

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

ARIEL ANDRÉS YUNG MEYOHAS

PROFESOR GUÍA:

NICOLÁS BELTRÁN MATURANA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

NÉSTOR BECERRA YOMA

PEDRO ROMERO GUTIÉRREZ

SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2010

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: ARIEL ANDRÉS YUNG MEYOHAS
FECHA: 25/01/2010
PROF. GUÍA: Sr. NICOLÁS BELTRÁN MATURANA

PROYECCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL

El objetivo de este estudio consiste en determinar la influencia que el tráfico que cursa la red *core* de Entel PCS tiene sobre el consumo energético del *Data Center* que el operador tiene en Santiago. Con esta información se espera proyectar el consumo de forma eficiente, creando una herramienta que describa la relación entre las variables.

Para llevar esto a cabo, se realiza la adquisición de datos de tráfico y consumo energético para generar un modelo agregado y otro desagregado que relacionan estas variables. Además se plantea la forma general de cada uno de ellos. Posteriormente, se describen en términos de sus parámetros y estimadores estadísticos sugiriéndose cotas para algunos nodos en base a información del fabricante de los equipos y a la documentada en el área de energía del operador. Luego se aplica el modelo desagregado utilizando datos actuales para discutir su validez y se da paso al análisis de distintos escenarios de proyección para el año 2010. Como resultado se observa que un 25% del tiempo los recursos energéticos no se emplean en ofrecer servicios de comunicaciones. Esto es debido a que es la componente constante del consumo energético, aquella de mayor peso.

Se concluye que los modelos obtenidos logran relacionar el tráfico cursado por la red *core* del operador con su consumo de energía. Esta representación, propuesta por primera vez, permite planificar expansiones de la red desde el punto de vista del consumo de energía requerido. Como trabajo futuro se deja propuesto determinar los parámetros de los elementos de la red en base a un estudio más exhaustivo para mejorar las predicciones del modelo.

A Pali y Lily...

Agradecimientos

A mis padres, Rossy y Karcsi, por el constante e inmenso apoyo que me han dado a lo largo de toda mi vida y por quererme tal como soy.

A mi querido hermano Danny, por quien siento un profundo cariño y admiración. Gracias por estar siempre conmigo.

A mi preciosa Daniela, por quererme, apoyarme y simplemente ser quien es: la mujer de mi vida.

Un sentido agradecimiento a mis abuelos, quienes iniciaron esta historia. Su temple y perseverancia son la razón por la que estamos aquí.

A mis queridos amigos, todos quienes de una u otra forma hicieron que estos años fueran mucho más que estudio y obligaciones académicas. Gracias por acompañarme en este viaje, por apoyarme en los momentos difíciles, por compartir mis alegrías y dejarme ser parte de las suyas.

A mi profesor guía, Nicolás Beltrán, por acoger este proyecto y creer en él. Agradezco también a Pedro, por apoyarme constantemente, darme ánimo y, por sobretodo, confiar en mí y en mi trabajo. No puedo dejar fuera a Richard, Florencio, Gerardo, Eduardo, Pato y Samuel, por su enorme disposición a ayudarme. Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes.

Índice de Contenidos

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Marco de Desarrollo del Proyecto de Memoria..... | 2 |
| 1.2. Motivación y Alcance del Proyecto | 2 |
| 1.3. Objetivos Generales | 3 |
| 1.3.1. Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.4. Estructura de la Memoria..... | 3 |
| | |
| 2. Antecedentes de Arquitectura y Planificación de Redes Celulares | 5 |
| 2.1 Arquitectura de una Red de Telefonía Móvil | 5 |
| 2.1.1 Redes de Segunda Generación (2G)..... | 5 |
| 2.1.2 Redes de Tercera Generación (3G) | 12 |
| 2.2 Planificación de una Red de Telefonía Móvil | 18 |
| 2.2.1 Modelo de Erlang-B..... | 18 |
| 2.2.2 Factores que Intervienen en la Planificación de la Red | 22 |
| 2.2.3 Estimación de Tráfico | 23 |
| 2.2.4 Asignación de Recursos de la Interfaz Radioeléctrica..... | 23 |
| 2.3 Elementos Presentes en el Sistema de Alimentación Eléctrica de un Data Center | 25 |
| 2.3.1 Inversores..... | 25 |
| 2.3.2 Rectificadores..... | 27 |
| 2.4 Marco del Proyecto | 29 |

| | |
|---|----|
| 3. Metodología | 30 |
| 3.1 Esquema de Alimentación Eléctrica del DCS..... | 30 |
| 3.1.1 Esquema General | 30 |
| 3.1.2 Distribución de la Energía..... | 32 |
| 3.2 Modelo Agregado..... | 33 |
| 3.2.1 Concepción del Modelo..... | 33 |
| 3.2.2 Adquisición de Datos..... | 33 |
| 3.2.3 Procesamiento de Datos | 36 |
| 3.2.4 Obtención del Modelo Agregado | 41 |
| 3.3 Modelo Desagregado | 41 |
| 3.3.1 Planificación de la Adquisición de Datos..... | 42 |
| 3.3.2 Generación del Modelo Desagregado Aplicado al Data Center Santiago..... | 45 |
| 4. Resultados..... | 47 |
| 4.1 Comportamiento del Tráfico y Consumo de Energía en un Día..... | 47 |
| 4.2 Correlación Tráfico – Consumo | 48 |
| 4.2.1 Modelo Agregado del DCS..... | 49 |
| 4.2.2 Modelo Desagregado | 51 |
| 4.3 Aplicación del Modelo al DCS..... | 59 |
| 4.3.1 Validación del Modelo..... | 59 |
| 4.3.2 Discusión de la Proyección de Consumo..... | 61 |
| 4.3.3 Desaprovechamiento de Recursos..... | 67 |
| 5. Conclusiones | 68 |
| 5.1 Trabajos Futuros..... | 69 |

