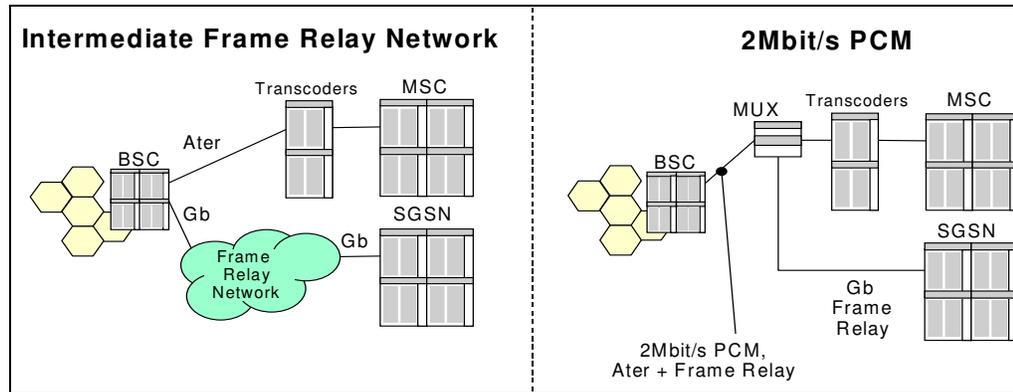


Figura 11 Opciones de transmisión Interfaz Gb

Para el caso del enlace punto a punto entre la PCU y el SGSN, a cada PCU se le asigna un canal portador, multiplexado temporalmente, para hacer un uso eficiente de la capacidad disponible en el enlace E1 presente entre el conjunto de PCU y el SGSN. Un enlace E1 se divide en 31 canales de 64 kbps, más un canal de control de la misma capacidad, dejando 1,984 Mbps a ser utilizado por las PCUs. Si se consideran canales portadores de 256 kbps cada uno pueden existir 7 de estos, dejando un canal portador de una capacidad de 192 kbps para completar la trama. Si una PCU no hace uso de su canal portador, éste se puede asignar a otra PCU que así lo requiera de acuerdo a la cantidad de tráfico que esté manejando.

Cuando la conexión de un conjunto de PCUs con el SGSN se realiza mediante una red de paquetes FR, en la red FR se debe definir una tasa de transmisión de información comprometida (CIR), la que garantiza una capacidad (en kbps) determinada en los troncales que constituyen la red, también denominados bearer channel.

A continuación se entrega una tabla resumen de la capacidad por PCU

| | PCU-B |
|---|--------------|
| Número máximo de BTSs | 64 |
| Número máximo de TRXs | 128 |
| Número máximo de RTSLs | 256 |
| Número máximo de canales Abis a 16 kbps | 256 |
| Número máximo de canales Gb a 64 kbps | 31 |
| Número máximo de Edaps | 16 |

Tabla 1 Capacidad PCU

3.2.2 SGSN

Las unidades funcionales más importantes dentro del SGSN son

- Unidad de procesamiento de paquetes (PAPU)
- Unidad de gestión de Movilidad y Señalización. (SMMU)

La capacidad del SGSN para el tratamiento de datos depende del número de PAPUs. Similarmente, la capacidad de abonados depende principalmente del número de SMMUs. Entonces, la capacidad del SGSN puede incrementarse adicionando PAPUs y SMMUs.

La capacidad máxima de abonados registrados por PAPU es de 40000

El número máximo de PCUs que puede soportar una PAPU corresponde a 64.

Cada SMMU tiene capacidad para 60000 abonados.

Un PDP context es garantizado para cada abonado, y 1-3 PDP context activos se pueden asignar dinámicamente de un total de 240000 PDP contexts.

A continuación, se muestra una tabla resumen con las capacidades del SGSN

| | SGSN |
|-----------------------------------|---|
| Abonados SGSN | 640 000 (16 PAPUs) |
| Tasa transf. SGSN | 100 Mbps (100 % capacity) |
| PDP context activos por abonados | 1 - 4 |
| Maximo # de PDP contexts por SGSN | 480000 |
| PAPU | 16 + 1 max 40 000 abonados por PAPU 512 MB memory |
| SMMU | 4 + 1 max 60 000 abonados por SMMU 128 MB |

Tabla 2 Capacidad SGSN

3.2.3 GGSN

El número máximo de PDP contexts activos para cada GGSN es 1000000. Soporta 80 Mbps para GTP tunneling y 250 access points.

3.3 Indicadores y estadísticas de desempeño

Los indicadores de desempeño (KPI) de una red de datos GPRS, permiten apreciar cuan bien o mal esta operando la red. Los indicadores pueden estar constituidos por una fórmula, un conjunto de éstas o un contador. Basado en la forma en que éstos indicadores son capturados, es posible clasificarlos de la siguiente manera:

- KPIs pasivos: Son calculados directamente por el NMS (network management subsystem) de la correspondiente red.
- KPIs activos: son medidos en terreno por un operador humano con diferentes herramientas de monitoreo disponible.

Dependiendo de, si los indicadores se enfocan en el desempeño de la red de datos o en el desempeño de los servicios, éstos se pueden clasificar aun más:

KPIs de red: Estos indicadores proporcionan información del desempeño de la red móvil. Informa respecto a la asignación de recursos de radio, utilización de las interfaces y comportamiento de la señalización. Estos KPIs se pueden subdividir a su vez en:

- KPIs de acceso de radio. Estos KPIs miden el nivel de accesibilidad y la capacidad de retención de la red GPRS.
- KPIs de núcleo. Estos indicadores miden el nivel de carga de las interfaces de transporte y de los elementos de red.
- KPIs de señalización: Permiten monitorear, en diferentes áreas, la carga de señalización asociada a los procedimientos de gestión de movilidad.

3.3.1 Descripción de contadores

Las tablas y contadores que se van a usar para obtener los indicadores que caractericen la red, provienen básicamente del SGSN y GGSN. A continuación se describe el tipo de información desplegada por cada tabla y que contadores contiene.

3.3.1.1 Tablas del SGSN.

Del OSS, es posible extraer las tablas que almacenan información relacionada con el manejo de la movilidad, manejo de sesión, información de los usuarios registrados, tráfico de datos a través del SGSN y la carga de los distintos elementos que la componen.

Las tablas más importantes, que son las que se utilizan para determinar los indicadores que se mencionan mas adelante, son:

p_sgsn_mobility_management: Esta tabla contiene la información referente a los procedimientos de gprs attach, detach y routing area update.

p_sgsn_session_management: Esta tabla contiene la información referente a los contextos PDP.

3.3.2 Determinación de indicadores a considerar

Los indicadores considerados son los enfocados a la red de núcleo.

Con estos indicadores se pretende lograr una caracterización de la red. Se especifican indicadores de control, los que sirven para monitorear la red y evitar una posible saturación de la red, e indicadores de calidad, a partir de los cuales se pueden determinar las fallas que estén ocurriendo en la red.

Los valores umbrales para los cuales se califica como bueno o malo el desempeño del indicador, son los que el proveedor de la red GPRS aconseja.

3.3.2.1 Indicadores BSS

Carga interfaz Gb (downlink)

Mide la utilización promedio del enlace en la interfaz Gb

Valores deseados: Depende del tamaño del enlace y si esta o no habilitado EDGE. La siguiente tabla muestra los valores umbrales, por debajo de los cuales, la carga es considerada normal.

| EDGE | | GPRS | |
|------|--------|------|--------|
| CIR | Umbral | CIR | Umbral |
| 128 | 25% | 64 | 30% |
| 256 | 61% | 127 | 45% |
| 384 | 68% | 192 | 55% |
| 512 | 68% | 256 | 70% |
| 640 | 70% | | |
| 768 | 75% | | |
| 896 | 85% | | |
| 1024 | 90% | | |

Tabla 3 Recomendación carga Gb

3.3.2.2 Indicadores SGSN

Indicadores de calidad

Se consideran los indicadores que tienen relación a las funciones más importantes realizadas por el SGSN, que son, el manejo de sesión y el manejo de la movilidad.

GPRS Attach

Mide los procesos de atachado exitosos.

Valores:

Bueno: >95%

Malo: <85%

Porcentaje de activación de contexto PDP exitosos

Mide el porcentaje de activaciones exitosas de contextos PDP.

Valores:

Bueno: >99%

Malo: <95%

Porcentaje de Inter-SGSN RAU exitosos

Entrega el porcentaje de inter-sgsn routing area update exitosos.

Valores:

Bueno: >90%

Malo: <75%

Porcentaje de Inter-PAPU RAU exitosos

Entrega el porcentaje de inter-PAPU routing area update exitosos.

Valores:

Bueno: >97.5%

Malo: <95%

Porcentaje de Intra-PAPU RAU exitosos

Entrega el porcentaje de intra-PAPU routing area update exitosos

Valores:

Bueno: >97.5%

Malo: <95%

Porcentaje de Periodic RAU exitosos.

Entrega el porcentaje de periodic routing area update exitosos.

Valores:

Bueno: >99%

Malo: <97.5%

Indicadores de control

Abonados attached en PAPUs

Mide la cantidad de abonados attached en cada PAPU.

Valores:

Bueno: <75% en base a la capacidad de la PAPU

Malo: >90% en base a la capacidad de la PAPU

Usuarios registrados

Mide la cantidad de abonados registrados en cada SGSN

Valores:

Bueno: <70% en base a la capacidad de la PAPU

Malo: >85% en base a la capacidad de la PAPU

3.3.2.3 Indicadores GGSN

Indicadores de calidad

Porcentaje de activación de contextos PDP exitosos

Mide el porcentaje de contextos PDP activados exitosos visto desde el GGSN. Se calcula para cada APN

Valores:

Bueno: >99.5%

Malo: <99%

GTP MBytes in

Mide la cantidad de paquetes GTP enviado en dirección uplink (desde el SGSN al GGSN). Unidad en MBytes. Calculado para cada APN.

GTP MBytes out: Mide la cantidad de paquetes GTP enviado en dirección downlink (desde el GGSN al SGSN). Unidad en MBytes. Calculado para cada APN.

Indicadores de control

Carga CPU GGSN

Indica el porcentaje que se esta usando de la CPU del GGSN.

Valores:

Bueno:<40

Malo: >60

Utilización de memoria GGSN

Indica que porcentaje de la memoria del GGSN se esta utilizando para procesar todos los requerimientos.

Valores:

Bueno:<60

Malo: >80

3.3.2.4 Factores que influyen en los indicadores de calidad y recomendaciones

A partir de las tablas de donde se obtienen los contadores que definen los indicadores, es posible ver que factores influyen en el desempeño de cada uno.

A continuación se nombran estos factores, de tal forma que, al encontrarse valores de los indicadores que indiquen un desempeño regular o malo de la red, sea posible identificar la falla que causa este bajo desempeño revisando estas tablas y poder así tomar alguna acción para revertir la situación.

GPRS Attach

En la tabla P_SGSN_MOBILITY_MANAGEMENT, se encuentran los contadores que intervienen en este proceso.

Alguna de las causas que hace que este indicador disminuya, son las siguientes:

- El MS cuenta con una SIM que no tiene permitido el servicio GPRS
- El MS no es aceptado por la red, debido a, por ejemplo, encontrarse en la lista negra del EIR
- El MS no superó los procedimientos de autenticación
- El MS no tiene permisos para operar ni en GPRS ni en GSM.
- El MS no es aceptado porque la PAPU esta sobrecargada.

Para lograr que este indicador se mantenga óptimo, desde el punto de vista de la planificación, se debe tener en cuenta la carga de las PAPUs.

Si una PAPU se encuentra sobrecargada, se tiene la alternativa de dividir un LA (Área de Localización) en varias Áreas de enrutamiento (RA). Con esto se tiene que una BSC que tiene una cantidad de usuarios atachados y que no puede ser manejada por una PAPU, pueda ser manejada por dos o más PAPUs.

Porcentaje de activación de contexto PDP exitosos

En la tabla P_SGSN_SESSION_MANAGEMENT, se encuentran los contadores que intervienen en este proceso.

Las causas que hacen que disminuya este indicador son:

- La red externa a la que el MS desea acceder, lo rechaza por una falla en la autenticación del usuario.
- Debido a que el NSAPI que se incluye en el mensaje de activación, ya esta siendo usado en otro PDP context.
- La red externa a la que se quiere acceder rechaza la solicitud porque el mensaje de activación no incluye ningún APN o la red desconoce el APN.

- El servicio al que quiere acceder el MS no esta soportado por la red.
- El servicio al que se quiere acceder esta fuera de servicio.

Se observa que las causas que disminuyen el rendimiento de este contador, se refieren más que nada, a problemas de que no tienen tanto que ver con el backbone de la red. Los problemas presentados son básicamente referidos a fallas, ya sea, de autenticación, APNs ID, asignación errónea de NSAPIs, etc., por lo que, este indicador no debiera presentar niveles muy distantes de lo que se considera como BUENO, si se identifica la causa y se toma la acción correspondiente. Por ejemplo, si en una BSC se esta accediendo a un APN corporativo que no esta funcionando aun, esto produciría una disminución de este indicador durante el tiempo que el APN no sea levantado.

RAUs

Porcentaje de Inter-SGSN RAU exitosos

Porcentaje de Inter-PAPU RAU exitosos

Porcentaje de Intra-PAPU RAU exitosos

Porcentaje de Periodic RAU exitosos.

Para los distintos tipos de RAUs hay contadores que detectan las siguientes fallas.

- Cuando la red rechaza al MS, porque la identidad del MS no se acepta o porque no paso los procedimientos de autenticación
 - Cuando al MS no se le permite operar servicios GPRS
 - LA red no puede derivar la identidad del MS a partir del P-TMSI en caso de un interSGSN RAU
 - La red ha realizado un implicit detach del MS o cuando la información de GMM del MS no existe en el SGSN
 - EL MS intenta un RAU en una PLMN donde por suscripción o por determinación del operador, no le esta permitido operar.
 - Cuando el MS intenta un RAU en un LA donde por suscripción no le está permitido operar
 - El MS realiza un GPRS attach en una PLMN que ofrece roaming a ese MS

- El MS intenta acceder a una PLMN que no ofrece servicios GPRS para ese MS
- El MS requiere un RAU en un LA donde no le esta permitido operar por suscripción

Se observa que estas causas son ajenas al desempeño de la red.

En la medida que este indicador sea alto, significa que son pocos los usuarios que ven su servicio interrumpido al momento de cambiar de RA.

Carga de las PAPUs.

La carga en cada PAPU esta muy por debajo del umbral establecido, de 30000 (40000 capacidad*0.75%) abonados. Esto implica, que no existan rechazos por sobrecarga de las PAPUs en los procedimientos de GPRS attach, RAUs y activación PDP context. De todas formas, es recomendable el uso de alarmas que indiquen cuando se esta llegando al 75% de la capacidad de la PAPU

CAPÍTULO 4: MODELO DE PREDICCIÓN

4.1 Introducción

Se propone un modelo predictivo, con el fin de poder pronosticar la carga de las componentes relevantes de la red GPRS, ya sea, carga de CPU, carga en la interfaz, etc.

Este modelo está basado en el trabajo de series temporales y redes neuronales. Las redes neuronales han demostrado ser una eficaz herramienta para realizar pronósticos, usándose en distintas ramas de las matemáticas.

Primero se tratará el tema de las series de tiempo, el cómo se caracteriza una, la obtención de sus distintos parámetros, etc., para luego entrar en lo que son las redes neuronales, definiendo la arquitectura de red que se utilizará, sus variables y medidas de desempeño. Finalmente se realizarán las pruebas, como parte de las cuales se efectuarán comparaciones con datos estadísticos, de modo de verificar el desempeño de las predicciones efectuadas.

4.2 Análisis de series de tiempo

Una serie de tiempo es una secuencia de vectores, $x(t)$, $t= 0,1,\dots$, donde t representa un lapso de tiempo. Teóricamente, x puede ser un valor que varia continuamente con respecto a t , un ejemplo es el nivel de utilización de los enlaces en una red de datos.

Se dice que una serie de tiempo puede descomponerse en cuatro elementos que no son directamente observables, de las cuales únicamente se pueden obtener estimaciones. Estos cuatro componentes son:

- Tendencia (T). Representa los movimientos de larga duración, también se le conoce como evolución subyacente de una serie.
- Ciclo (C) caracterizado por oscilaciones alrededor de la tendencia.
- Estacionalidad (S). Corresponde a fluctuaciones periódicas de la variable, en periodos relativamente cortos de tiempo.
- Irregularidad (I). Son movimientos erráticos que no siguen un patrón específico y que obedecen a causas diversas.