| | |
|--|----|
| Referencias | 70 |
| A. Lista de Acrónimos..... | 71 |
| B. Power Allocation..... | 74 |
| B.1 HLR | 74 |
| B.2 SGSN y GGSN..... | 75 |
| C. Consumo Energético HLR en un Mes..... | 76 |
| D. Costo de la Energía..... | 77 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Red GSM – GPRS..... | 8 |
| Figura 2.2: Interfaces en la red de transporte UMTS..... | 16 |
| Figura 2.3: Arquitectura de una red UMTS. | 17 |
| Figura 2.4: Derivación de la distribución exponencial. | 20 |
| Figura 2.5: Diagrama de transición de estado de la cola M/M/S/S. | 21 |
| Figura 2.6: Sistema de clúster para minimizar interferencias..... | 24 |
| Figura 2.7: Configuración Típica de una UPS..... | 26 |
| Figura 2.8: Principios básicos de modulación PWM. | 28 |
| Figura 2.9: Conversor de puente completo. | 28 |
| Figura 3.1: Esquema de alimentación eléctrica en el DCS. | 31 |
| Figura 3.2: Plataforma de gestión de la energía del Operador..... | 34 |
| Figura 3.3: Adquisición de datos de consumo de energía. | 35 |
| Figura 3.4: Adquisición de datos de tráfico..... | 36 |
| Figura 3.5: Alimentadores de un MSC en el DCS..... | 42 |

Índice de Gráficos

| | |
|--|----|
| Gráfico 4.1: Variación de consumo de energía y tráfico en un día en un BSC..... | 48 |
| Gráfico 4.2: Carga de procesamiento en el BSC observado..... | 48 |
| Gráfico 4.3: Modelo Agregado..... | 50 |
| Gráfico 4.4: Consumo vs tráfico y modelo BSC..... | 52 |
| Gráfico 4.5: Consumo de energía RNC Chillán en una semana..... | 53 |
| Gráfico 4.6: Consumo vs Throughput y modelo RNC..... | 53 |
| Gráfico 4.7: Consumo vs Tráfico MSC Concepción..... | 55 |
| Gráfico 4.8: Consumo vs Tráfico y modelo MGW Concepción..... | 56 |
| Gráfico 4.9: Consumo de energía de un HLR del DCS durante una semana..... | 57 |
| Gráfico C.1: Consumo energético HLR entre el 30 de sept. y el 30 de oct de 2009..... | 76 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Calidad de servicio en UMTS. | 17 |
| Tabla 3.1: Pre-procesamiento de datos. | 37 |
| Tabla 3.2: Datos de consumo de energía estandarizados..... | 38 |
| Tabla 3.3: Datos de tráfico estandarizados..... | 39 |
| Tabla 3.4: Datos estandarizados pareados. | 40 |
| Tabla 4.1: Consumo de energía y tráfico en una semana típica, miércoles a viernes. | 49 |
| Tabla 4.2: Consumo de energía y tráfico en una semana típica, sábado a martes..... | 49 |
| Tabla 4.3: Parámetros del Modelo Agregado. | 50 |
| Tabla 4.4: Parámetros regresión BSC..... | 52 |
| Tabla 4.5: Coeficiente ξ | 54 |
| Tabla 4.6: Parámetros regresión tramo 1 RNC. | 54 |
| Tabla 4.7: Parámetros regresión tramo 2 RNC. | 54 |
| Tabla 4.8: Parámetros regresión MGW..... | 56 |
| Tabla 4.9: Valores extremos de consumo para el HLR..... | 57 |
| Tabla 4.10: Máximos de consumo considerados en el DCS para el SGSN y GGSN. | 58 |
| Tabla 4.11: Aplicación del modelo al DCS con datos del 20 al 30 de nov.de 2009, equipos 1 a 8.... | 60 |
| Tabla 4.12: Aplicación del modelo al DCS con datos del 20 al 30 de nov. 2009, equipos 9 al 11..... | 61 |
| Tabla 4.13: Proyección de crecimiento de tráfico..... | 61 |
| Tabla 4.14: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G, equipos 1 al 8. | 63 |
| Tabla 4.15: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G, equipos 9 al 11. | 64 |
| Tabla 4.16: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G con instalación de nuevo BSC. | 64 |
| Tabla 4.17: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G y 3G, equipos 1 al 5. | 65 |
| Tabla 4.18: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G y 3G, equipos 6 al 12. | 66 |
| Tabla B.1: <i>Power Allocation</i> HLR. | 74 |
| Tabla B.2: <i>Power Allocation</i> SGSN..... | 75 |
| Tabla B.3: <i>Power Allocation</i> GGSN. | 75 |
| Tabla D.1: Potencia promedio equipos VAS..... | 78 |
| Tabla D.2: Costo de la energía consumida por el <i>core</i> del DCS y los equipos VAS..... | 78 |

Capítulo 1

Introducción

La telefonía móvil surgió a comienzos de la década de 1980 teniendo una lenta evolución, al principio, para luego explotar y masificarse definitivamente en la última década del siglo XX.

Actualmente, para la mayoría de las personas del mundo desarrollado y de aquellos países en vías de desarrollo es impensable el diario vivir sin un teléfono celular o, mejor dicho, un terminal móvil puesto que la comunicación por voz es tan sólo un aspecto del inmenso abanico de posibilidades que abarca desde mensajes de texto simple a navegación por internet a altas velocidades y hasta televisión digital.

En este contexto se ha hecho imprescindible tener y mantener una infraestructura capaz de soportar y brindar estos servicios de forma adecuada. El constante crecimiento tanto de la demanda por servicios nuevos como del volumen de aquellos que actualmente se ofrecen obliga a mantener inversión y modernización, tanto de los equipos de radio como de los sistemas eléctricos. Lo mismo sucede para los sistemas de procesamiento de datos y la gestión de recursos, todos ellos aspectos fundamentales para el óptimo funcionamiento de la red y, más íntegramente, de la amplia gama de servicios de la que se dispone.

1.1. Marco de Desarrollo del Proyecto de Memoria

Entel PCS, uno de los mayores operadores de telefonía móvil requirió un estudio que estimara el crecimiento de los requerimientos energéticos de su *Data Center* de la ciudad de Santiago.

1.2. Motivación y Alcance del Proyecto

Año a año se hacen necesarias ampliaciones de capacidad para abastecer eléctricamente el *Data Center* que procesa todo el tráfico entrante y saliente de la ciudad de Santiago. Hasta el momento no se cuenta con una herramienta de decisión objetiva, basada en el método científico, que permita dimensionar dichas ampliaciones por lo que con su creación se espera proyectar de mejor manera el crecimiento del sistema.