Si se tiene una serie $x(t)$, es posible separarla en tendencia y ciclo, de tal forma que la multiplicación de éstas dos variables nos entregue la serie original, es decir:

$$X(t) = Tendencia * Ciclo$$

Ecuación 1

Para analizar la estacionalidad de una serie de tiempo, introduciremos un concepto de gran interés en el análisis de series temporales: la función de autocorrelación.

La función de autocorrelación mide la correlación entre los valores de la serie distanciados un lapso de tiempo k .

La fórmula del coeficiente de correlación simple, dados N pares de observaciones y, x :

$$r = \frac{\sum (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2 \sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

Ecuación 2

De igual forma, dada una secuencia temporal de N observaciones $x_1 \dots x_N$, se puede formar $N-1$ parejas de observaciones contiguas (x_1, x_2) , (x_2, x_3) , ... (x_{N-1}, x_N) y calcular el coeficiente de correlación de estas parejas.

A este coeficiente lo denominaremos coeficiente de autocorrelación de orden 1, y lo denotamos como r_1 . Análogamente se pueden formar parejas con puntos separados por una distancia 2, es decir (x_1, x_3) , (x_2, x_4) , etc. y calcular el nuevo coeficiente de autocorrelación de orden 2. De forma general, si preparamos parejas con puntos separados una distancia k , calcularemos el coeficiente de auto correlación de orden k .

La función de autocorrelación es el conjunto de coeficientes de auto correlación r_k desde 1 hasta un máximo que no puede exceder la mitad de los valores observados. Esta función es de gran importancia para estudiar la estacionalidad de la serie, ya que si ésta existe, los valores separados entre sí por intervalos iguales al periodo estacional deben estar correlacionados de alguna forma. Es decir que el coeficiente de auto correlación para un retardo igual al periodo estacional debe ser significativamente diferente de 0.

Lo que se pretende con la obtención de este valor, es poder crear una serie nueva denominada CICLO PROMEDIO, que se calcula como el promedio de los datos del ciclo separados en el valor del coeficiente de autocorrelación. A continuación se ilustra gráficamente el proceso.

Se comienza con la serie original de datos (figura 12). Esta se separa en su ciclo y su tendencia de forma tal que la desviación estándar del ciclo sea lo menor posible, esto con el objeto que la tendencia quede bien representada.

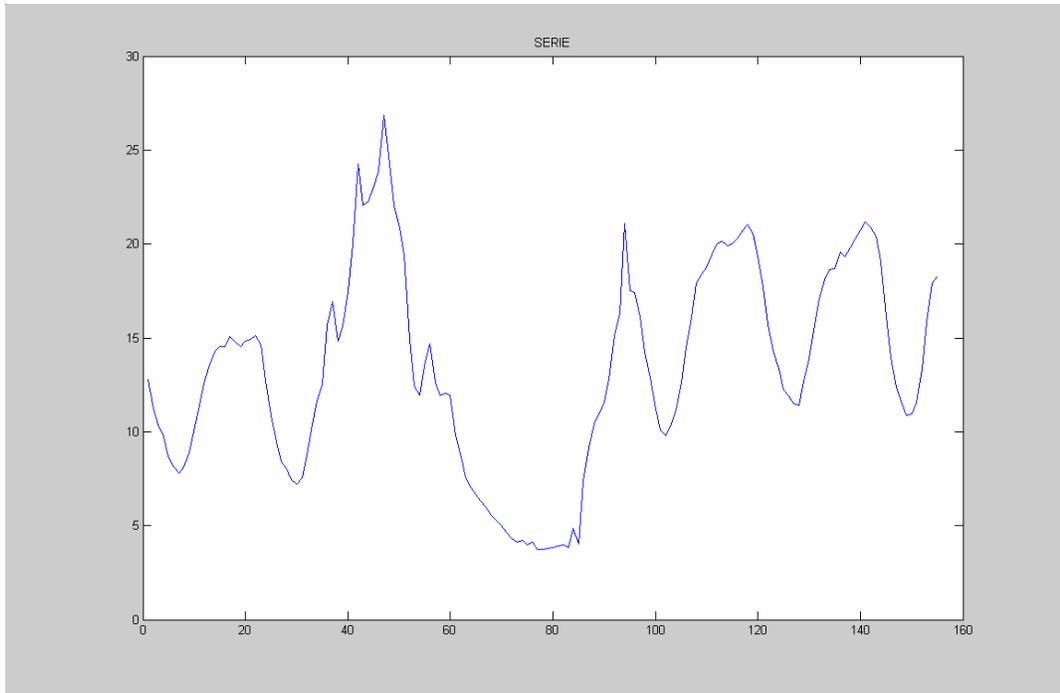


Figura 12 Serie original

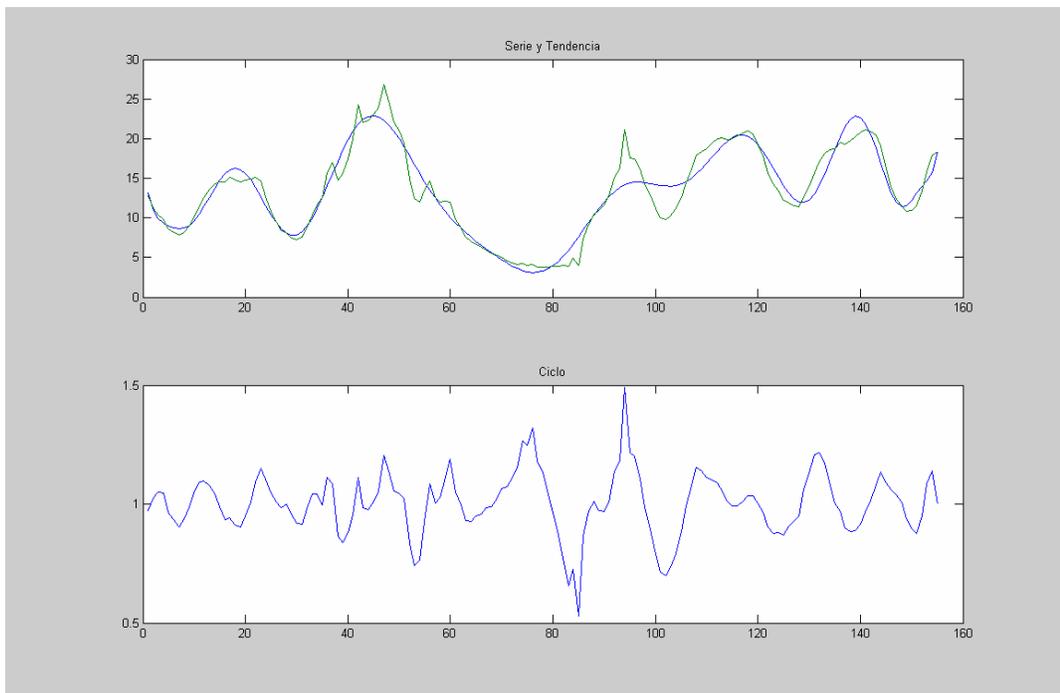


Figura 13 Serie y tendencia (arriba). Ciclo (abajo)

Ahora se calculan los coeficientes de autocorrelación para el ciclo. Lo que se desea obtener, es el valor que mejor podría representar la estacionalidad del ciclo. En este caso, el coeficiente de autocorrelación es 19, dado que se elige el mayor valor positivo (Figura 14).

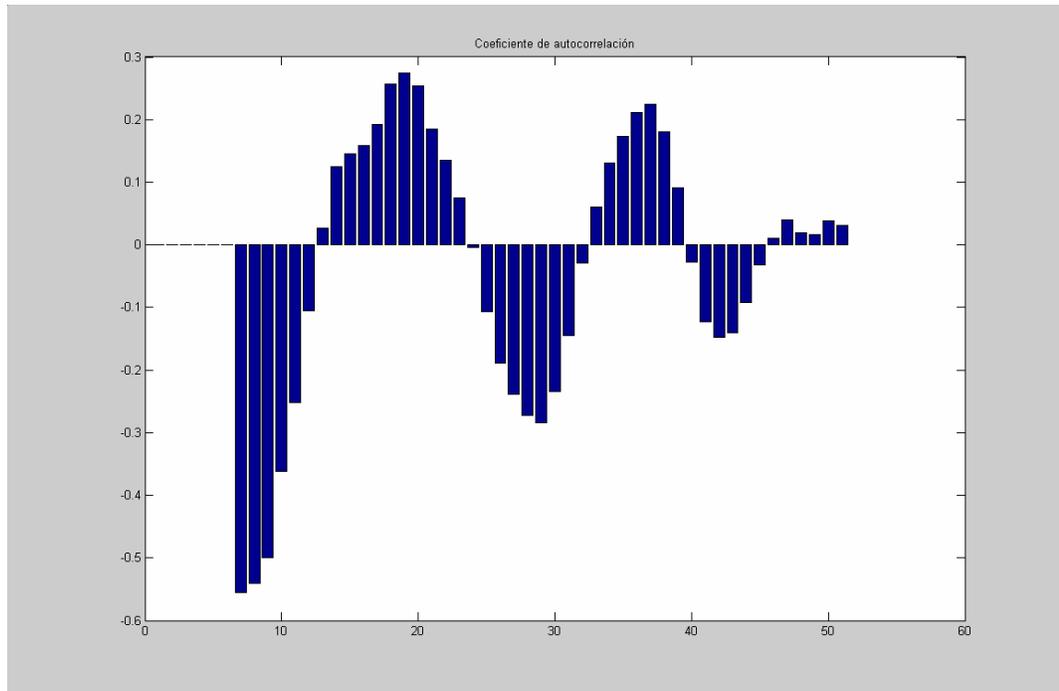


Figura 14 Coeficiente de auto correlación

Ahora que se conoce el coeficiente de autocorrelación, se considera que este es el periodo del ciclo. Con este dato se procede a calcular una serie promedio, de largo 19, para este caso (figura 15).

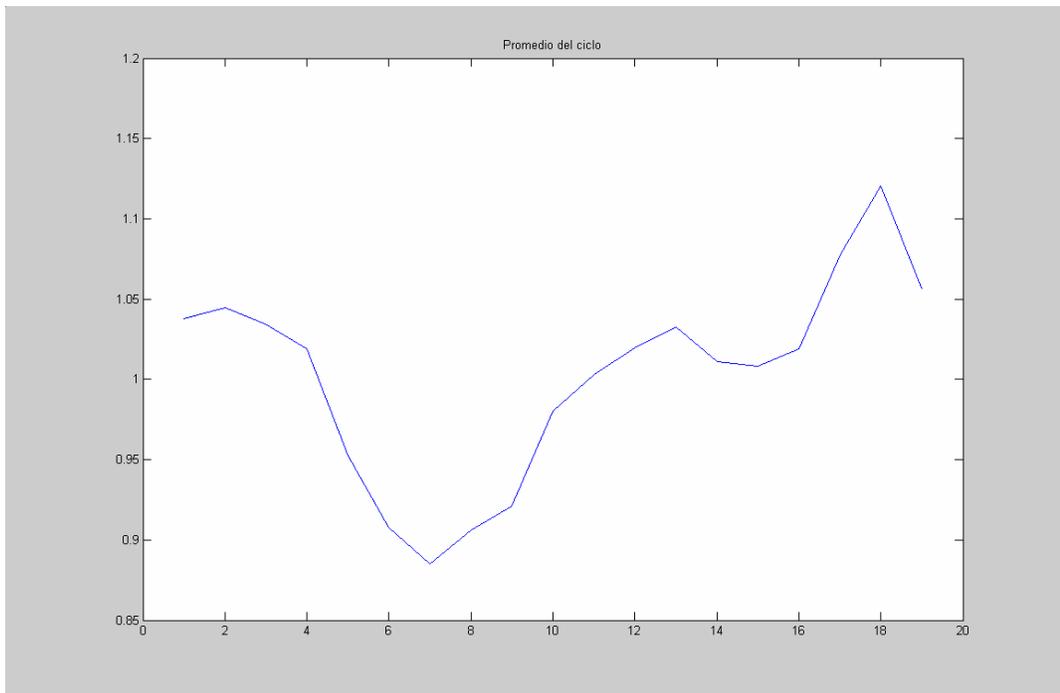


Figura 15 Promedio del ciclo para coeficiente de autocorrelación. 19

Con ese ciclo obtenido por el promedio de los datos separados en 19 espacios para este caso, se genera una serie nueva denominada ciclo promedio.

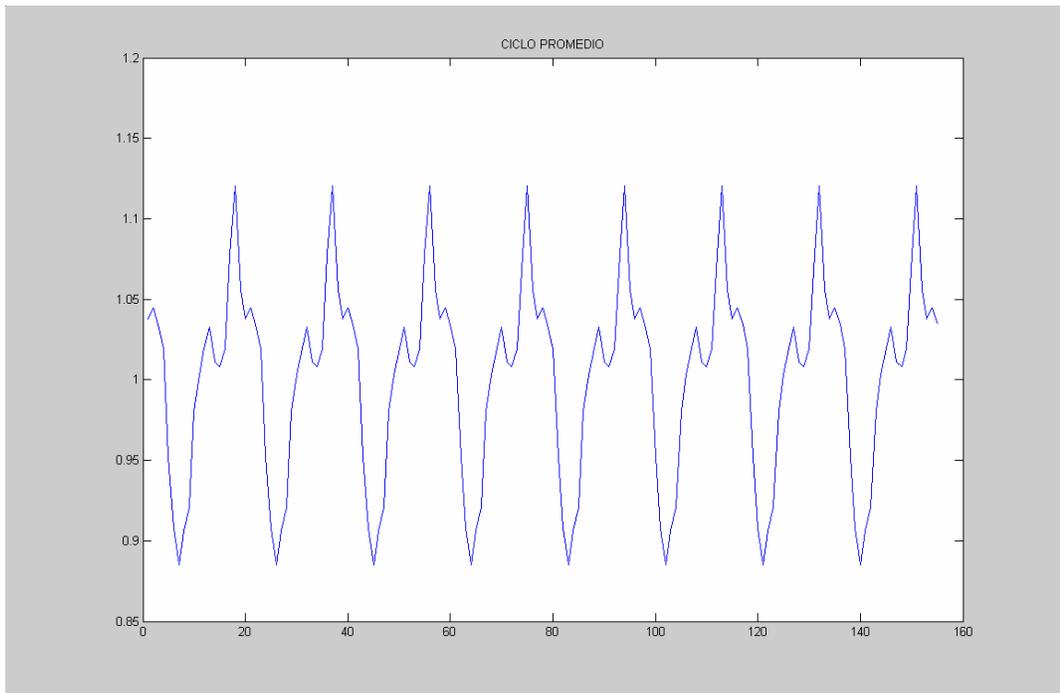


Figura 16 Ciclo Promedio

Al multiplicar esta última serie con la tendencia, se obtiene una serie nueva que representa a la serie original más limpia, sin valores fuera de rango o sucios (figura 17).

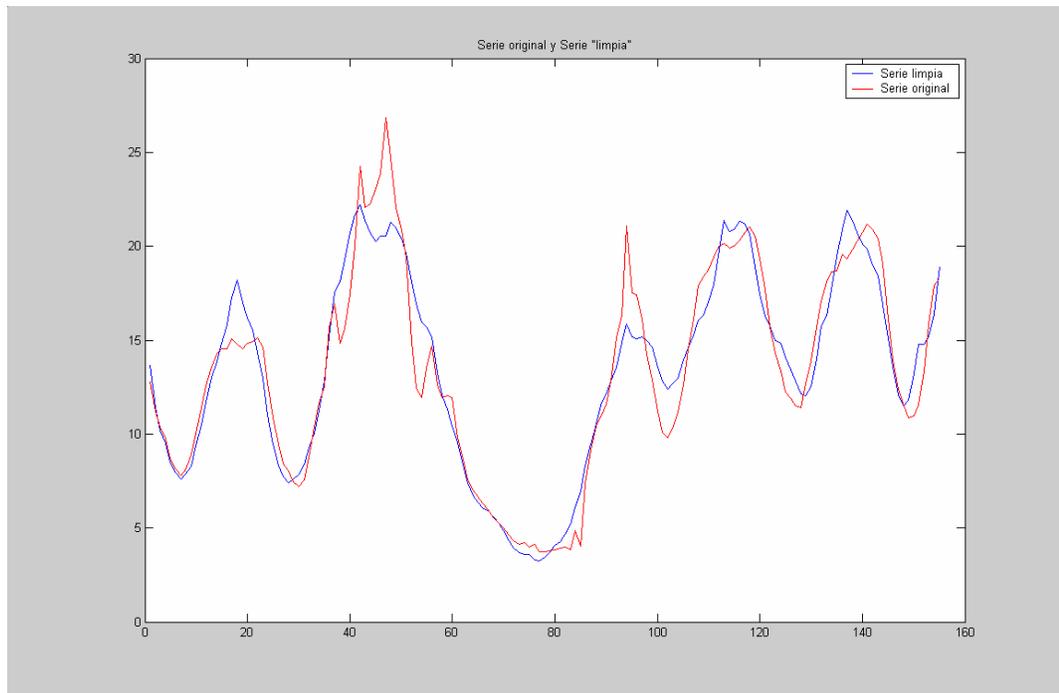


Figura 17 Comparación serie original y serie obtenida mediante coeficiente de autocorrelación

Un índice que sirve para ver si la serie obtenida es semejante a la serie original, es el coeficiente de determinación. Si este coeficiente es cercano a 1, significa que la serie obtenida es semejante a la original.

El coeficiente de determinación obtenido en este caso es de 0.94.

Lo que se pretende con obtener este ciclo promedio, es facilitar el proceso de pronóstico en la red neuronal. Si se tiene una serie, esta se separa en la tendencia y el ciclo promedio, con lo que solo resta pronosticar la tendencia, ya que el ciclo promedio se repite cada k periodos, con k como el coeficiente de autocorrelación, por lo que, si por ejemplo, se pronostican 50 días, debido a que el ciclo promedio es periódico, solo se debe realizar el pronóstico de la tendencia para esos 50 días y multiplicar por el ciclo promedio.

Se observa que el trabajo de la red neuronal es pronosticar solo la tendencia, la cual no es una serie que presenta muchas variaciones, por lo tanto, se espera que su performance sea buena.

4.3 Redes Neuronales

Una red neuronal puede verse como una máquina diseñada originalmente para modelar la forma en que el sistema nervioso de un ser vivo realiza una determinada tarea. Para lograr este objetivo, una red neuronal está formada por un conjunto de unidades de procesamiento interconectadas llamadas neuronas. Cada neurona recibe como entrada un conjunto de señales discretas o continuas, las pondera e integra, y transmite el resultado a las neuronas conectadas a ella. Cada conexión entre dos neuronas tiene una determinada importancia asociada denominada peso sináptico o, simplemente, peso. En los pesos se suele guardar la mayor parte del conocimiento que la red neuronal tiene sobre la tarea en cuestión.

El proceso mediante el cual se ajustan estos pesos para lograr un determinado objetivo se denomina aprendizaje o entrenamiento y el procedimiento concreto utilizado para ello se conoce como algoritmo de aprendizaje o algoritmo de entrenamiento. El ajuste de pesos es la principal forma de aprendizaje de las redes neuronales, aunque hay otras formas posibles, por ejemplo, modificando el número de neuronas.

4.3.1 Modelo de neurona

En el modelo más habitual de neurona se identifican cinco elementos básicos para la j -ésima neurona de una red de tiempo discreto:

Un conjunto de n señales de entrada, $x_i[t]$, $i = 1; \dots; n$, que suministran a la neurona los datos del entorno; estos datos pueden ser externos a la red neuronal, pertenecientes a la salida de otras neuronas de la red, o bien correspondientes a la salida anterior de la propia neurona.

Un conjunto de sinapsis, caracterizada cada una por un peso propio W_{ji} , $i = 1; \dots; n$. El peso W_{ji} está asociado a la sinapsis que conecta la unidad i -ésima con la neurona j -ésima.

Un sesgo W_j cuya presencia aumenta la capacidad de procesamiento de la neurona y que eleva o reduce la entrada a la neurona, según sea su valor positivo o negativo.

Un sumador o integrador que suma las señales de entrada, ponderadas con sus respectivos pesos, y el sesgo.

Una función de activación g que suele limitar la amplitud de la salida de la neurona.

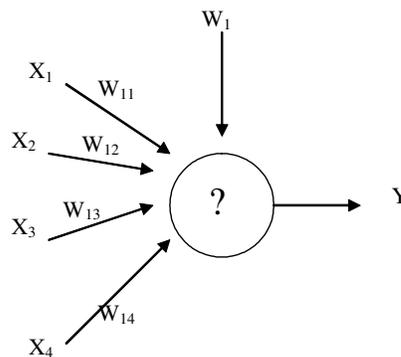


Figura 18: Modelo de una neurona

La salida de un modelo neuronal queda determinada por:

$$Y = f\left(\sum_i X_i * W_{1i} + W_1\right)$$

Ecuación 3

Donde f corresponde a la función de activación.

Dependiendo de la forma en que se conecten las distintas neuronas dentro de la red, se define su tipo. Para el caso de pronóstico de series de tiempo, la RNA mayormente utilizada corresponde a una RNA multicapa de propagación hacia delante entrenada por retropropagación del error y con una neurona en la capa de salida, indicando con esto que solo predice un período de tiempo a futuro.

Una RNA multicapa de propagación hacia delante esta generalmente compuesta de tres o más capas formadas por conjuntos de neuronas que poseen características similares. La primera capa, se denomina capa de entrada y es donde se recibe la información externa. La última capa es mediante la cual se obtiene la solución del problema que se esta tratando. La capa que se encuentra entre la capa de entrada y la de salida se denomina capa oculta. Puede haber más de una capa oculta.

Estas capas son las encargadas de brindarle flexibilidad a la RNA, de modo de aproximar relaciones complejas entre los datos. Las neuronas adyacentes van completamente conectadas y estas conexiones van de la capa baja a la capa alta. Por ejemplo, en la Figura 15 se muestra una RNA multicapa de propagación hacia delante, que contiene tres capas: una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida. La cantidad de neuronas en cada capa varía dependiendo de la aplicación.

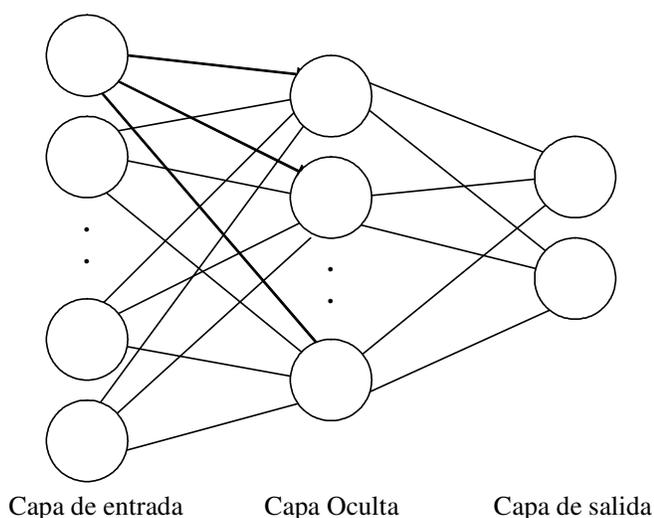


Figura 19: Modelo RNA multicapa

Por otra parte, antes de utilizar un modelo neuronal para que realice la tarea especificada, ésta debe ser entrenada y validada. El entrenamiento es un proceso de determinación de los pesos de las conexiones. Todo el conocimiento que adquiere la red durante el entrenamiento es almacenado en los pesos de las conexiones. Las neuronas transforman la información que reciben mediante la función de transferencia y la envían de manera ponderada de acuerdo a los pesos de las conexiones hacia las neuronas con las cuales tienen conexión. Se denomina entrenamiento supervisado, cuando para cada vector de entrada se conoce el valor de salida. Los pesos de las conexiones se determinan durante el entrenamiento gracias a un algoritmo que minimiza una medida de error de aproximación de la RNA. Se ha demostrado que las RNAs poseen la capacidad de aproximar con exactitud diversos tipos de relaciones funcionales complejas. Ésta característica es de suma importancia, dado que es de esperarse que cualquier modelo de predicción detecte con exactitud la relación funcional entre la variable a predecir y otros factores o variables relevantes.

4.3.2 Selección de parámetros de una RNAs

Hay que considerar los parámetros controlables que intervienen en el modelo de una RNAs. Por ejemplo, para el caso de pronóstico, la cantidad de neuronas en la capa de entrada, se refiere a la ventana temporal o datos históricos a utilizar para realizar el pronóstico. Con respecto al número de neuronas en la capa oculta, se ha documentado en diversa literatura, que éstas determinan la capacidad de la red neuronal para aproximar relaciones no lineales entre las entradas y las salidas, que en este caso, corresponde a los datos históricos y el pronóstico. Con respecto al número de neuronas en la capa oculta que se aconseja utilizar, no se ha encontrado aun alguna manera definitiva de abordar el tema.

El tipo de algoritmo mediante el cual se va a entrenar la red es otro punto a tener en consideración. La modificación de los pesos de la red dependerá directamente del tipo de algoritmo utilizado, si todo lo demás se mantiene fijo.

4.4 Diseño de experimentos

Esto se refiere a la colección de herramientas estadísticas que se relacionan con la planeación, ejecución e interpretación de un experimento. El objetivo que tiene, es el de estudiar los efectos de las variables de interés en vista de variaciones de alguno de los parámetros controlables que la sostiene. El diseño factorial es una estrategia de experimentación en la que en cada réplica del experimento se estudian todas las combinaciones posibles de un número determinado de valores de cada factor. Al número determinado de valores que toma cada factor se les llama niveles.

El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta o medida de desempeño producido por un cambio en el nivel del factor. Cuando los factores del diseño de experimentos son cuantitativos, una representación del experimento se puede realizar obteniendo un modelo del mismo, en el que las variables independientes representan los factores del experimento y la variable dependiente corresponde a la medida de desempeño o respuesta. Este modelo se obtiene con el uso de redes neuronales, en donde los pesos de las neuronas de la capa oculta, junto a la función de activación que se utiliza en cada capa, son capaces de caracterizar el modelo.

Se puede utilizar entonces el diseño de experimentos, para poder caracterizar la variación de un sistema y obtener modelos empíricos mediante el método descrito anteriormente. Estos modelos pueden ser utilizados para llevar a cabo la búsqueda de los valores óptimos del sistema.

4.5 Modelación de las medidas de desempeño

La eficiencia de la red con respecto a los pronósticos, se obtendrá de las siguientes medidas de desempeño. Sea l la cantidad de patrones de entrenamiento, y_j el target asociado al patrón j y sea \hat{y}_j la salida de la red neuronal (pronóstico).

- Error cuadrático medio (MSE)

$$MSE = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l (\hat{y}_j - y_j)^2$$

Ecuación 4

- Error absoluto medio (MAE)

$$MAE = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l |\hat{y}_j - y_j|$$

Ecuación 5

Se desea modelar estas medidas de desempeño en función de los parámetros controlables de la RNA. Con esto, se desea obtener una función que pueda ser minimizada sujeto a estos parámetros, logrando así tener una red neuronal que presente un mejor desempeño.

Se sabe que las RNAs se usan para la aproximación de funciones, por lo que la modelación de estas medidas de desempeño se realizará utilizando una RNA de tipo perceptrón multicapa, similar a la usada para realizar el pronóstico.

4.6 Minimización de las medidas de desempeño

La minimización de las medidas de desempeño, en función de las variables ya nombradas, pretende encontrar la arquitectura de red que presente mejor rendimiento en función de los pronósticos.

A su vez, se debe considerar las condiciones a las que está sujeta cada variable, ya sea si son valores discretos o no, y los valores máximos y mínimos a considerar.

Los valores mínimos de las medidas de desempeño, se encontrarán reemplazando los valores de las variables controlables dentro de un cierto rango considerando las condiciones a las que están sujeta.

4.7 METODOLOGÍA

El trabajo con la serie de tiempo se realizará cómo se detalla a continuación:

- *Rellenar los datos perdidos de la serie a pronosticar.* Para esto se utiliza la media móvil de cuatro puntos.

$$m(x_t) = \frac{(x_{t-2} / 2) + x_{t-1} + x_t + x_{t+1} + (x_{t+2} / 2)}{4}$$

Ecuación 6 Media móvil de 4 puntos

- *Descomposición de la serie en su ciclo y tendencia.* Esto se realiza buscando el polinomio de menor grado que presente la menor desviación estándar, que aproxime la serie. Con esto, se obtiene la tendencia de la serie. Se requiere que presente la mínima desviación estándar para que sea lo mas simple posible, sin peaks ni datos muy alejados de la media. Luego, para obtener el ciclo, se divide la serie por la tendencia. Luego se obtiene el ciclo promedio y se pronostica la tendencia. Ambas se multiplican para así obtener la predicción de la serie original.

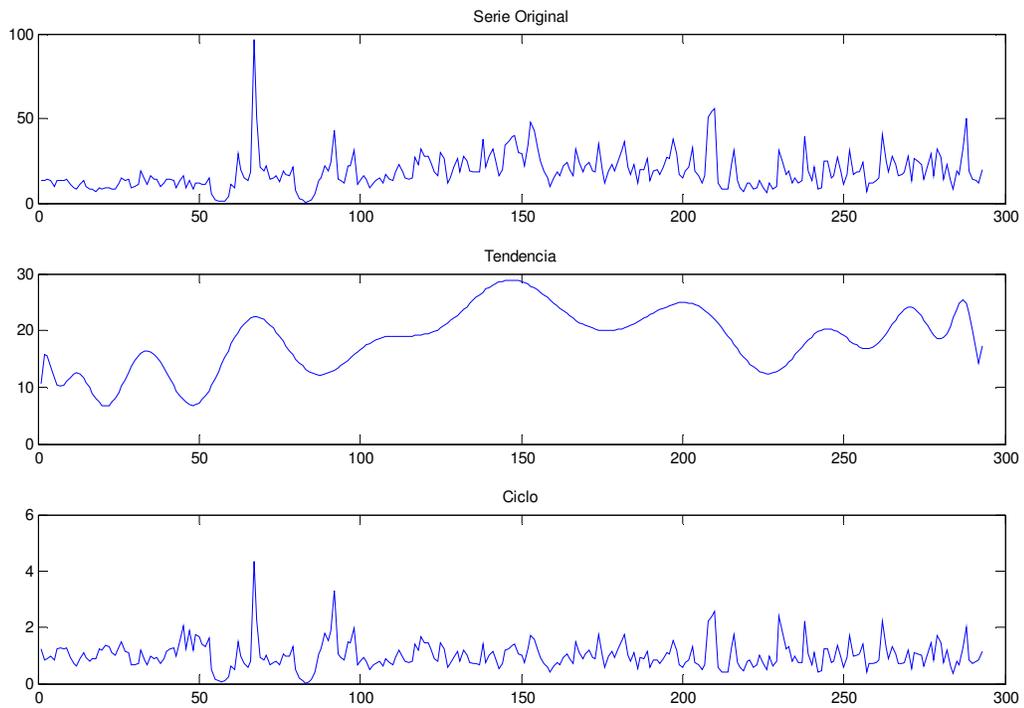


Figura 20 Serie original (arriba), Tendencia (centro) y ciclo (abajo)

Con la separación de la serie original, se pretende facilitar la tarea de la red neuronal, ya que se observa como la tendencia es una serie mucho más fácil de asociar para la red.

Entonces, se realizará el trabajo de encontrar los parámetros óptimos de la red neuronal para el caso de la red neuronal que pronostique la tendencia.

4.7.1 Descripción de la RNA

El tipo de red neuronal a utilizar es una perceptrón multicapa con retropropagación del error. Los parámetros que se mantendrán invariantes son:

- Momento
- Tasa de aprendizaje
- Inicialización de los pesos
- Épocas
- Error de entrenamiento
- Tipo de entrenamiento

Se identifican como parámetros controlables, el número de neuronas de la capa de entrada, de la capa oculta y el tipo de entrenamiento.

La capa de salida tiene una neurona, la que representa el pronóstico en $t+1$ asociado a las $x(1).. x(t)$ entradas.

Las medidas de desempeño corresponden a las definidas en las ecuaciones 3 y 4.

4.7.2 Análisis de experimentos.

Los experimentos a analizar se obtienen de las medidas de desempeño obtenidas para las distintas configuraciones de la red neuronal. Se tendrán tantos experimentos, como combinaciones se tengan de los parámetros. Estos parámetros variarán de la siguiente manera:

Número de neuronas capa de entrada: [10,13,16,19,22,25,28,31,34]

Número de neuronas capa oculta: [10,13,16,19,22,25,28,31,34]

Se consideraron esos entrenamientos, porque fueron los que obtuvieron el mejor desempeño en pruebas realizadas en búsqueda de los mejores algoritmos de entrenamiento.

De pruebas realizadas, se obtuvo que el trainrp, para el caso de la tendencia, presenta un comportamiento deseado. Con esto, el total de experimentos que se tienen es de $9 \times 9 = 81$.