Para lograr esta tarea de forma adecuada, se acotó el alcance de esta memoria a la arquitectura y al estado actual de la red *core* del Operador, tanto en 2G como en 3G. Además, dada la vertiginosa velocidad a la que se mueve este campo de las telecomunicaciones, la validez de la herramienta que se desea crear estará sujeta a cambios tecnológicos aunque mantendrá su validez actualizando los parámetros adecuados. Se espera, además, que sirva de base para trabajos venideros en el tema.

1.3. Objetivos Generales

El objetivo general de este estudio radica en determinar la influencia que el tráfico, cursado por la red *core* del Operador, tiene en el consumo energético del *Data Center* de Santiago. Con esta información se espera proyectar este consumo de forma eficiente, creando una herramienta que describa la relación entre las variables.

1.3.1. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Determinar el consumo energético del *Data Center* en estudio, basado en su arquitectura actual.
- Encontrar la correlación entre la variable de consumo de energía eléctrica y el tráfico cursado por la red *core* del *Data Center*.

1.4. Estructura de la Memoria

Este trabajo consta de cinco capítulos, contando el actual dedicado a la introducción del tema.

El capítulo 2 busca poner en contexto el trabajo que se realizó, abarcando la historia y conformación de las redes de telefonía móvil, desde sus inicios hasta el presente. Además, se incluye una sección que ilustra de forma teórica el proceso de planificación y dimensionamiento de una de estas redes. También se introducen los sistemas de alimentación que estarán presentes a lo largo de todo el estudio para finalizar con el aporte que esta memoria hará al área de conocimiento al que pertenece.

El capítulo 3 describe de forma detallada la metodología e hipótesis de trabajo que se adoptaron a lo largo de todo el proyecto; las diferentes alternativas llevadas a cabo para satisfacer los objetivos planteados; dificultades y restricciones que se debieron enfrentar y finalmente la propuesta concreta del modelo con el que se quiere representar el consumo de energía de la red.

El capítulo 4 presenta los diferentes modelos obtenidos, así como también el análisis de su comportamiento y aplicación, para finalizar con una proyección y su discusión.

En el capítulo 5 se concluirá sobre el aporte real que cada actividad hizo a la consecución de los objetivos establecidos; se harán algunas recomendaciones basadas en los resultados obtenidos y, por último, se dejarán planteadas alternativas para complementar y mejorar el resultado final de este trabajo.

Capítulo 2

Antecedentes de Arquitectura y Planificación de Redes Celulares

2.1 Arquitectura de una Red de Telefonía Móvil

Esta sección trata sobre la historia y evolución de las redes de telefonía móvil. También se describirá la arquitectura y los componentes de las más actuales e importantes.

2.1.1 Redes de Segunda Generación (2G)

Las redes de segunda generación nacen como una evolución a las redes análogas de primera generación, surgidas a principios de los años 80. En esta sección se tratará brevemente la evolución hasta GSM, donde se profundizará un poco más en su arquitectura y la adición de GPRS, la primera tecnología para el tráfico de datos de internet para un teléfono móvil.

2.1.1.1 Historia

2.1.1.1.1 AMPS – DAMPS

Esta primera generación de redes utilizaba la tecnología AMPS, que introdujo el concepto de celda y *handoff* entre celdas. Esto para una mejor utilización del espectro radioeléctrico mediante la división del espacio de cobertura [1].

La evolución a la llamada segunda generación supuso el paso al mundo digital, surgiendo así DAMPS, con las normas IS 54 e IS 136.

Se utilizó FDMA/TDMA como técnica de acceso, en contraste con FDMA en AMPS. Además se utilizaron los canales AMPS, permitiendo la transición suave entre sistemas análogos y digitales en la misma área. Se aumentó la capacidad dividiendo los 30 kHz de cada canal en 3 *time slots* y comprimiendo la voz digitalmente con un *vocoder* de 8 kb/s.

La norma IS 136 implementó la digitalización del canal de control, con el objeto de dar servicios como SMS en forma casi idéntica a cómo está establecido para el estándar GSM. DAMPS utiliza la banda de 800-900 MHz, al igual que AMPS, pero cada canal (creado con FDMA) se divide en tres (TDMA), lo que triplica el número de canales disponibles para llamadas [1][2].

2.1.1.1.2 GSM

GSM es un estándar de segunda generación de telefonía móvil. Desarrollado por el Group Spéciale Mobile, fue una iniciativa del CEPT que tuvo como objetivo reemplazar los estándares análogos en la actual Unión Europea, soportando servicios de voz y datos utilizando modulación digital [3].

En la actualidad es el estándar más popular en el mundo. Sus más de 2600 millones de usuarios en 219 países del mundo representan sobre el 85% de los usuarios de telefonía móvil a nivel mundial [4].

El sistema GSM opera en diferentes bandas de frecuencia. La mayoría utiliza las bandas de 900 MHz y 1800 MHz. En Estados Unidos y Canadá se opera en las bandas de 850 MHz y 1.900 MHz. La banda de frecuencia del *uplink* en la banda de 900 MHz está comprendida entre los 935-960 MHz y la del *downlink* entre los 890-915 MHz. De esta forma, la banda tanto del *uplink* como del *downlink* es de 25 MHz y está dividida en 124 portadoras de 200 KHz cada una. Además, cada portadora soporta 8 canales de voz, independiente de que alguno pueda ser reservado como canal de control [2].

2.1.1.1.3 GPRS

GPRS es un servicio de datos agregado a las redes GSM. Esto se logra superponiendo una interfaz aérea basada en paquetes a la red de conmutación de circuitos GSM existente. La implementación es bastante simple puesto que sólo se requiere la adición de un par de nodos a la red y de actualizaciones de *software*. De esta forma, se pasa de un sistema exclusivamente de voz, como GSM, a uno de voz más datos GPRS. El tráfico de voz sigue siendo a través de conmutación de circuitos mientras que el de datos es a través de conmutación de paquetes. La conmutación de paquetes permite que se utilicen recursos sólo cuando un usuario envía y recibe datos. De esta forma se logra una mejor utilización de los recursos de radio [2].

GPRS permite interconexión entre la red de telefonía móvil e internet, por lo que se puede ver la red GPRS como una subred de internet. La tasa de transferencia de datos dependerá del número de usuarios que utilicen este servicio simultáneamente, siendo su máximo teórico de hasta 171,2 kbps si se utilizaran los 8 *time slots* para datos GPRS al mismo tiempo [2].

2.1.1.2 Arquitectura

La arquitectura de una red GSM se puede dividir en dos componentes principales: la infraestructura instalada (la red) y a los suscriptores móviles, que utilizan los servicios de la red. De esta forma, se puede dividir la arquitectura de red de la siguiente forma [3]:

- *Mobile Station (MS)*
- *Base Station Subsystem (BSS)*
- *Network Switching Subsystem (NSS)*

2.1.1.2.1 Mobile Station (MS):

Lo componen dos elementos:

- *Mobile Equipment (ME)*
- *Suscriber Identity Module (SIM)*

2.1.1.2.1.1 Mobile Equipment (ME)

Corresponde al terminal móvil utilizado por el usuario. Está identificado de forma única por un número llamado IMEI. Es capaz de transmitir voz y datos y monitorea la potencia y la calidad de la señal proveniente de las distintas celdas de su entorno, de modo de asegurar un *handoff*¹ óptimo.

2.1.1.2.1.2 Subscriber Identity Module (SIM)

Es una *smart card* que contiene el IMSI, un código de identificación único para el dispositivo. Permite al usuario efectuar y recibir llamadas, además de otros servicios a los que esté suscrito. Adicionalmente, la SIM contiene las llaves y algoritmos de decodificación en la red; puede ser protegida por un *password* y es intercambiable de un ME a otro.

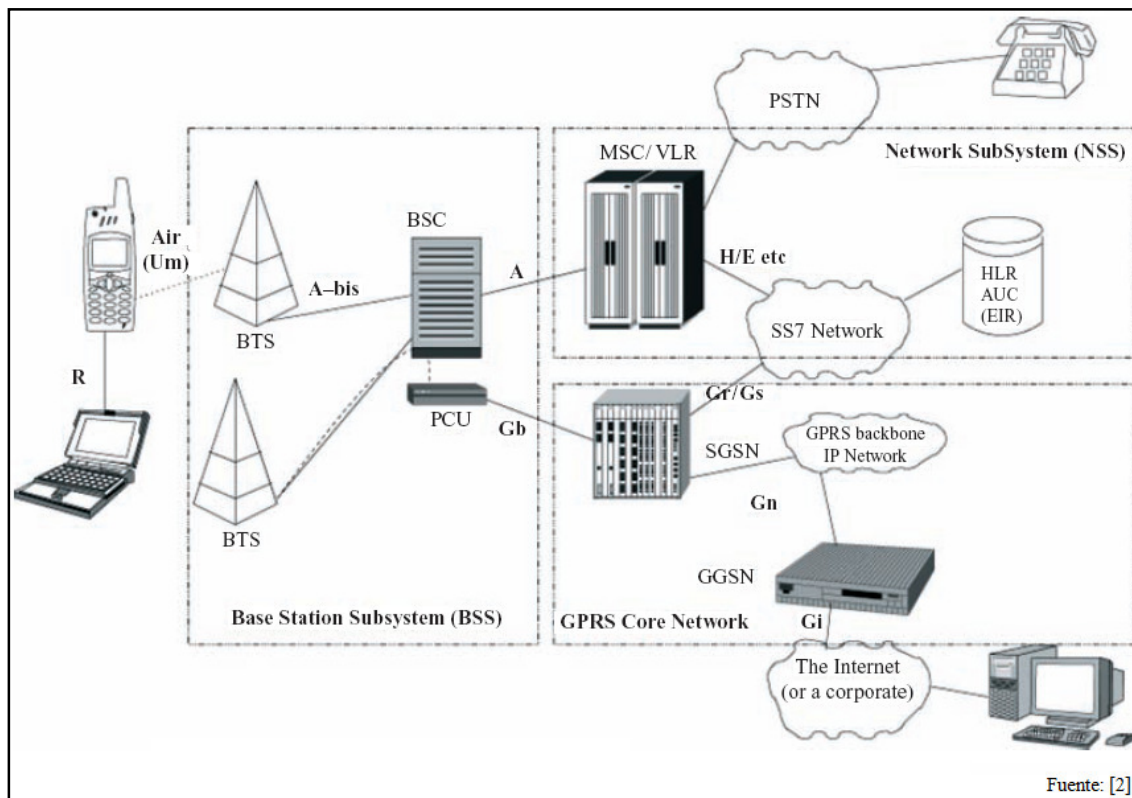


Figura 2.1: Red GSM – GPRS.

¹ *Handoff* es la transferencia del servicio de una estación base a otra sin experimentar un corte en la comunicación.

2.1.1.2.2 Base Station Subsystem (BSS)

La componen dos nodos que se comunican por medio de una interfaz estandarizada Abis, la que permite la operación entre equipos de distintos proveedores.

- *Base Transceiver Station* (BTS)
- *Base Station Controller* (BSC)

2.1.1.2.2.1 Base Transceiver Station (BTS)

La BTS es la interfaz entre la MS (en adelante, “terminal”) y la red. Se comunica con el terminal y el BSC. Codifica, encripta, multiplexa, modula y alimenta la antena con señales de RF, proveyendo los canales de radio para la señalización y el tráfico de datos de los usuarios en las celdas [2][3].

2.1.1.2.2.2 Base Station Controller (BSC)

Las funciones principales de este nodo son las de administrar los recursos de radio de las BTS; asignar frecuencias y *time slots* a todos los terminales del área; administrar el *handoff* de cada terminal y, controlar los niveles de potencia de las BTS. Se comunica con las BTS y el MSC.