4.7.3 Modelación

La red neuronal que se define entonces para obtener la modelación de las medidas de desempeño, es una perceptrón multicapa, con retropropagación del error, con 2 neuronas en la capa de entrada y una neurona en la capa de salida. Entonces, se presenta a la red, el número de neuronas en la capa de entrada, en la capa oculta y el tipo de entrenamiento, y como target se le entrega el MSE o MAE según sea el caso.

Con respecto a la cantidad de neuronas en la capa oculta, está se va variando hasta que se obtenga una salida que presente el mayor coeficiente de determinación, lo que determina que ya se tiene una aproximación buena del sistema.

4.7.4 Minimización

Una vez que se obtienen las funciones que relacionan el MAE y MSE con los parámetros controlables, se procede a reemplazar todos los valores del intervalo en que se definió el número de neuronas en la capa de entrada y en la capa oculta, hasta encontrar la configuración que presente el mejor desempeño.

Si los valores mínimos para el MAE son distintos que para el MSE, se utilizará el primer valor común que se encuentre.

4.8 Desarrollo

La serie de tiempo a pronosticar corresponde a la carga de un bearer channel en la BSC CAL1 entre los días 01/03/2007 y 01/04/2008. Los datos están medidos en intervalos de un día. La serie se presenta a continuación:

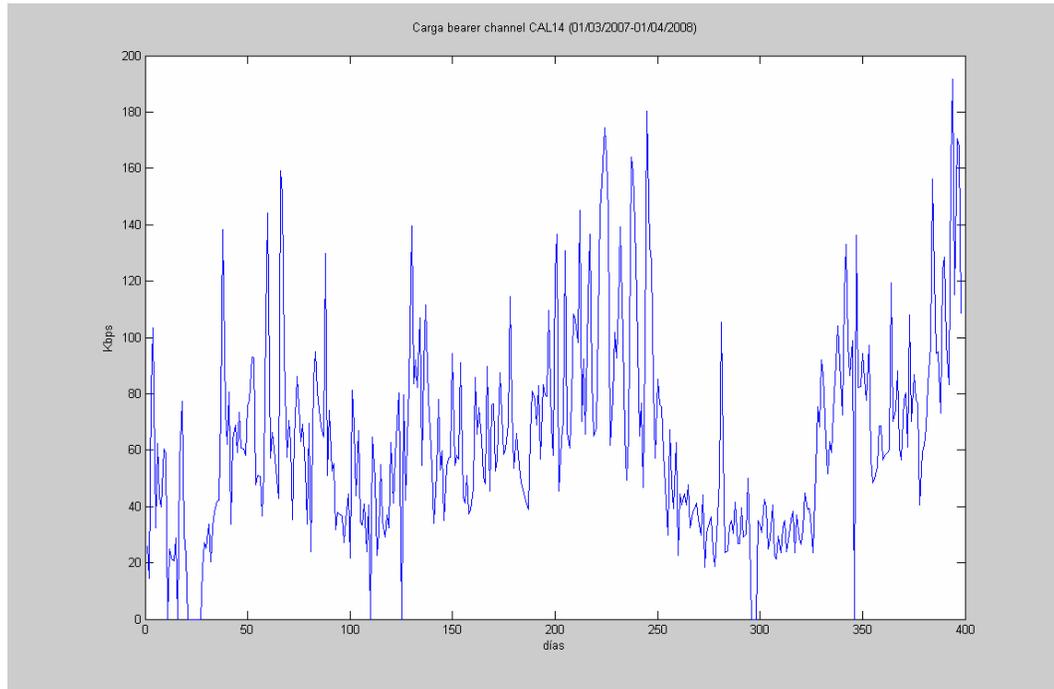


Figura 21 Carga en bearer channel

Se presenta la serie original obtenida del OSS. Se observa que faltan datos, los que se rellenan con la media móvil de 4 puntos (figura 22)

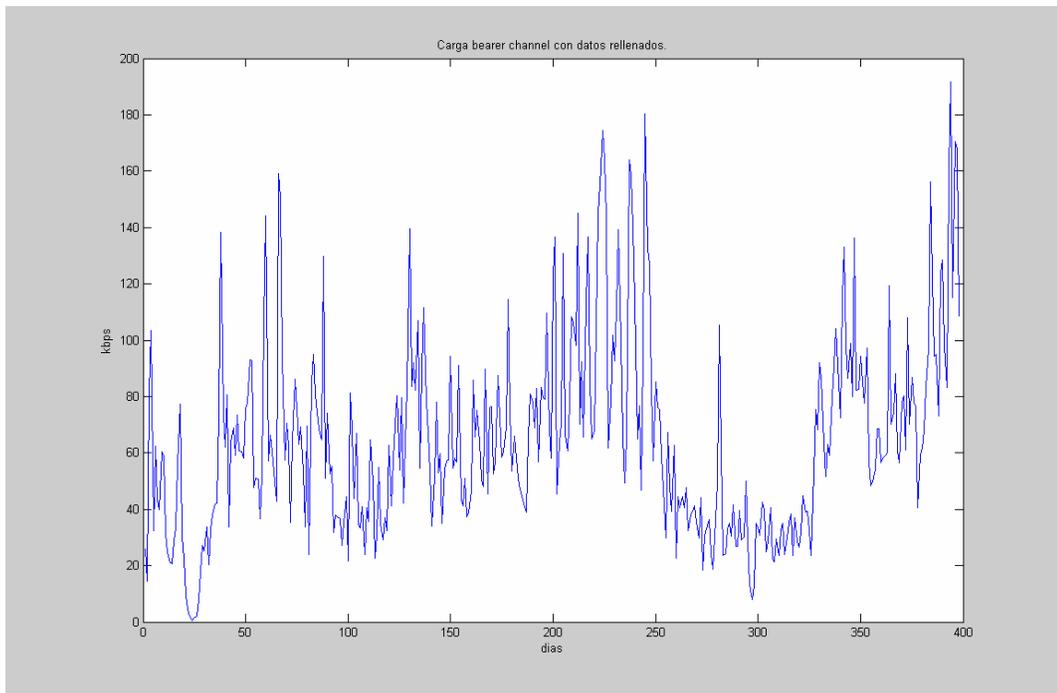


Figura 22 Carga bearer channel con datos rellenos

Debido a la enorme variación que presenta la serie, se utiliza un filtro, que pretende disminuir este problema. El filtro es similar a la media móvil de 4 puntos, solo que su divisor es 3,5 en lugar de 4, esto para poder así actuar como una envolvente de la serie. A continuación se grafican ambas series:

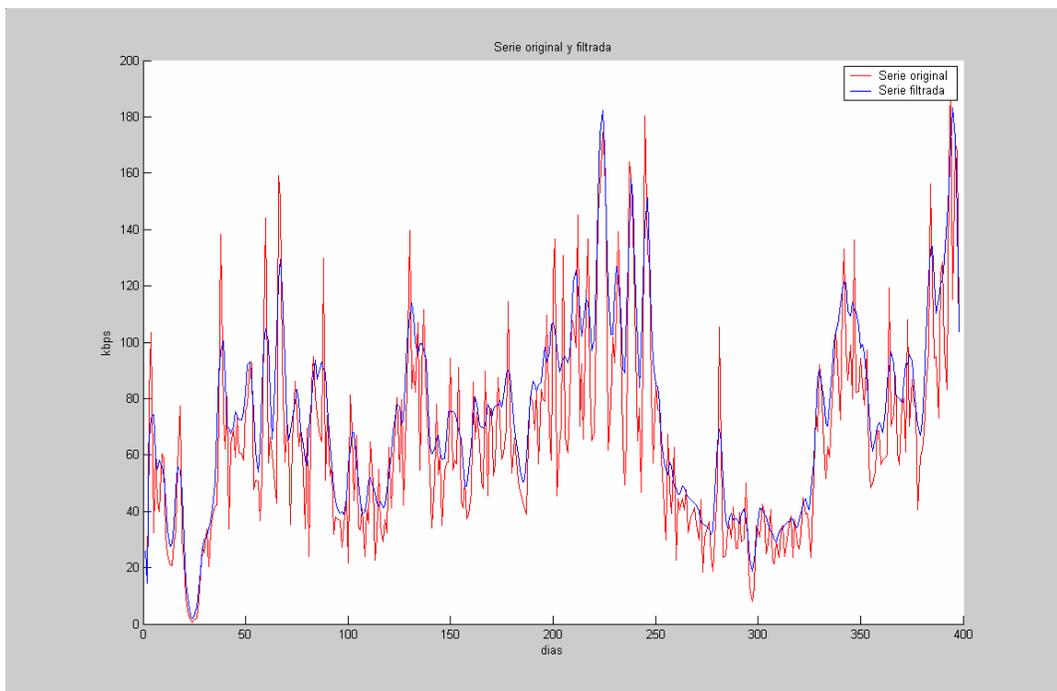


Figura 23 Serie original y filtrada

La serie original consta de 398 datos. Para poder realizar la optimización y luego poder medir el desempeño de los pronósticos se necesita lo siguiente:

La optimización de la RNA se realizará con 338 datos. Se consideran 338 datos, porque se requiere hacer una predicción a 60 días, por lo que necesitamos conocer los valores reales de 398 datos para poder comparar luego el desempeño de la red y de la predicción. De estos 338 datos, presentarle 323 a la red neuronal, de tal modo que pronostique 15 periodos. Ésos pronósticos se comparan con los valores reales y se obtienen las medidas de desempeño, con lo cual, mediante la modelación y minimización se pretende encontrar la mejor arquitectura de la red.

Luego con la red ya “optimizada”, se le ingresan los 338 datos, pero el horizonte a pronosticar es ahora los 398 valores. Con esto, se tiene la diferencia entre los 398 y 338, que corresponden a 60 períodos que nunca se le presentaron a la red neuronal, con lo que se puede observar la eficiencia de la red en la predicción.

Ahora se separa en tendencia y ciclo, para luego obtener el ciclo promedio y pronosticar la tendencia.

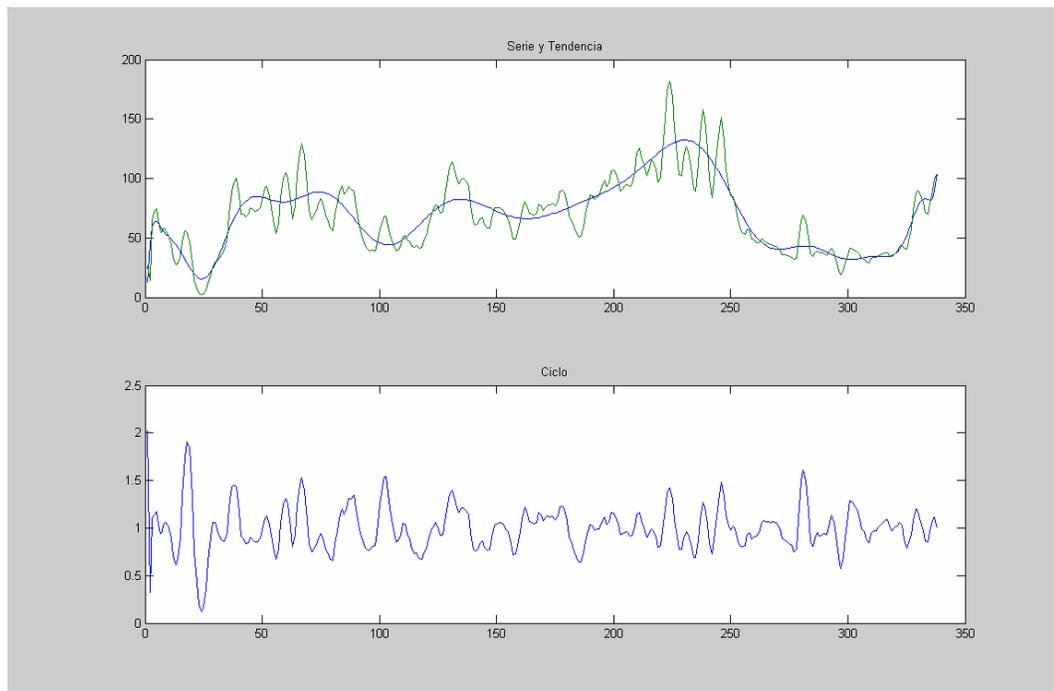


Figura 24 Serie y tendencia (arriba). Ciclo (abajo)

A continuación se observa la serie formada por la multiplicación del ciclo promedio y la tendencia (serie limpia)

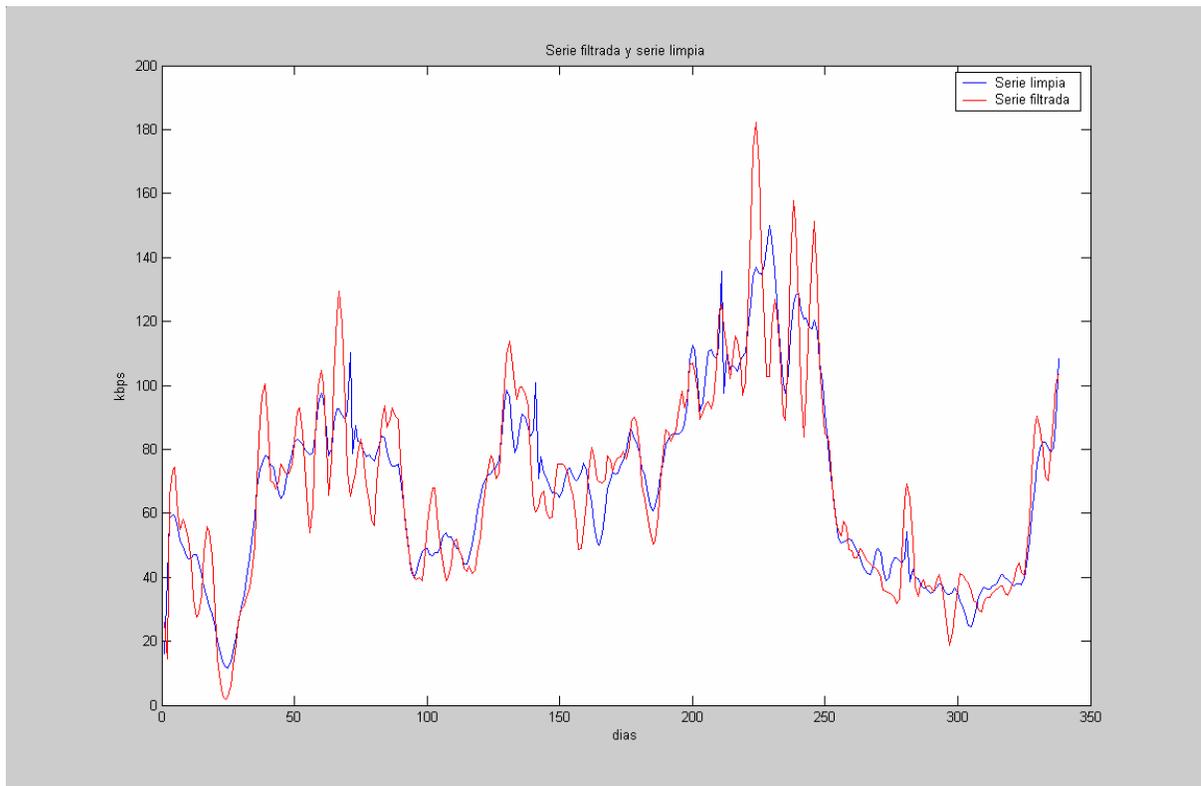


Figura 25 Series filtrada y limpia

4.8.1 Pronóstico Tendencia

Resultados Análisis de experimentos.

A continuación, se muestra la salida de la red neuronal para la menor medida de desempeño MSE de validación que se obtuvo del análisis de experimentos. En el gráfico se ve como la línea roja que corresponde a la salida de la red neuronal, sigue a la línea azul, que es la serie original, durante los últimos 15 periodos.

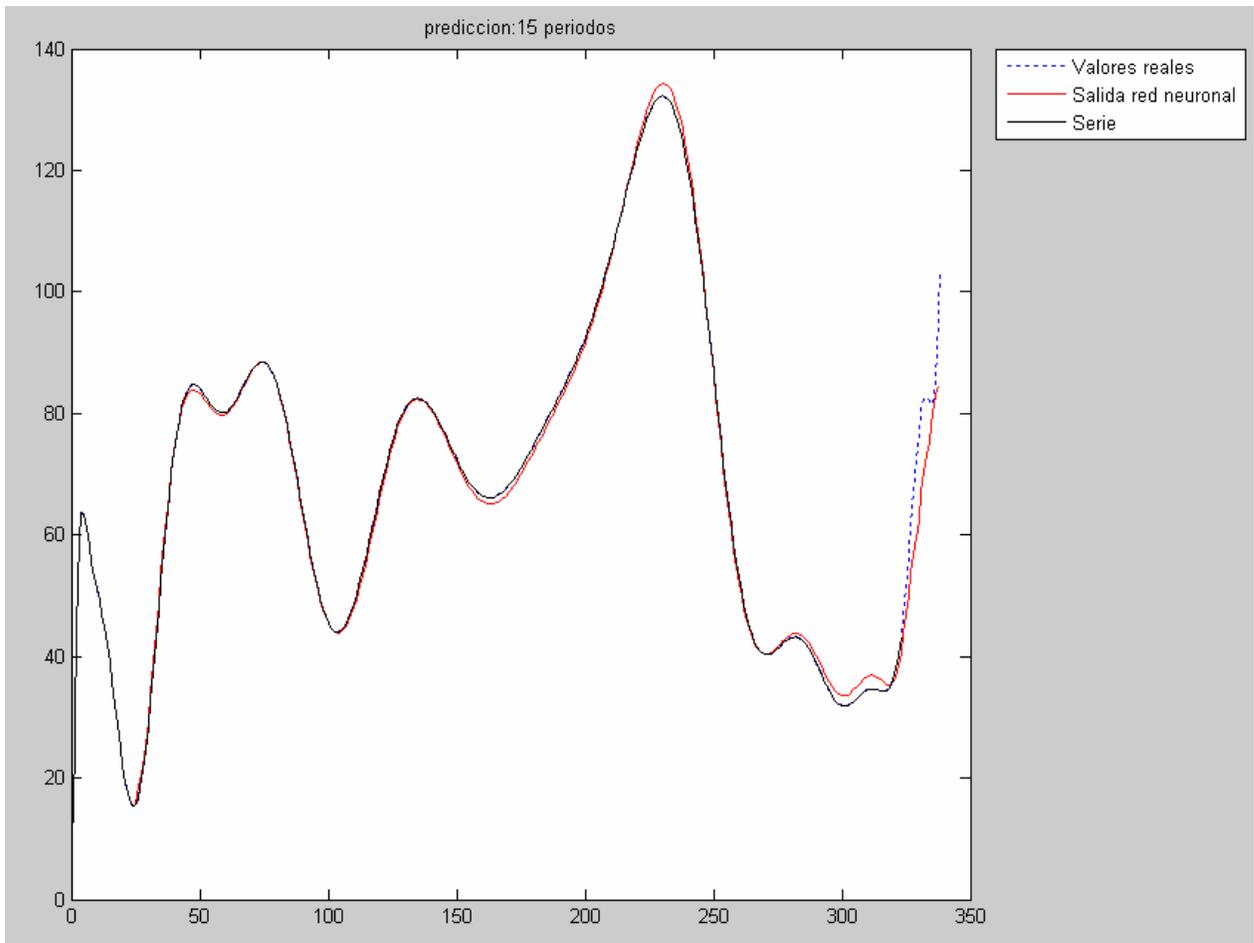


Figura 26 Salida red neuronal para predicción 15 pasos

De los resultados obtenidos (se adjunta la tabla de resultados en el apéndice B), ahora se debe modelar las medidas de desempeño en función de las variables controladas para ver como varían en función de ellas. Esto se hace mediante una red neuronal, de 2 entradas. Una entrada corresponde al número de neuronas en la capa de entrada, y la otra entrada es para el número de neuronas en la capa oculta. Como target se le entrega la medida de desempeño correspondiente.

En la figura 27, se observan las 2 series como si fuera una. Corresponde al MAE, con lo que ahora, se tiene una ecuación que relaciona los pesos de la red neuronal y las variables controladas con el MAE. Esta función se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
& \text{salida_red} = \\
& -12.3986 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(3.4929*x1 + -5.6993*x2 + 3.103))) - 1) + -1.2725 * (2 ./ \\
& (1 + \exp(-2*(4.0467*x1 + 4.4775*x2 + -1.4487))) - 1) + -13.7147 * (2 ./ (1 + \exp(- \\
& 2*(2.1907*x1 + -2.8301*x2 + -0.21177))) - 1) + 10.5723 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(3.4352*x1 + - \\
& 0.57888*x2 + 0.48804))) - 1) + -8.8729 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(5.8367*x1 + 3.1714*x2 + - \\
& 2.0909))) - 1) + -2.0277 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(18.6337*x1 + 9.2993*x2 + 3.6575))) - 1) + \\
& 1.0094 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(5.9358*x1 + -4.1886*x2 + -1.3362))) - 1) + 7.4419 * (2 ./ (1 + \\
& \exp(-2*(-1.0598*x1 + -1.0828*x2 + -1.7106))) - 1) + -11.269 * (2 ./ (1 + \exp(- \\
& 2*(3.8123*x1 + -0.18545*x2 + 0.31173))) - 1) + -13.7055 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.9174*x1 + \\
& -4.8523*x2 + 3.5313))) - 1) + 2.5621 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(13.6071*x1 + -6.3135*x2 + \\
& 13.3736))) - 1) + 2.703 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(20.2842*x1 + 9.1655*x2 + 19.844))) - 1) + - \\
& 6.5212 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(4.9478*x1 + -0.13168*x2 + 2.2682))) - 1) + 8.2166 * (2 ./ (1 + \\
& \exp(-2*(1.511*x1 + 0.46334*x2 + 0.41863))) - 1) + 9.4607 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(5.6673*x1 \\
& + 3.3897*x2 + -2.0224))) - 1) + 26.6322 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.5499*x1 + -4.3342*x2 + \\
& 2.6941))) - 1) + 1.8002 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(17.665*x1 + -6.3882*x2 + 9.9308))) - 1) + - \\
& 3.1964 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(11.2756*x1 + -2.8937*x2 + 10.0269))) - 1) + 2.1592 * (2 ./ (1 + \\
& \exp(-2*(21.8449*x1 + 9.7248*x2 + 3.8388))) - 1) + 1.8656 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(22.6082*x1 \\
& + 5.1216*x2 + 9.7607))) - 1) + 10.7091 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.2914*x1 + -3.2609*x2 + - \\
& 0.29321))) - 1) + 5.7115 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(3.1165*x1 + 2.6655*x2 + -6.9782))) - 1) + \\
& 8.5194
\end{aligned}$$

Donde x_1 es el número de entradas y x_2 es número de capa oculta. Reemplazando los valores posibles que pueden tomar, se llega a que la configuración que da el menor MAE es de 30 neuronas en la capa de entrada, y 16 en la capa oculta.

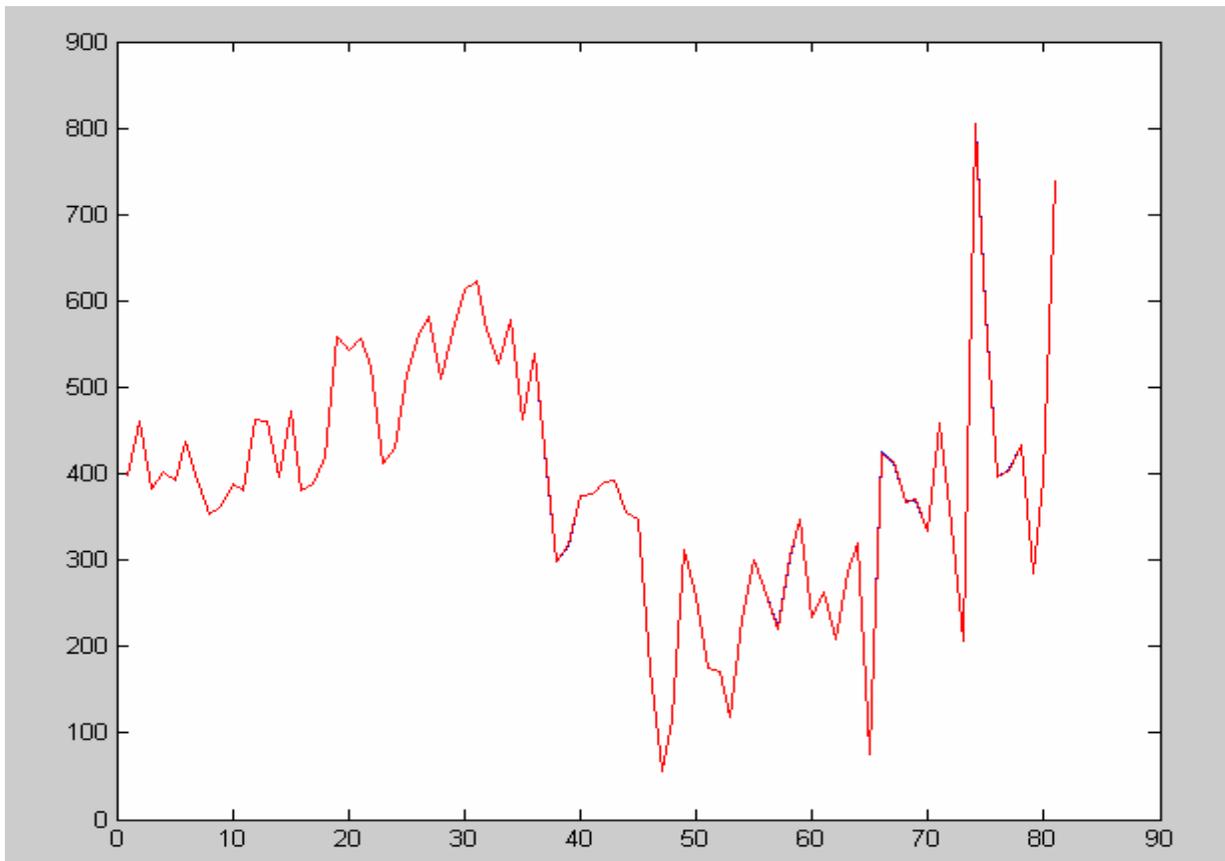


Figura 27 Modelación del MAE mediante una RNA

Ahora se optimiza el MSE, reemplazando todos los valores que pueden tomar x_1 y x_2 dentro del rango definido en un comienzo ($x_1, x_2:10\dots34$). El menor valor obtenido para el MAE determinará una de las mejores configuraciones para la RNA. Luego falta hacer lo mismo para la otra medida de desempeño y comparar los resultados.

La figura 28 muestra la modelación obtenida por la red neuronal para el MSE

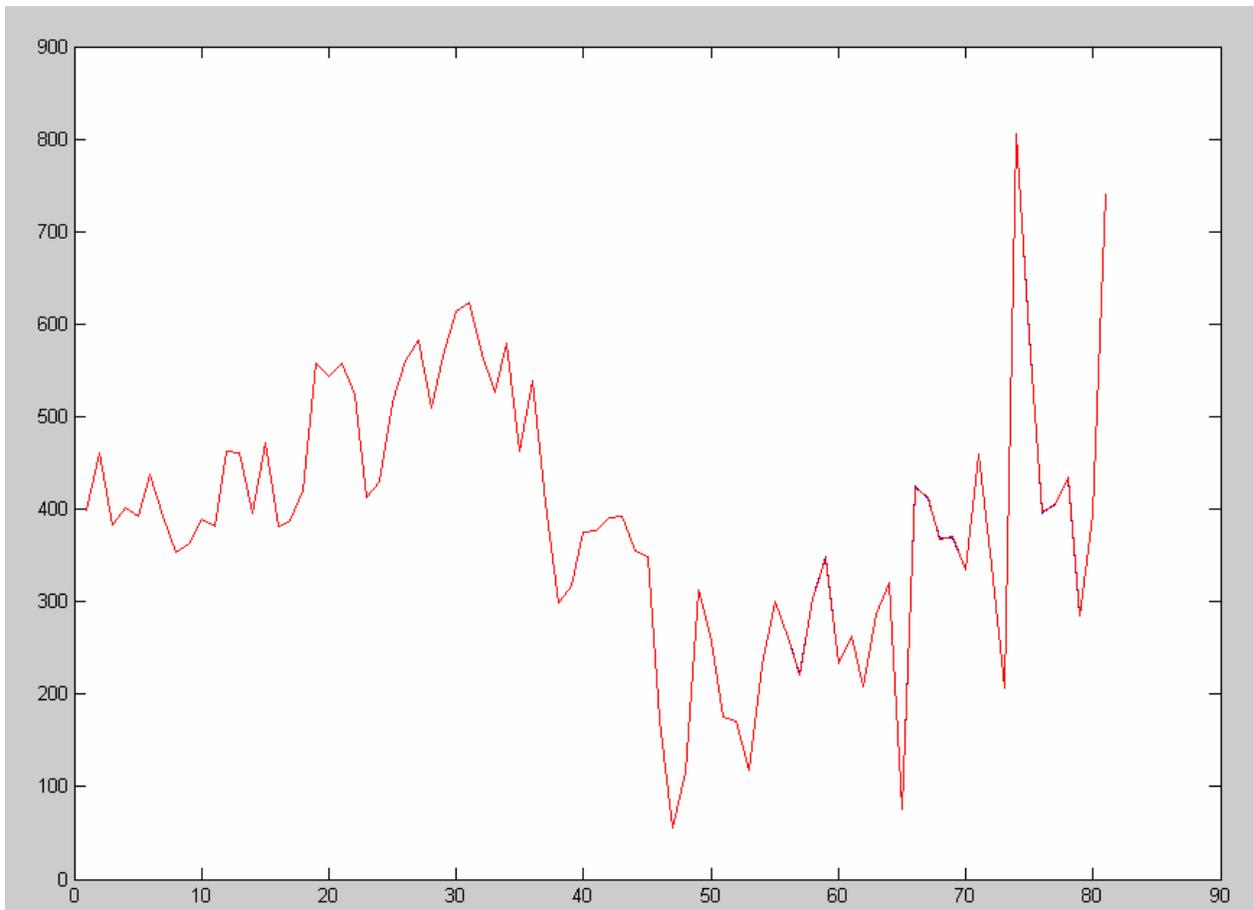


Figura 28 Modelación del MSE mediante una RNA

La ecuación que la modela se adjunta en el apéndice C, dado su gran tamaño.

Los valores que se obtienen para las neuronas de entrada y capa oculta son los mismos que se obtuvieron para el MAE, es decir, 30 neuronas en la capa de entrada y 16 en la capa oculta.

Con esto se tiene la siguiente salida de la red neuronal:

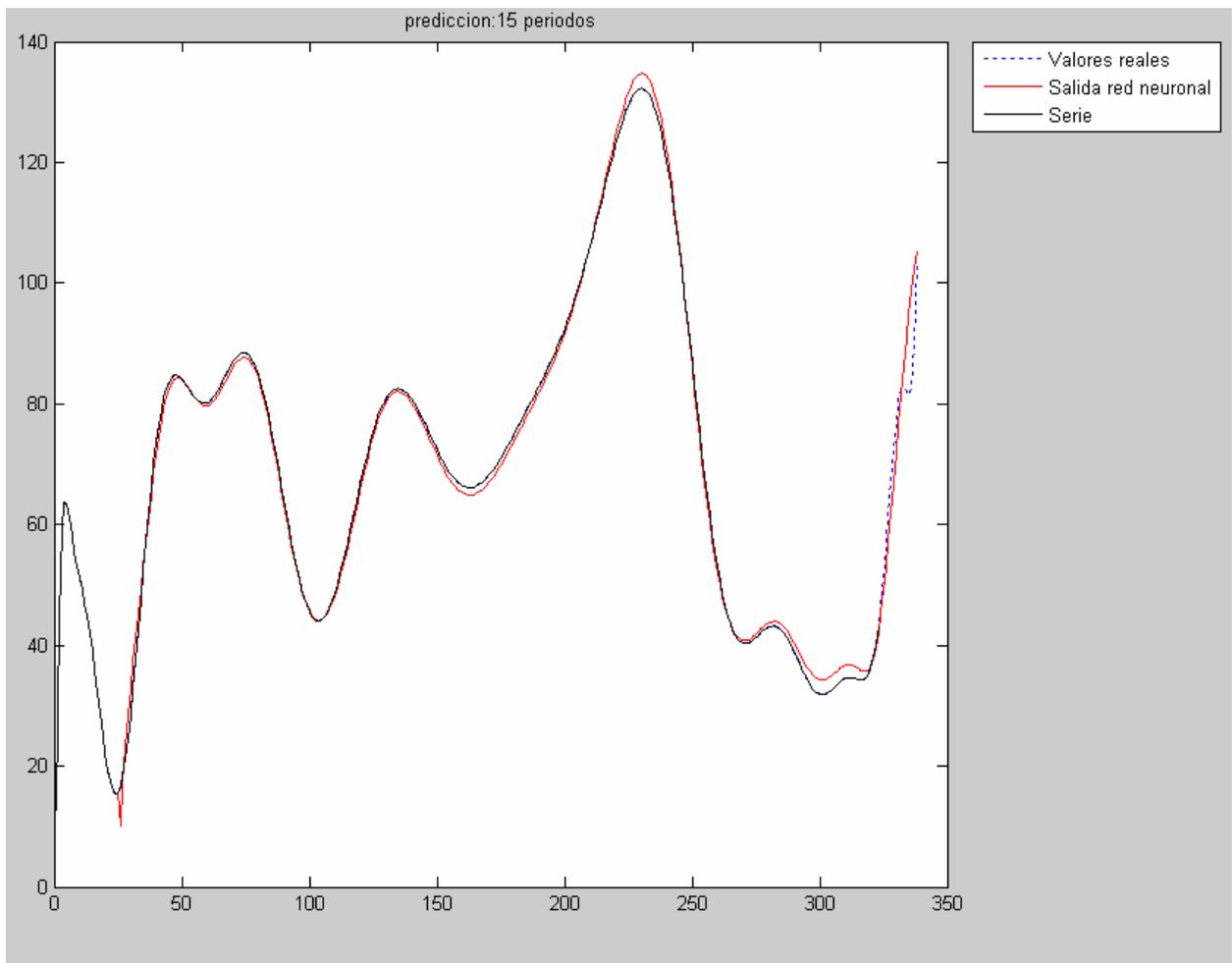


Figura 29 Pronóstico de la RNA a 15 días

El coeficiente de determinación, que indica que tan bien se ajusta la salida de la red a la serie original, es de 0.9962, lo que es un excelente resultado.