2.1.1.2.3 Network Switching Subsystem

Está compuesto por los siguientes nodos:

- *Mobile Switching Center* (MSC)
- *Gateway Mobile Switching Center* (GMSC)
- *Home Location Register* (HLR)
- *Visitor Location Register* (VLR)
- *Authentication Center* (AUC)
- *Equipment Identity Register* (EIR)

2.1.1.2.3.1 Mobile Switching Center (MSC)

Es el centro de la red. Sus funciones principales son administrar la comunicación entre la red GSM y otras redes; manejar el *Call setup*² y la conmutación básica; enrutar llamadas; recolectar información para tarificación; administrar la movilidad, es decir, registro y actualización de la ubicación de los terminales y, manejar el *handoff* inter BSS e inter MSC³.

2.1.1.2.3.2 Gateway Mobile Switching Center (GMSC)

Es un MSC que cumple con la función de *gateway* cuando los clientes hacen *roaming* en otra red, usando el HLR/VLR.

2.1.1.2.3.3 Home Location Register (HLR)

Es la base de datos permanente de los clientes del operador de la red GSM. Contiene datos de la SIM, como el IMSI, y el perfil del cliente, es decir, condiciones de prepago/postpago, restricciones de *roaming* y servicios adicionales de valor agregado. Almacena la ubicación del UE en el nivel del MSC/VLR/SGSN [3][5].

2.1.1.2.3.4 Visitor Location Register (VLR)

Es la base de datos temporal que contiene los datos de todos los terminales que se encuentran actualmente en el área administrativa del MSC asociado, reduciendo de esta forma el número de consultas al HLR. Un VLR puede estar asociado a más de un MSC. Debido a que los terminales se mueven libremente, su ubicación determinará si están registrados a un VLR de su red local o al de una red ajena a la de su operador, caso que se da generalmente cuando un usuario viaja y su terminal se conecta a la red de un operador extranjero con el que su operador local tiene convenio. De esta forma, se controla a los terminales que estén haciendo *roaming* en el área de un determinado VLR [2][3].

² *Call setup* es el proceso mediante el cual se establece una llamada.

³ *Handoff* inter BSS e inter MSC hace alusión a *handoff* hecho entre BSS distintos pertenecientes a MSC distintos.

2.1.1.2.3.5 Authentication Center

Este nodo tiene como finalidad proteger la señal en la interfaz aérea ante posibles intercepciones, puesto que tiene las llaves de autenticación y los algoritmos de decodificación de la misma.

2.1.1.2.3.6 Equipment Identity Register (EIR)

Es una base de datos usada para monitorear los terminales existentes en la red almacenando su IMEI. Con esta información se construyen tres clases: lista blanca, negra y gris. En la lista blanca se encuentran los IMEI de los terminales autorizados para efectuar tráfico en la red; en la negra están aquellos terminales bloqueados por robo y en la lista gris se encuentran aquellos con movimientos sospechosos pero que aún están autorizados para traficar en la red.

2.1.1.2.4 Nodos GPRS

Como se ve en la figura 2.1, en términos de infraestructura la adición de GPRS a una red GSM sólo supone la adición de dos nodos:

- *Serving GPRS Support Node (SGSN)*
- *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*

2.1.1.2.4.1 Serving GPRS Support Node (SGSN)

Realiza el enrutamiento y transferencia de paquetes desde y hacia el terminal móvil; manejo de movilidad y de ubicación y, funciones de autenticación y facturación. Su registro de ubicación almacena información tal como el perfil de usuario y celda y VLR actuales. Tiene una función similar al MSC/VLR. Se comunica con el MSC y con el GGSN.

2.1.1.2.4.2 Gateway GPRS Support Node (GGSN)

Es el responsable de la interconexión entre la red GPRS y redes de paquetes externas, como internet. Convierte paquetes GPRS al protocolo de paquetes de datos adecuado y viceversa. Tiene una función similar al GMSC.

2.1.1.2.4.3 Signaling System #7 (SS7)

SS7 es un protocolo de señalización utilizado principalmente para labores de control y comunicación entre nodos de una red. En el caso de las señales de control, esta información viaja por canales separados de los normales utilizados para tráfico de voz, mientras que en el caso de la comunicación entre nodos, se hace en una red privada.

SS7 está compuesta por una serie de elementos de red interconectados, como *switches*, bases de datos y nodos de enrutamiento. Cada uno de estos elementos está interconectado con enlaces, cada uno de los cuales tiene un propósito específico. Los nodos de enrutamiento, llamados *Signal Transfer Point (STP)*, son el corazón de una red SS7. Los STP están conectados a los llamados *Service Switching Points*, que son *switches* equipados con lógica SS7. La conexión entre los STP y SSP es por medio de enlaces de acceso llamados *A links*. Los STP también se conectan a bases de datos llamadas *Service Control Points (SCP)* por medio de este tipo de enlaces. Las SCP contienen la lógica de control de servicio, como lo es el convertir un número discado por un cliente en el número a ser enrutado en la red [10].

2.1.2 Redes de Tercera Generación (3G)

2.1.2.1 Historia

GPRS supuso una introducción al tráfico de datos al mundo GSM. Sin embargo su baja velocidad de transferencia se convirtió rápidamente en una limitación. Para eliminar esta limitación se introdujo la tecnología EDGE, que trabaja en sistemas TDMA y GSM y se considera un subconjunto de GPRS, puesto que puede instalarse en cualquier sistema que tenga previamente implementado este estándar. Esto es posible con cambios menores de hardware en las BTS y

algunas actualizaciones de *software* en la red, lo que constituye una gran ventaja si se toma en cuenta que se pueden proveer servicios cercanos a la calidad 3G sin incurrir en los enormes costos de desplegar una nueva red. Sin embargo, las redes de segunda generación carecían de capacidad, *roaming* a nivel global y calidad, por lo que se trabajó en un sistema que llevara a una universalidad en el futuro, naciendo así las llamadas redes de tercera generación [2].

2.1.2.1.1 CDMA 2000

Es un estándar que utiliza CDMA como técnica de acceso. En su primera versión era capaz de tasas de transferencia *peak* de 140 kbps utilizando un mínimo de ancho de banda (1,25 MHz por portadora). Posteriormente se mejoró poniendo voz y datos en canales separados, pudiendo alcanzar tasas de transferencias de hasta 2,4 Mbps y promesas de 3-5 Mbps en una fase posterior [2].