Ahora que la red ya tiene los pesos sinápticos definidos, queda hacer el pronóstico de los 60 datos y compararlo con la serie original.

La predicción de la tendencia a 60 pasos se muestra a continuación, comparándola con la tendencia original.

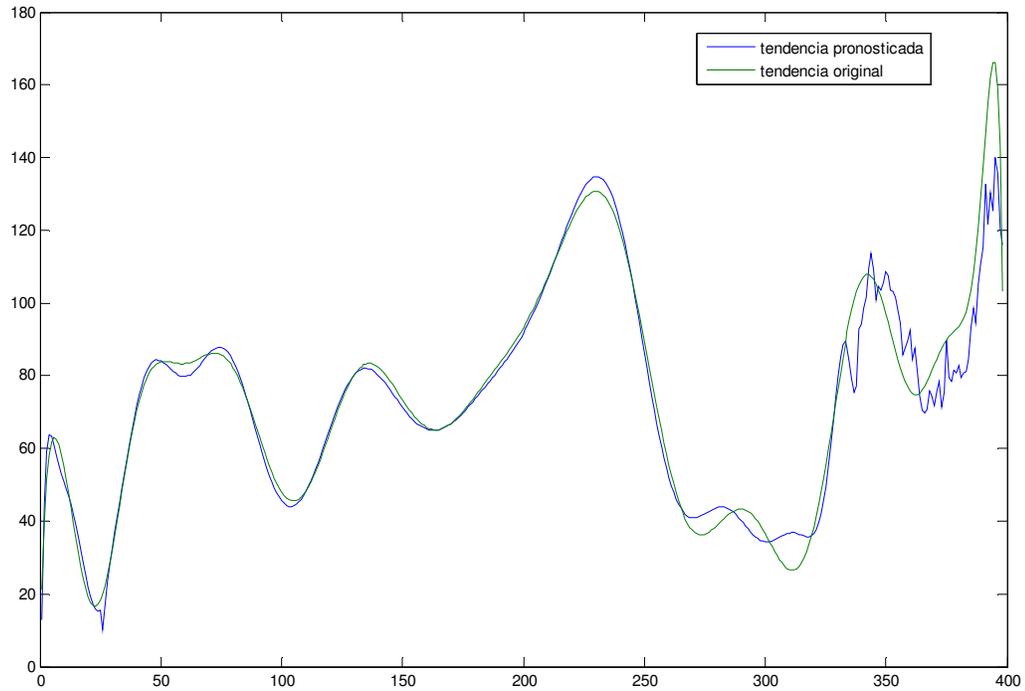


Figura 30 Pronóstico de la tendencia 60 días

Se observa que si bien sigue la forma de la tendencia original, presenta una leve diferencia hacia el final. Considerando que es un pronóstico a 60 días, el resultado es satisfactorio, ya que ayuda a visualizar el comportamiento de la serie.

Ahora se multiplica por el ciclo promedio y se compara con la serie original filtrada. La predicción comienza a partir del día 348.

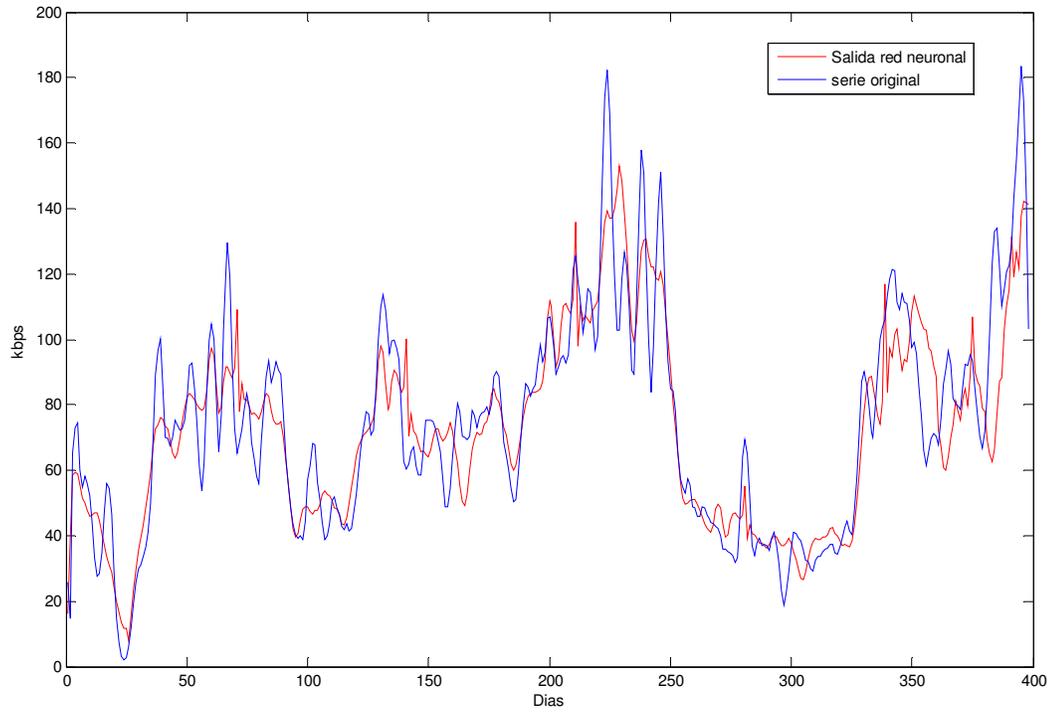


Figura 31 Pronóstico de 60 días

Se observa como la salida de la red neuronal se mantiene junta a la serie original durante la mayoría de la predicción a partir del día 340 aprox.

Se puede decir que el resultado de la predicción es de calidad, ya que da una referencia de cómo es el comportamiento futuro de la serie.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo, se analizó el funcionamiento de la red GPRS, la cual opera en paralelo a la red GSM, sin que ésta sufra mayores modificaciones. Con el estudio de la red GPRS se comprendió la interacción de los distintos elementos de la red, como también los procedimientos de registro y movilidad de usuarios así como el manejo de sesiones de datos. Con esta base, fue posible determinar indicadores que representen y monitoreen el rendimiento de la red GPRS.

Se identificó que los tres procesos más importantes del Core GPRS corresponden a la activación de los PDP context, el GPRS attach y los Routing Area Updates. Para el usuario, una falla en cualquiera de ellos le impide el uso del servicio GPRS. Es por ello, que se establecen los porcentajes de activación exitosa de cada uno de ellos como indicadores de calidad de la red, para el sistema de gestión de diseño.

Con respecto al trabajo relacionado al modelo predictivo, debido a lo caótico que puede ser la carga por ejemplo, en un enlace de la interfaz Gb, en un comienzo se encontraron bastantes problemas. El corto plazo de predicción que podía realizar, no era suficiente para ser considerada una herramienta de diseño. Se deseaba que por lo menos fuese un mes que pudiese pronosticar.

Se intentaron distintas maneras de manejar las series de tiempo (refiérase a serie de tiempo, a la carga en los enlaces, carga de CPU, etc), siempre considerando el uso de las redes neuronales, debido a los buenos antecedentes que éstas poseen en lo que se refiere a predicción de series de tiempo. Si bien se vieron muchas formas de realizar estos pronósticos, ninguno tuvo el resultado que se logró tener con el método desarrollado en este trabajo. La idea de solo predecir la tendencia de las series, hizo más fácil el asunto, porque en un comienzo, se realizó pronosticando la tendencia y el ciclo por separado, lo que llevaba a la suma de los errores obtenido de ambos pronósticos, obteniendo resultados muy malos.

El método que se propuso en este trabajo se debe a lo siguiente. Por ejemplo, la carga en la interfaz Gb presenta un perfil durante la semana, el que no tiende a variar

mucho, Lo que varía es el volumen traficado, no su perfil. Se desea dar a entender la idea de que varía más la tendencia, no así tanto el ciclo. Es por esto, que se considera un ciclo promedio, obtenido con el coeficiente de autocorrelación, y que al multiplicarlo por la tendencia, se obtiene la serie “limpia”, sin factores de ruido, como se podría considerar a alguien que estuvo traficando en GPRS todo el día en una bts que no suele presentar este tipo de peticiones, algo fuera de lo común. El ciclo promedio intenta evitar esto, y por eso se puede considerar que al multiplicar por la tendencia pronosticada, el resultado debe ser más bien fidedigno, pues es la tendencia la que suele cambiar.

Considerando esto, se formula un modelo predictivo, el cual presentó un buen rendimiento para el caso probado.

El aporte de este modelo en el trabajo diario de la empresa patrocinante, responde a la necesidad de poder prevenir problemas que puedan mermar la calidad del servicio de datos ofrecido a los clientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. TIMO Halonen, JAVIER Romero, JUAN Melero. GSM, GPRS and EDGE performance, Evolution Towards 3G/UMTS, 2º
2. Nokia, 2G SYSTRA, System Training Document, 2004
3. Nokia, NED, Nokia Electronic Documentation
4. Nokia, BSS Network Doctor Reports, 2006
5. The Nokia Gateway GPRS Support Node, Release 2, 2002
6. General Packet Radio Service (GPRS) Solution Description. 2002
7. Nokia SGSN. 2001
8. Box G. E. P., and Jenkins G. M., Time series Analysis: Forecasting and control, San Francisco, CA: Holden-Day, EUA, 1976.
9. Hanh H. Nguyen and Christine W. Chan, "Multiple neural networks for a long time series forecast", Neural Comput & Applic, Vol. 13, 2004.
10. Hornik K., Stinchcombe M., and White H., "Multilayer feedforward networks are universal approximators", Neural Networks, Vol. 2, No. 5, 1989
11. Montgomery Douglas C., Diseño y Análisis de Experimentos, Segunda Edición, Editorial Limusa Wiley, México D. F., 2004.

APÉNDICE A

Lista de acrónimos

| | |
|----------|--|
| 1G | First Generation |
| 2G | Second Generation |
| 3G | Third Generation |
| 4G | Fourth Generation |
| 3GPP | 3rd Generation partnership project |
| 3GPP2 | 3rd Generation partnership project |
| 8-PSK | Octagonal Phase Shift Keying |
| A | |
| AC | Admission Control |
| ACK | Acknowledge |
| AGCH | Access Grant Channel |
| AP | Access Point |
| APN | Access Point Name |
| ARQ | Automatic Repeat Request |
| AuC | Authentication Center |
| B | |
| BA | BCCH Allocation |
| BER | Bit Error Rate |
| BCCH | Broadcast Control Channel |
| BLER | Block Error Rate |
| BS | Base station |
| BSIC | Base Station Identification Code |
| BSS | Base Station Subsystem |
| BSSAP | BSS Application Part |
| BSSGP | Base Station Subsystem GPRS protocol |
| BSC | Base Station Controller |
| BTS | Base Transceiver Station |
| C | |
| CCCH | Common Control Channel |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CIR | Carrier/Interference |
| CN | Core Network |
| CRC | Cyclic Redundancy check |
| CS | Circuit Switched |
| CS | Coding Scheme |
| D | |
| DAMPS | Digital AMPS |
| DCCH | Dedicated Control Channel |
| DL | Down Link |
| DNS | Domain Name Server |
| DPCCH | Dedicated Physical Control Channel |
| DPDCH | Dedicated Physical Data Channel |
| E | |
| EDGE | Enhanced Data Rates for Global Evolution |
| EGPRS | Enhanced General Packet Radio System |
| EIR | Equipment Identity Register |

| | |
|----------|---|
| F | |
| FTP | File Transfer Protocol |
| G | |
| GERAN | GSM EDGE Radio Access Network |
| GGSN | Gateway GPRS Support Node |
| GPRS | General Packet Radio System |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| GSN | GPRS Support Node |
| GTP | GPRS Tunnelling Protocol |
| H | |
| HLR | Home Location Register |
| HTTP | HyperText Transfer Protocol |
| HW | Hardware |
| I | |
| IMEI | International Mobile Equipment Identity |
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| IP | Internet Protocol |
| IPv4 | Internet Protocol version 4 |
| IPv6 | Internet Protocol version 6 |
| IR | Incremental Redundancy |
| ISP | Internet Service Provider |
| L | |
| LA | Link Adaptation |
| LLC | Logical Link Control |
| M | |
| MAC | Medium Access Control |
| ME | Mobile Equipment |
| MM | Mobility Management |
| MMS | Multimedia Messaging Service |
| MS | Mobile Station |
| MSC | Mobile Services Switching Centre |
| MTU | Maximum Transfer Unit |
| N | |
| NACK | Negative Acknowledgement |
| NSAPI | Network layer Service Access Point Identifier |
| NSS | Network and Switching Subsystem |
| O | |
| OSS | Operation Sub-System |
| P | |
| PACCH | Packet Associated Control Channel |
| PAGCH | Packet Access Grant Channel |
| PBCCH | Packet Broadcast Control Channel |
| PCU | Packet Control Unit |
| PDCP | Packet Data Convergence Protocol |
| PDP | Packet Data Protocol |
| PDU | Protocol Data Unit |
| PDTCH | Packet Data Traffic Channel |
| PNCH | Packet Data Notification Channel |
| PRACH | Packet Random Access Channel |
| PRM | Packet Resource Manager |
| PS | Packet Switched/Packet Scheduler |
| PTM | Point-To-Multipoint |

Q

QoS Quality of Service

R

RA Routing Area
RACH Random Access Channel
Rel'97 ETSI release 97
Rel'98 ETSI release 98
Rel'99 ETSI release 99
RLC Radio Link Control
RNC Radio Network Controller
RR Radio Resource

S

SAPI Service Access Point Indicator
SGSN Serving GPRS Support Node
SIM GSM Subscriber Identity Module
SMS Short Message Service
SMTP Simple Mail Transfer Protocol
SNDCP Sub Network Dependent Convergence Protocol
SNMP Simple Network Management Protocol
SPSCH Shared Physical Sub Channel
SS Supplementary Services
SS7 Signalling System number 7

T

TBF Temporary Block Flow
TCH Traffic Channel
TDMA Time Division Multiple Access
TFI Temporary Flow Identity
TLLI Temporary Logical Link Identity
TMSI Temporary Mobile Subscriber Identity
TRAU Transcoder/Rate Adapter Unit
TRHO Traffic Reason Handover
TRX Transceiver
TSL Timeslot

U

UDP User Datagram Protocol
UE User Equipment
UL Uplink
USF Uplink State Flag
UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network