2.1.2.1.2 UMTS

UMTS es una de las tecnologías de telefonía móvil de tercera generación. Utiliza una interfaz aérea WCDMA y es el sucesor de GSM para redes 3G. Entre las características principales de WCDMA se tiene el soporte de dos modos básicos: FDD y TDD, tasas de transmisión variables, operación asincrónica entre celdas, control de potencia adaptativo, aumento de cobertura y capacidad, etc. WCDMA utiliza CDMA como técnica de multiplexión debido a sus ventajas sobre otras técnicas de acceso como TDMA, entre las que se encuentra una mayor capacidad por portadora, menores interferencias derivadas de fenómenos radioeléctricos, etc.

UMTS utiliza un par de canales de 5 MHz, uno en la banda de 1.900 MHz para el *uplink* y uno en la de 2.100 MHz para el *downlink*. Las bandas de frecuencia específicas para el estándar UMTS son 1.886-2.025 MHz para el *uplink* y 2.110-2.200 MHz para el *downlink* [2].

2.1.2.1.3 HSDPA (3.5G)

HSDPA es un servicio de datos en el *downlink*, basado en paquetes. Este servicio puede tener una tasa de transmisión de hasta 10 Mbps en los 5 MHz de ancho de banda que utiliza

UMTS. De esta forma, se tienen velocidades de transmisión de hasta cinco veces lo que puede ofrecer la red WCDMA más avanzada. También se incrementa la capacidad de las estaciones base al doble [2]. HSDPA disminuye el retraso debido a errores de transmisión mediante el método de control de errores, HARQ. También disminuyen las fallas de *handoff* gracias a la implementación de *Fast cell site selection*, un método para encontrar un Nodo-B con mejores características de transmisión que el actual al que está conectado el UE. Además posee una mejor administración de recursos y AMC, una técnica de modulación y codificación adaptativa que permite adaptar las funcionalidades a las características del ruido del medio, utilizando esquemas de codificación QPSK y 16QAM [6].

En resumidas cuentas, la adición de HSDPA a UMTS supone un aumento radical en el *peak* de las tasas de transmisión de datos, llegando a 10 Mbps y más utilizando MIMO⁴, lo que se logra principalmente por el cambio en la modulación, de QPSK a QPSK + 16QAM [6].

2.1.2.2 Arquitectura de UMTS

La arquitectura de una red UMTS se puede dividir en tres componentes principales:

- *User Equipment* (UE)
- *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN)
- *Core Network* (CN)

2.1.2.2.1 User Equipment (UE)

Puede trabajar en tres modos: CS (*Circuit Switched* – Conmutación de Circuitos), PS (*Packet Switched* – Conmutación de Paquetes) y CS/PS. En modo CS el UE está conectado solamente al CN. En modo PS el UE está conectado sólo al dominio PS, aunque es posible brindar servicios de VoIP⁵ en este modo. En modo CS/PS el terminal es capaz de ofrecer servicios tanto de CS como de PS [2]. Lo componen los siguientes elementos:

- *Mobile Equipment* (ME)
- *Universal Subscriber Identity Module* (USIM)

⁴ MIMO, o *Multiple Input, Multiple Output* es el uso de múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor para mejorar el rendimiento en la comunicación.

⁵ VoIP: Voice over Internet Protocol, se refiere a prestar servicios de voz transmitiéndola como paquetes a través de internet.

2.1.2.2.1.1 Mobile Equipment (ME)

Equivalente al MS de GSM, es el terminal móvil del usuario que, en este caso, soporta la tecnología UMTS.

2.1.2.2.1.2 Universal Subscriber Identity Module (USIM)

Es el equivalente UMTS para la SIM de GSM.

2.1.2.2.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

Lo componen dos elementos:

- *Base Stations* (Nodo B)
- *Radio Network Controller* (RNC)

2.1.2.2.2.1 Base Stations (Nodo B)

Su función es el proceso de interfaz aérea: codificación de canal, modulación y demodulación, transmisión y recepción, manejo de errores, etc. Además, está encargado del *loop* de control de potencia. [2][5].

2.1.2.2.2.2 Radio Network Controller (RNC)

Es el responsable del control de carga y congestión de sus propias celdas. Ejecuta operaciones como el *handoff* y el control de potencia, además de procesar datos de la interfaz de radio, efectuar un control de recursos de radio y señalización [5].

2.1.2.2.3 Media Gateway (MGW)

Convierte el flujo de datos digital entre redes de telecomunicaciones dispares, como lo son la red PSTN, SS7 y redes de próxima generación (2G, 3G, 3.5G, etc), permitiendo su comunicación multimedia.

2.1.2.2.3 Core Network (CN)

El CN está diseñado para permitir una transición de GSM a 3G *Core Network All-IP*. Es el responsable de conmutar y enrutar las llamadas y conexiones de datos internas desde y hacia redes externas [5]. Está dividido en dos dominios: CS y PS.

2.1.2.2.3.1 Circuit Switched

Domain (CS)

Está compuesto por:

- MSC
- GMSC
- VLR

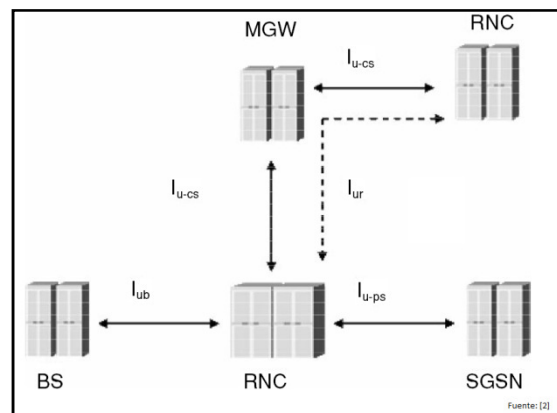


Figura 2.2: Interfaces en la red de transporte UMTS.

2.1.2.2.3.2 Packet Switched Domain (PS)

Está compuesto por:

- SGSN
- GGSN

2.1.2.2.3.3 Registro

Está compuesto por el HLR. Su función es equivalente a la de los nodos llamados de la misma forma en una red GSM, tratados en la sección 2.1.2.

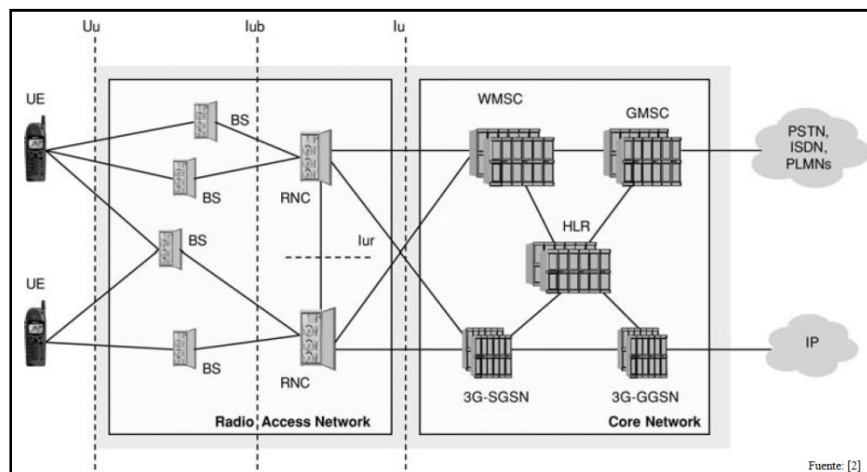


Figura 2.3: Arquitectura de una red UMTS.

2.1.2.3 Calidad de Servicio en UMTS (QoS)

Los servicios brindados por UMTS tienen clases de calidad de servicio (QoS – Quality of Service) para cuatro tipos de tráfico, que se presentan en la tabla 2.1.

| Tipo de Tráfico | Clase Conversacional | Clase de Streaming | Clase Interactiva | Background |
|-------------------------------|---|---|---|--|
| Características Fundamentales | Preservar la relación temporal entre las entidades de información del stream. Patrón Conversacional. | Preservar la relación temporal entre las entidades de información del stream. | Patrón con requerimiento de respuesta. Preserva la integridad de los datos | El usuario de destino no espera recibir los datos en un determinado período de tiempo. |
| Ejemplo de Aplicación | Voz, videotelefonía, videojuegos. | Streaming multimedia. | Web browsing, juegos | Background download de emails |

Tabla 2.1: Calidad de servicio en UMTS [5].

2.2 Planificación de una Red de Telefonía Móvil

La planificación en redes de telefonía móvil es una tarea fundamental por cuanto una correcta estimación del tráfico de cada sector llevará a prestar un servicio adecuado a los clientes, maximizando el ingreso por el tráfico que cursarán con el mínimo gasto en infraestructura para poder cubrirlo.

El método de planificación usado involucra procesos estocásticos modelados utilizando teoría de colas, específicamente el modelo de Erlang-B, el que se presentará a continuación, junto con el resto de las variables que intervienen en el proceso de planificación.

2.2.1 Modelo de Erlang-B

Para llegar a la fórmula de Erlang-B, primero debe entenderse el concepto de cola y los elementos que la componen. De manera simplificada, utilizando la notación de Kendall, una cola se representa de la forma A/B/C/D, donde A representa la distribución de llegada, B la distribución del tiempo de servicio, C el número de servidores y D es el número máximo de entidades en el sistema.

El caso de interés de esta sección es la cola M/M/S/N, donde la primera M indica llegadas que siguen una distribución de Poisson, la segunda M indica tiempos de servicio exponenciales, S indica un número finito S de servidores y N indica un *buffer* de tamaño finito N-S.

2.2.1.1 Proceso de Llegadas de Poisson

Un proceso de llegadas de Poisson se define utilizando tres supuestos básicos.

Sea Δt un intervalo de tiempo pequeño tal que $\Delta t \rightarrow 0$, entonces:

- La probabilidad de llegada en el intervalo Δt se define como $\lambda\Delta t + O(\Delta t)$, $\lambda\Delta t \ll 1$, donde λ es una constante de proporcionalidad especificada.
- La probabilidad de cero llegadas en el intervalo Δt es $1 - \lambda\Delta t + O(\Delta t)$

- Las llegadas son procesos independientes: cada llegada en un intervalo de tiempo es independiente de llegadas en intervalos disjuntos de tiempo previos o futuros [7].

De esta forma, para un intervalo finito de tiempo de tamaño T , la probabilidad $p(k)$ de k llegadas en el intervalo está dada por:

$$p(k) = \frac{(\lambda T)^k e^{-\lambda T}}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{Ec. 2.1})$$

El valor esperado de esta distribución está dado por:

$$E(T) = \sum_{k=0}^{\infty} k p(k) = \lambda T \quad (\text{Ec. 2.2})$$

2.2.1.2 Distribución Exponencial

En una distribución exponencial de parámetro λ , la función densidad de probabilidad $f_{\tau}(\tau)$ está dada por:

$$f_{\tau}(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau} \quad \lambda \geq 0 \quad (\text{Ec. 2.3})$$

De esta forma, el valor esperado de esta distribución es:

$$E(\tau) = \int_0^{\infty} \tau f_{\tau}(\tau) d\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

En un proceso de llegada de tasa λ que sigue la distribución de Poisson, el tiempo entre llegadas (τ), es una variable aleatoria con distribución exponencial de parámetro λ [7].

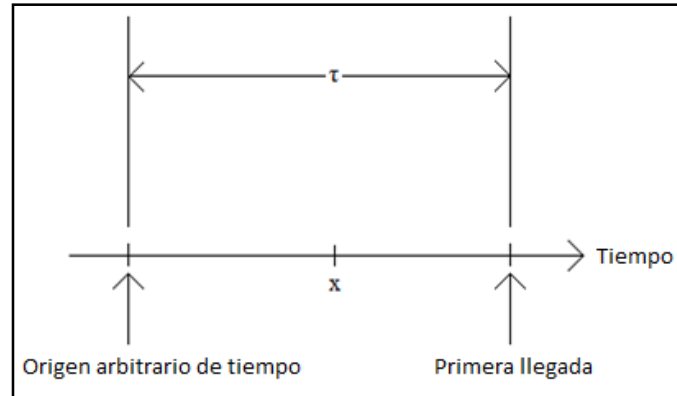


Figura 2.4: Derivación de la distribución exponencial.