V

VPN Virtual Private Network
VoIP Voice over IP
VLR Visiting Location Register

W

WCDMA Wideband CDMA
WLAN Wireless LAN
WWW World Wide Web

X

X.25 An ITU-T Protocol for Packet Switched Network

APÉNDICE B

Tabla de resultados para el análisis de experimentos

| Entradas | Pronosticos | Entrenamiento | Capa oculta | MAE Entrenamiento | MSE Entrenamiento | MAE Validacion | MSE Validacion |
|----------|-------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| 10 | 15 | trainrp | 10 | 1,03E+00 | 1,75E+00 | 1,78E+01 | 3,99E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 13 | 1,27E+00 | 2,68E+00 | 1,78E+01 | 4,61E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 16 | 1,05E+00 | 1,80E+00 | 1,74E+01 | 3,83E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 19 | 1,05E+00 | 1,67E+00 | 1,77E+01 | 4,02E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 22 | 1,19E+00 | 2,29E+00 | 1,76E+01 | 3,92E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 25 | 9,25E-01 | 1,25E+00 | 1,76E+01 | 4,38E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 28 | 1,01E+00 | 1,58E+00 | 1,73E+01 | 3,93E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 31 | 1,01E+00 | 1,61E+00 | 1,66E+01 | 3,54E+02 |
| 10 | 15 | trainrp | 34 | 1,02E+00 | 1,72E+00 | 1,68E+01 | 3,62E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 10 | 9,68E-01 | 1,64E+00 | 1,76E+01 | 3,89E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 13 | 9,28E-01 | 1,40E+00 | 1,72E+01 | 3,81E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 16 | 1,09E+00 | 2,15E+00 | 1,90E+01 | 4,63E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 19 | 9,79E-01 | 1,69E+00 | 1,90E+01 | 4,61E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 22 | 9,41E-01 | 1,45E+00 | 1,76E+01 | 3,96E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 25 | 1,11E+00 | 2,24E+00 | 1,93E+01 | 4,72E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 28 | 1,08E+00 | 1,94E+00 | 1,74E+01 | 3,81E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 31 | 1,11E+00 | 2,07E+00 | 1,75E+01 | 3,88E+02 |
| 13 | 15 | trainrp | 34 | 1,17E+00 | 2,45E+00 | 1,83E+01 | 4,20E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 10 | 6,67E-01 | 7,70E-01 | 2,09E+01 | 5,58E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 13 | 1,15E+00 | 2,32E+00 | 2,08E+01 | 5,43E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 16 | 1,22E+00 | 2,39E+00 | 2,11E+01 | 5,57E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 19 | 1,04E+00 | 1,74E+00 | 2,02E+01 | 5,23E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 22 | 9,67E-01 | 1,41E+00 | 1,77E+01 | 4,12E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 25 | 9,49E-01 | 1,35E+00 | 1,83E+01 | 4,29E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 28 | 1,09E+00 | 1,86E+00 | 2,03E+01 | 5,15E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 31 | 1,16E+00 | 2,23E+00 | 2,13E+01 | 5,61E+02 |
| 16 | 15 | trainrp | 34 | 1,26E+00 | 2,80E+00 | 2,16E+01 | 5,82E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 10 | 9,42E-01 | 1,35E+00 | 2,01E+01 | 5,10E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 13 | 9,47E-01 | 1,32E+00 | 2,14E+01 | 5,65E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 16 | 1,32E+00 | 2,69E+00 | 2,23E+01 | 6,14E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 19 | 1,15E+00 | 1,94E+00 | 2,26E+01 | 6,23E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 22 | 1,09E+00 | 1,92E+00 | 2,10E+01 | 5,67E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 25 | 9,87E-01 | 1,49E+00 | 2,03E+01 | 5,27E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 28 | 1,10E+00 | 1,81E+00 | 2,15E+01 | 5,79E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 31 | 1,01E+00 | 1,56E+00 | 1,90E+01 | 4,62E+02 |
| 19 | 15 | trainrp | 34 | 1,05E+00 | 1,64E+00 | 2,08E+01 | 5,39E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 10 | 8,90E-01 | 1,28E+00 | 1,83E+01 | 4,07E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 13 | 7,98E-01 | 9,84E-01 | 1,51E+01 | 2,99E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 16 | 8,96E-01 | 1,24E+00 | 1,60E+01 | 3,17E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 19 | 9,34E-01 | 1,33E+00 | 1,73E+01 | 3,75E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 22 | 9,58E-01 | 1,43E+00 | 1,77E+01 | 3,76E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 25 | 9,31E-01 | 1,40E+00 | 1,78E+01 | 3,90E+02 |

| | | | | | | | |
|----|----|---------|----|----------|----------|----------|----------|
| 22 | 15 | trainrp | 28 | 9,09E-01 | 1,35E+00 | 1,77E+01 | 3,92E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 31 | 9,20E-01 | 1,40E+00 | 1,70E+01 | 3,55E+02 |
| 22 | 15 | trainrp | 34 | 8,50E-01 | 1,09E+00 | 1,63E+01 | 3,48E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 10 | 7,67E-01 | 9,27E-01 | 1,15E+01 | 1,73E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 13 | 9,70E-01 | 1,61E+00 | 6,05E+00 | 5,60E+01 |
| 25 | 15 | trainrp | 16 | 7,45E-01 | 9,10E-01 | 9,10E+00 | 1,16E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 19 | 9,20E-01 | 1,42E+00 | 1,59E+01 | 3,13E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 22 | 9,11E-01 | 1,39E+00 | 1,44E+01 | 2,57E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 25 | 8,42E-01 | 1,13E+00 | 1,15E+01 | 1,75E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 28 | 8,19E-01 | 1,10E+00 | 1,15E+01 | 1,71E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 31 | 8,76E-01 | 1,30E+00 | 9,25E+00 | 1,18E+02 |
| 25 | 15 | trainrp | 34 | 7,93E-01 | 1,04E+00 | 1,35E+01 | 2,32E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 10 | 8,47E-01 | 1,23E+00 | 1,57E+01 | 3,00E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 13 | 7,66E-01 | 1,01E+00 | 1,46E+01 | 2,62E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 16 | 9,25E-01 | 1,47E+00 | 1,34E+01 | 2,21E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 19 | 1,01E+00 | 1,76E+00 | 1,59E+01 | 3,04E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 22 | 1,01E+00 | 1,78E+00 | 1,70E+01 | 3,47E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 25 | 9,12E-01 | 1,44E+00 | 1,37E+01 | 2,33E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 28 | 1,02E+00 | 1,82E+00 | 1,48E+01 | 2,63E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 31 | 9,27E-01 | 1,49E+00 | 1,29E+01 | 2,08E+02 |
| 28 | 15 | trainrp | 34 | 8,64E-01 | 1,27E+00 | 1,53E+01 | 2,87E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 10 | 9,14E-01 | 1,50E+00 | 1,64E+01 | 3,20E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 13 | 7,98E-01 | 1,00E+00 | 6,64E+00 | 7,58E+01 |
| 31 | 15 | trainrp | 16 | 1,24E+00 | 2,68E+00 | 1,89E+01 | 4,24E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 19 | 1,17E+00 | 2,39E+00 | 1,86E+01 | 4,13E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 22 | 9,88E-01 | 1,71E+00 | 1,76E+01 | 3,67E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 25 | 1,05E+00 | 1,93E+00 | 1,76E+01 | 3,70E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 28 | 1,16E+00 | 2,47E+00 | 1,68E+01 | 3,34E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 31 | 1,32E+00 | 3,06E+00 | 2,00E+01 | 4,59E+02 |
| 31 | 15 | trainrp | 34 | 1,09E+00 | 2,12E+00 | 1,69E+01 | 3,39E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 10 | 7,30E-01 | 8,71E-01 | 1,14E+01 | 2,07E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 13 | 5,10E-01 | 4,97E-01 | 2,40E+01 | 8,05E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 16 | 8,66E-01 | 1,36E+00 | 2,20E+01 | 5,88E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 19 | 1,01E+00 | 1,78E+00 | 1,80E+01 | 3,97E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 22 | 1,06E+00 | 2,00E+00 | 1,83E+01 | 4,05E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 25 | 1,09E+00 | 2,12E+00 | 1,86E+01 | 4,34E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 28 | 8,77E-01 | 1,31E+00 | 1,51E+01 | 2,85E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 31 | 8,00E-01 | 1,08E+00 | 1,60E+01 | 3,94E+02 |
| 34 | 15 | trainrp | 34 | 7,56E-01 | 9,11E-01 | 1,85E+01 | 7,41E+02 |

APÉNDICE C

Ecuación de salida red neuronal

salida_red = MSE(x1, x2)=

$$\begin{aligned} & -12.3986 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(3.4929*x1 + -5.6993*x2 + 3.103))) - 1) + -1.2725 * (2 ./ (1 + \\ & \exp(-2*(4.0467*x1 + 4.4775*x2 + -1.4487))) - 1) + -13.7147 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.1907*x1 \\ & + -2.8301*x2 + -0.21177))) - 1) + 10.5723 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(3.4352*x1 + -0.57888*x2 + \\ & 0.48804))) - 1) + -8.8729 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(5.8367*x1 + 3.1714*x2 + -2.0909))) - 1) + - \\ & 2.0277 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(18.6337*x1 + 9.2993*x2 + 3.6575))) - 1) + 1.0094 * (2 ./ (1 + \\ & \exp(-2*(5.9358*x1 + -4.1886*x2 + -1.3362))) - 1) + 7.4419 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(-1.0598*x1 \\ & + -1.0828*x2 + -1.7106))) - 1) + -11.269 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(3.8123*x1 + -0.18545*x2 + \\ & 0.31173))) - 1) + -13.7055 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.9174*x1 + -4.8523*x2 + 3.5313))) - 1) + \\ & 2.5621 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(13.6071*x1 + -6.3135*x2 + 13.3736))) - 1) + 2.703 * (2 ./ (1 + \\ & \exp(-2*(20.2842*x1 + 9.1655*x2 + 19.844))) - 1) + -6.5212 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(4.9478*x1 \\ & + -0.13168*x2 + 2.2682))) - 1) + 8.2166 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(1.511*x1 + 0.46334*x2 + \\ & 0.41863))) - 1) + 9.4607 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(5.6673*x1 + 3.3897*x2 + -2.0224))) - 1) + \\ & 26.6322 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.5499*x1 + -4.3342*x2 + 2.6941))) - 1) + 1.8002 * (2 ./ (1 + \\ & \exp(-2*(17.665*x1 + -6.3882*x2 + 9.9308))) - 1) + -3.1964 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(11.2756*x1 \\ & + -2.8937*x2 + 10.0269))) - 1) + 2.1592 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(21.8449*x1 + 9.7248*x2 + \\ & 3.8388))) - 1) + 1.8656 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(22.6082*x1 + 5.1216*x2 + 9.7607))) - 1) + \\ & 10.7091 * (2 ./ (1 + \exp(-2*(2.2914*x1 + -3.2609*x2 + -0.29321))) - 1) + 5.7115 * (2 ./ (1 \\ & + \exp(-2*(3.1165*x1 + 2.6655*x2 + -6.9782))) - 1) + 8.5194 \end{aligned}$$

donde x1=número de neuronas en la capa de entrada de la red a usar para predecir
x2= número de neuronas en la capa oculta de la red a usar para predecir

APÉNDICE D

FÓRMULAS DE LOS INDICADORES

Carga interfaz GB Download

```
8*(dlci_1_bytes_rec
+ dlci_2_bytes_rec
+ dlci_3_bytes_rec
+ dlci_4_bytes_rec
+ dlci_5_bytes_rec)/(period_duration*60)
-----
sum per frbc over all unlocked child nsvc
(c_nsvc.committed_info_rate*16);
```

Datos GTP enviados en downlink

```
GTP_DATA_IN_BYTES_SENT_IN_DL
-----
1048576
```

Datos GTP enviados en uplink

```
GTP_DATA_IN_BYTES_SENT_IN_UL
-----
1048576
```

Promedio de abonados atachados por PAPU

```
AVE_ATTACH_SUBSCR_PER_PAPU_SUM
-----
AVE_ATTACH_SUBSCR_PER_PAPU_DEN
```

GPRS Attach exitosos

SUCC_GPRS_ATTACH + SUCC_IMSI_ATTACH

SUCC_GPRS_ATTACH + SUCC_IMSI_ATTACH +
GPRS_ATTACH_FAIL_PROT_ERROR + FAIL_GPRS_ATTACH + FAIL_IMSI_ATTACH +
REJECTED_ATTACH_ATTEMPTS + REJ_ATTACH_IN_EAR_PHASE

Activación exitosa de contextos PDP

SUCC_MO_PDP_CONTEXT_ACT

SUCC_MO_PDP_CONTEXT_ACT + FAIL_MO_PDP_CONTEXT_ACT +
FAIL_MO_PDP_ACT_INV_PDP_ACTMSG + FAIL_MO_PDP_ACT_INSUF_RES +
FAIL_MO_PDP_ACT_RE_GGSN + FAIL_MO_PDP_ACT_REJ_UNSPEC +
FAIL_MO_PDP_ACT_NSAPI_USED + MO_PDP_ACT_FAIL_SO_OUT_OF_ORD +
REJ_PDP_CONT_ACT_ATTEMPTS

Inter-SGSN RAU exitoso

SUCC_INTER_SGSN_RA_UPDAT

SUCC_INTER_SGSN_RA_UPDAT + INTER_SGSN_RAU_F_ILL_MS +
INTER_SGSN_RAU_F_ILL_ME + INTER_SGSN_RAU_F_GPRS_NA +
INTER_SGSN_RAU_F_MS_IDENT + INTER_SGSN_RAU_F_IMP_DETACH +
INTER_SGSN_RAU_F_PLMN_NA + INTER_SGSN_RAU_F_LA_NA +
INTER_SGSN_RAU_F_ROAMING_NA + INTER_SGSN_RAU_F_GPRS_NA_PL +
INTER_SGSN_RAU_F_NO_S_CELL + INTER_SGSN_RAU_F_PROT_ERR +
FAIL_INTER_SGSN_RA_UPDAT

Inter-PAPU RAU

SUCC_INTER_PAPU_RA_UPDAT

SUCC_INTER_PAPU_RA_UPDAT + INTER_PAPU_RAU_F_ILL_MS +
INTER_PAPU_RAU_F_ILL_ME + INTER_PAPU_RAU_F_GPRS_NA +
INTER_PAPU_RAU_F_MS_IDENT + INTER_PAPU_RAU_F_IMP_DETACH +
INTER_PAPU_RAU_F_PLMN_NA + INTER_PAPU_RAU_F_LA_NA +
INTER_PAPU_RAU_F_ROAMING_NA + INTER_PAPU_RAU_F_GPRS_NA_PL +
INTER_PAPU_RAU_F_NO_S_CELL + INTER_PAPU_RAU_F_PROT_ERR +
FAIL_INTER_PAPU_RA_UPDAT

Intra-PAPU RAU

SUCC_INTRA_PAPU_RA_UPDAT

SUCC_INTRA_PAPU_RA_UPDAT + FAIL_INTRA_PAPU_RA_UPDAT +
INTRA_PAPU_RAU_F_ILL_MS + INTRA_PAPU_RAU_F_ILL_ME +
INTRA_PAPU_RAU_F_GPRS_NA + INTRA_PAPU_RAU_F_MS_IDENT+
INTRA_PAPU_RAU_F_IMP_DETACH + INTRA_PAPU_RAU_F_PLMN_NA +
INTRA_PAPU_RAU_F_LA_NA + INTRA_PAPU_RAU_F_ROAMING_NA +
INTRA_PAPU_RAU_F_GPRS_NA_PL + INTRA_PAPU_RAU_F_NO_S_CELL +
INTRA_PAPU_RAU_F_PROT_ERR

Periodical RAU

SUCC_PERIODICAL_RA_UPDAT

SUCC_PERIODICAL_RA_UPDAT + PERIODIC_RAU_F_ILL_MS +
PERIODIC_RAU_F_ILL_ME + PERIODIC_RAU_F_GPRS_NA +
PERIODIC_RAU_F_MS_IDENT + PERIODIC_RAU_F_IMP_DETACH +
PERIODIC_RAU_F_PLMN_NA + PERIODIC_RAU_F_LA_NA +
PERIODIC_RAU_F_ROAMING_NA + PERIODIC_RAU_F_GPRS_NA_PL +
PERIODIC_RAU_F_NO_S_CELL + PERIODIC_RAU_F_PROT_ERR +
FAIL_PERIODICAL_RA_UPDAT

ANEXO

Código Matlab para el Modelo de Predicción

Con este código se obtiene el ciclo promedio y la tendencia de la serie original

```
final(serie)  
[tendencia,ciclo]=polinomio_nuevo_modificado(serie);  
[periodo,correlacion]=obtenerperiodo(ciclo);  
periodo  
ciclo_promedios=creapromedios(ciclo,periodo)';  
ciclo_promedios=ciclo_promedios(1,1:length(serie));  
serie_limpia=ciclo_promedios.*tendencia;  
hold off  
plot(serie_limpia)  
hold on  
plot(serie,'r')  
legend('Serie limpia','Serie original',1);  
suma_error=sum((serie-serie_limpia).^2);  
suma_desviacion=sum((serie-mean(serie)).^2);  
coef_determinacion=1-suma_error/suma_desviacion
```

.....

El siguiente código realiza la predicción de “pronóstico” pasos.

```
function  
[net,MSE_validacion,MSE_entrenamiento,MAE_entrenamiento,MAE_validacion,Max_diferencia,salida_re  
d]=preparar_final(serie,n,pronostico,capaoculta,tasa_aprendizaje,entrenamiento,ciclos)  
%% -n corresponde al tamaño de la ventana  
%% -proporcion es el porcentaje de elementos a usar para entrenar. Ej: 70  
%% corresponde al 70% de los patrones de la matriz de datos de entrada para entrenar. Si la  
%% cantidad de elementos no fuese entero, se redondea hacia arriba.  
%% -pronostico es el número de periodos a predecir  
%% -serie corresponde a la fila con la serie de tiempo  
  
%se comprueba si la serie se ingresa como vector fila, o columna. Debe  
%quedar como vector fila  
  
dim=size(serie);  
if dim(1,2)==1  
    serie=serie';  
else  
  
end  
  
prediccion=zeros(1,pronostico);
```

```

dim=size(serie);

serie_orig=serie;

serie=serie(1,1:dim(1,2)-pronostico);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

dim=size(serie);

%separa la serie en entradas y salidas (targets),
[entrada,target]=separa_multiples2(serie,n,1);

%normaliza los valores entre [-1,1]
[entr_norm,target_norm]=normaliza(entrada,target,serie);

porte=size(entr_norm);

porte_target=size(target_norm);

%% se obtiene la cantidad de elementos para entrenar de la matriz de datos
%% de entrada

%se separan los grupos de entrenamiento y validacion
Entrada_entr=entr_norm(1:porte(1,1)-1,:);
Target_entr=target_norm(1:porte(1,1)-1,:);

%se copian los vectores de entrenamiento para luego simular la red.
E_entr_copia=Entrada_entr';
T_entr_copia=Target_entr';

%% se crea la matriz con los patrones de validacion
Entrada_val=entr_norm(porte(1,1),:);

%% se transponen las matrices para ingresarlas al toolbox de redes
%% neuronales
Entrada_entr=Entrada_entr';
Target_entr=Target_entr';

Entrada_val=Entrada_val';
% Salida_val=Salida_val';

limites = minmax(Entrada_entr);
net = newff(limites, [capaoculta 1], {'tansig' 'purelin'},entrenamiento);

net.trainParam.show = 250;
net.trainParam.lr = tasa_aprendizaje;      %%tasa de aprendizaje
net.trainParam.mc = 0.1;                   %% momento
net.trainParam.epochs =ciclos;             %% epocas
net.trainParam.goal = 0.000001;           %% error

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

net.initFcn='initlay';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Para que llame a la función inicio que se encargará de colocar los
%valores iniciales en las conexiones de la RNA
net.layers{1}.initFcn='initwb';
net.layers{2}.initFcn='initwb';
%Inicializa los pesos
net.inputWeights{1,1}.initFcn='midpoint';
net.layerWeights{2,1}.initFcn='midpoint';
net.biases{1}.initFcn='midpoint';
net.biases{2}.initFcn='midpoint'; %midpoint
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

net = init(net) %% se inicializan los pesos de la red
net = train(net, Entrada_entr, Target_entr); %%entrenamiento

%% se simula la red con los patrones de entrenamiento
out_train = sim(net, E_entr_copia);

%% se simula la red con los patrones de validacion
out_val = sim(net, Entrada_val);

for i=1:pronostico
    prediccion(1,i)=out_val;
    Entrada_val(n+i,1)=out_val;
    out_val = sim(net, Entrada_val(i+1:i+n,1));
end
%% Se desnormalizan los valores para obtenerlos en su valor real.
[out_val]=desnormaliza(out_val,serie);
[out_train]=desnormaliza(out_train,serie);
[prediccion]=desnormaliza(prediccion,serie);
[Entrada_val]=desnormaliza(Entrada_val,serie);

%% se dejan las matrices de salida como vector
%[out_train_prom]=arregla_salida(out_train);
%[out_val_prom]=arregla_salida(out_val);
largo=size(out_train);

%[target_prom]=arregla_salida(target);

%out_train_prom=out_train_prom';
%out_val_prom=out_val_prom';
prediccion=prediccion';
salida_red=[serie(1,1:n) out_train' prediccion];

error_validacion=prediccion'-serie_orig(1,dim(1,2)+1:dim(1,2)+pronostico)';
MSE_validacion=mse(error_validacion)
MAE_validacion=mae(error_validacion)

error_entrenamiento=[serie(1,1:n) out_train']-serie;
MSE_entrenamiento=mse(error_entrenamiento)
MAE_entrenamiento=mae(error_entrenamiento)

Max_diferencia=max(abs(error_validacion))

```

```

suma_error=sum((serie_orig(1,dim(1,2)+1:dim(1,2)+pronostico)'-prediccion').^2);

suma_desviacion=sum((target-mean((serie_orig(1,dim(1,2)+1:dim(1,2)+pronostico))))).^2);

coef_determinacion=1-suma_error/suma_desviacion

pasos=strcat('prediccion: ',num2str(pronostico),' periodos')

```

```

plot(serie_orig,'b:')
TITLE(pasos)
hold on
plot(salida_red,'r')
hold on
plot(serie,'k')
legend('Valores reales','Salida red neuronal','Serie',-1);
hold off

```



%%% aqui se obtiene el modelo de las medidas de desempeño
 %%% en función de las variables controladas. Mediante una red
 %%% neuronal, se ingresan las variables como entrada a la red, y se le
 %%% entrega la medida de desempeño como target.

```

minimo=min(entradas);
maximo=max(entradas);
entradas_norm(:,1)=2.*(entradas(:,1)-minimo(1,1))./(maximo(1,1)-minimo(1,1))-1;
entradas_norm(:,2)=2.*(entradas(:,2)-minimo(1,2))./(maximo(1,2)-minimo(1,2))-1;

```

```

minimo_target=min(target);
maximo_target=max(target);
target_norm=2.*(target-minimo_target)./(maximo_target-minimo_target)-1;
limites = minmax(entradas_norm');

```

```
for capaoculta=2:5:27
```

```
net = newff(limites, [capaoculta 1], {'tansig' 'purelin'}, 'trainlm');
```

```

net.trainParam.show = 250;
net.trainParam.lr = 0.0005;      %%tasa de aprendizaje
net.trainParam.mc = 0.1;        %% momento
net.trainParam.epochs = 1500;   %% epocas
net.trainParam.goal = 0.000001; %% error

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
net.initFcn='initlay';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
%Para que llame a la función inicio que se encargará de colocar los
%valores iniciales en las conexiones de la RNA
```

```
net.layers{1}.initFcn='initwb';
net.layers{2}.initFcn='initwb';
%Inicializa los pesos
net.inputWeights{1,1}.initFcn='midpoint';
net.layerWeights{2,1}.initFcn='midpoint';
net.biases{1}.initFcn='midpoint';
net.biases{2}.initFcn='midpoint'; %midpoint
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
net = init(net) %% se inicializan los pesos de la red
net = train(net, entradas_norm, target_norm); %%entrenamiento
```

```
%% se simula la red con los patrones de entrenamiento
```

```
out_train = sim(net,entradas_norm);
```

```
out_train_desnorm=minimo_target+0.5*(out_train+1).*(maximo_target-minimo_target);
suma_error=sum((target-out_train_desnorm).^2);
```

```
suma_desviacion=sum((target-mean(target)).^2);
```

```
coef_determinacion=1-suma_error/suma_desviacion
```

```
if (coef_determinacion>0.99)
    break
else
    end
```

```
end
```

```
plot(out_train_desnorm)
hold on
plot(target,'r')
```

.....

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% crea ecuacion de la medida de desempeño en funcion de las variables controladas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% considerando los pesos de la red neuronal como coeficientes de la
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% ecuación.
```

```
iw=net.IW{1};
lw=net.LW{2};
b=net.b{1};
bsalida=net.b{2};
```

```
dim=size(iw);
```

```
salidas_IW=struct(inline);
```

```

for i=1:dim(1,1)
    y1=[num2str(iw(i,1)),'*x1'];
    y2=[num2str(iw(i,2)),'*x2'];
    Y=[y1,'+',y2,'+',num2str(b(i))];
    YY=[2./(1+exp(-2*(Y))) - 1];
    Y=inline(YY,'x1','x2');
    salidas_IW(i,1)=Y;
end

```

```

salida_red=[num2str(lw(1,1)),'*(' ',salidas_IW(1,1).expr,') + '];

```

```

for j=2:dim(1,1)-1
    salida_red2=[num2str(lw(1,j)),'*(' ',salidas_IW(j,1).expr,') + '];
    salida_red=[salida_red,salida_red2];
end

```

```

salida_red=[salida_red,num2str(lw(1,dim(1,1))),'*(' ',salidas_IW(dim(1,1),1).expr,') + ',num2str(bsalida)]

```

```

funcion=inline(salida_red,'x1','x2');

```

.....

```

%%
%%
%% funcion que genera las matrices de entradas y salidas a ingresar en la red neuronal
%%
%%

```

```

function [entr,target]=separa_multiples2(serie,n,pronostico)
% n es el largo de la ventana
% serie es el conjunto con los valores de la serie
% se considera una salida de "pronostico" valores como pronostico

```

```

dim=size(serie);
if dim(1,2)==1
    serie=serie';
else

```

```

end

```

```

dim=size(serie);
%pronostico=pronostico-1;%

```

```

entr=zeros(dim(1,2)+1-n,n);
target=zeros(dim(1,2)+1-n-pronostico,pronostico);
indice=1;

```

```

%%% se crea la matriz de entrada
for i=1:dim(1,2)+1-n
    entr(i,1:n)=serie(indice:indice-1+n);
    indice=indice+1;
end

```

```

%%% se crea la matriz de targets
indice=1;
for i=1:dim(1,2)+1-n-pronostico
    target(i,1:pronostico)=serie(indice+n:indice+n+pronostico-1);
    indice=indice+1;
end

```



Funciones para Normalizar y desnormalizar las entradas y salidas que se ingresan a la red neuronal.

```

function [entr_norm,salida_norm]=normaliza(entrada,salida,serie)
minimo=min(serie);
maximo=max(serie);

entr_norm=2.*(entrada-minimo)./(maximo-minimo)-1;
salida_norm=2.*(salida-minimo)./(maximo-minimo)-1;

```

```

function [entr_desnorm]=desnormaliza(entrada,serie)
minimo=min(serie);
maximo=max(serie);

entr_desnorm=minimo+0.5*(entrada+1).*(maximo-minimo);

```



Esta función separa la serie en su tendencia y ciclo.

```

function [tendencia,ciclo]=polinomio_nuevo_modificado(serie)

dim=size(serie);

if dim(1,2)==1
    serie=serie';
else

```

```

end
dim=size(serie);
t=(1:1:dim(1,2));

max_orden=23;

guarda=zeros(1,max_orden);

%mediante un ciclo for se obtiene el orden del polinomio que
%deja la serie sin tendencia y con mejor desviacion estandar
%se prueba hasta el polinomio de orden 23

for i=1:max_orden
[P,S,MU] = POLYFIT(t,serie,i);
that=(t-MU(1))/MU(2);
z=polyval(P,that);
ciclo=serie./z;
desviacion_estandar=std(ciclo);
guarda(1,i)=desviacion_estandar;
end

[minimo,orden_polinomio]=min(guarda)

[P,S,MU] = POLYFIT(t,serie,orden_polinomio);
that=(t-MU(1))/MU(2);
tendencia=polyval(P,that);

%% se agregan los ultimos 1 valores reales de la serie a la tendencia
tendencia(1,length(tendencia))=serie(1,length(serie));
%%%%%%%%

ciclo=serie./tendencia;
desviacion_estandar=std(ciclo)

subplot(2,1,1), plot(t,tendencia,t,serie), TITLE('Serie y Tendencia')
subplot(2,1,2), plot(t,ciclo), TITLE('Ciclo')

hold off

```

.....

Con esta función, mediante el coeficiente de correlación se identifica el “periodo” del ciclo.

```

function [periodo,correlacion]=obtenerperiodo(ciclo)
correlacion=zeros(1,1);
n=length(ciclo);

for i=7:1:n/3
y= autocorr(ciclo,i);
correlacion(i,1)=y;

```

```

end
%correlacion(1)=correlacion(2);
maximo=max(correlacion);

for i=7:1:n/3
    if correlacion(i,1)==maximo;
        break
    else
        end
end

end

periodo=i

```



%%esta funcion crea la serie con los promedios de los datos separados en k.
%%Este valor se obtiene de la autocorrelacion.

```
function ciclo_promedios=creapromedios(ciclo,distancia)
```

```

suma=0;
indice=1;
promedio=zeros(distancia,1);

```

```

for indice=1:1:distancia
    ind=indice;
    contador=0;
    suma=0;
    while indice<=length(ciclo)
        suma=ciclo(indice)+suma;
        indice=indice+distancia;
        contador=contador+1;
    end
    promedios(ind)=suma/contador;
    indice=ind;
end

```

```
promedios=promedios';
```

```

ciclo_promedios=zeros(length(ciclo),1);
i=1;
while i<=length(ciclo)
    for j=1:1:length(promedios)
        ciclo_promedios(i)=promedios(j);
        i=i+1;
    end
end
end

```

.....

Esta función se utiliza cuando se tiene la expresión exponencial que identifica a la medida de desempeño, para poder encontrar el mínimo y así la configuración de la red neuronal que minimiza el error

```
function minimo
```

```
entradas_prueba=5:1:38;  
capaoculta=5:1:41;
```

```
dim_entradas=size(entradas_prueba);  
dim_entradas=dim_entradas(1,2);
```

```
dim_capaoculta=size(capaoculta);  
dim_capaoculta=dim_capaoculta(1,2);
```

```
minimo=min(entradas_prueba);  
maximo=max(entradas_prueba);  
entradas_prueba_norm=2.*(entradas_prueba-minimo)./(maximo-minimo)-1;
```

```
minimo_capaoculta=min(capaoculta);  
maximo_capaoculta=max(capaoculta);  
capaoculta_norm=2.*(capaoculta-minimo_capaoculta)./(maximo_capaoculta-minimo_capaoculta)-1;
```

```
i=1;
```

```
for entradas_cont=1:dim_entradas  
    for capaoculta=1:dim_capaoculta  
        resultado(i)=funcion(entradas_prueba_norm(entradas_cont),capaoculta_norm(capaoculta));  
        valor(i,:)=[entradas_prueba_norm(entradas_cont),capaoculta_norm(capaoculta)];  
        i=i+1;  
    end  
end
```

```
minimo_valor=min(resultado)
```

```
dim_resultado=size(resultado);  
dim_resultado=dim_resultado(1,2);
```

```
for i=1:dim_resultado  
    if (resultado(i)==minimo_valor)  
        break  
    else  
        end  
end
```

```

numero_entradas=valor(i,1);
numero_capas_ocultas=valor(i,2);
numero_entradas=minimo+0.5*(numero_entradas+1).*(maximo-minimo)
numero_capas_ocultas=minimo_capaoculta+0.5*(numero_capas_ocultas+1).*(maximo_capaoculta-
minimo_capaoculta)

```

Con esta función se obtienen los resultados de los experimentos. Se imprimen las medidas de desempeño de cada experimento, en un archivo .txt.

```

function experimento_serie_separada_final_final(serie,archivo)

[tendencia,ciclo]=polinomio_nuevo(serie);

archivo_tend=strcat(archivo,'_tendencia.txt');
resultados_tendencia=fopen(archivo_tend,'a+');

fprintf(resultados_tendencia,'Entradas\tPronosticos\tEntrenamiento\tCapa oculta\tTasa aprendizaje\tMAE
Entrenamiento\tMSE Entrenamiento\tMAE Validacion\tMSE Validacion\tMax_diferencia');
fprintf(resultados_tendencia,'\r\n');

pronostico=15;

entrenamiento='trainrp';
ciclos=1250;
for entrada=10:3:34 %% ciclo para la variacion de las entradas
    %for pronostico=5:5:35 %% ciclo para la variacion de los pronosticos
        for capaoculta=10:3:34 %% ciclo para la variacion de la capa oculta
            %for tasa_aprendizaje=0.0005:0.045:0.0905

[net_tend,MSE_validacion,MSE_entrenamiento,MAE_entrenamiento,MAE_validacion,Max_diferencia,sali
da_tendencia]=preparar_final(tendencia,entrada,pronostico,capaoculta,0.0005,entrenamiento,ciclos);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',entrada);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',pronostico);
    fprintf(resultados_tendencia,'trainrp\t');
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',capaoculta);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',0.0005);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',MAE_entrenamiento);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',MSE_entrenamiento);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',MAE_validacion);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d\t',MSE_validacion);
    fprintf(resultados_tendencia,'%d',Max_diferencia);
    fprintf(resultados_tendencia,'\r\n');
            %end
        end
    end
end

```

```
end %end
```

```
fclose(resultados_tendencia);
```