Como se ve en la figura 2.3, sea τ la variable aleatoria que representa el tiempo entre llegadas, en este caso el tiempo que transcurre desde un origen arbitrario de tiempo hasta la primera llegada. Tomando otro valor arbitrario x entre el origen definido y la primera llegada, no ocurren llegadas en el intervalo $[0,x]$ si y sólo si $\tau > x$. La probabilidad de esta condición es equivalente a la probabilidad de que no ocurran llegadas en $[0,x]$, es decir, de la ecuación 2.1 se obtiene:

$$P(\tau > x) = P(\text{número de llegadas en } [0,x] = 0) = e^{-\lambda x} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Luego, la probabilidad de que $\tau \leq x$ es:

$$P(\tau \leq x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

La ecuación 2.6 es precisamente la distribución de probabilidad acumulada $F_{\tau}(x)$ de la variable aleatoria τ . De esta forma:

$$F_{\tau}(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

De donde se obtiene la función de densidad de probabilidad de la ecuación 2.3:

$$f_{\tau}(x) = \frac{dF_{\tau}}{dx} = \lambda e^{-\lambda x} \quad [7] \quad (\text{Ec. 2.8})$$

2.2.1.3 Cola M/M/S/N

Considérese la cola M/M/S/N, con S y N finitos. De esta forma, cuando el buffer está lleno, es decir, el número de paquetes en el sistema (n) es igual a N, la tasa de llegada $\lambda_n = 0$. A continuación se muestran los parámetros de este sistema [8]:

$$\lambda_n = \begin{cases} \lambda & n < N \\ 0 & n \geq N \end{cases}$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu & n \leq S \\ S\mu & n > S \end{cases}$$

Considérese también el diagrama de flujo de la figura 2.5, en el que se tomará el caso en que $N = S$, donde sólo se estará sirviendo a los paquetes que se encuentren en el sistema:

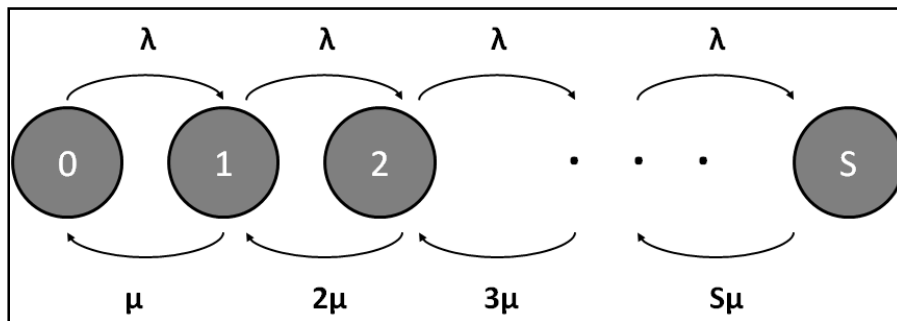


Figura 2.5: Diagrama de transición de estado de la cola M/M/S/S.

De aquí se obtienen las siguientes expresiones, para $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$:

$$P_1 = \rho P_0$$

$$P_2 = \frac{\rho}{2} P_1 \Rightarrow P_2 = \frac{\rho^2}{2} P_0$$

$$P_3 = \frac{\rho}{3} P_2 \Rightarrow P_3 = \frac{\rho^3}{2 \cdot 3} P_0 = \frac{\rho^3}{3!} P_0$$

$$P_S = \frac{\rho}{S} P_{S-1} \Rightarrow P_S = \frac{\rho^S}{2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (S-1) \cdot S} \Rightarrow P_S = \frac{\rho^S}{S!} P_0$$

De donde se llega a:

$$P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0, n = 1, 2, \dots, S \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Normalizando se obtiene:

$$\sum_{n=0}^S P_n = 1 \Rightarrow P_0 + \sum_{n=1}^S \frac{\rho^n}{n!} P_0 = 1$$
$$P_0 = \left(\sum_{n=0}^S \frac{\rho^n}{n!} \right)^{-1} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Cuando una llegada encuentra los S servidores ocupados, debe dejar el sistema puesto que sólo se servirá a los paquetes que estén en alguno de los servidores. La probabilidad de este evento es la fórmula de Erlang-B, dada por la siguiente expresión [8]:

$$P_B(S, \rho) = \frac{\rho^S}{S! \sum_{n=0}^S \left(\frac{\rho^n}{n!} \right)} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

2.2.2 Factores que Intervienen en la Planificación de la Red

Para la planificación de una red de telefonía móvil hay que considerar diversos factores. Un factor fundamental es la zona en la cual se está planificando, por cuanto no es lo mismo dimensionar la capacidad del sistema en un sector rural que en un área urbana densamente poblada, la que a su vez presenta cargas de tráfico distintas de acuerdo con la hora del día. Es por esta razón que una buena planificación debe considerar distintos escenarios para diferentes zonas y dividir el día adecuadamente para identificar correctamente la hora cargada. Además es necesario tener datos de tráfico proyectado para cada zona, basado en el movimiento de los clientes, su historial de tráfico, tipo de plan, etc. Todos estos datos pueden ser fácilmente obtenidos pues se registran en el HLR de la red.

2.2.3 Estimación de Tráfico

Con las consideraciones de la sección 2.2, se procede a mostrar un método de estimación de tráfico como sigue:

- Se define el parámetro MOU, que representa los minutos de tráfico de un cliente en un mes, como la suma de sus llamadas salientes y entrantes. Se hace el supuesto de que las llamadas entrantes representan el 30% del total de tráfico mensual.
- Se definen las siguientes constantes:
 - Factor de carga diaria (f_d): Es un factor que da cuenta del número de intervalos de una hora en los que se efectuó el tráfico durante un día.
 - Factor de carga mensual (f_m): Es un factor que da cuenta del número de días en los que se efectuó el tráfico durante un mes.
- Se calcula el tráfico de una zona, a una hora determinada ($T_{z,t}$), como la suma del MOU de diferentes planes de postpago, ponderado por el número de clientes de dicho plan que se encuentran en la zona a esa hora, dividida por el producto $f_d \cdot f_m \cdot 60$, donde el número 60 se utiliza para estandarizar las unidades. Se utiliza la información de minutos de los planes de postpago dado que empíricamente el tráfico que genera un cliente de prepago no es apreciable comparado con el de un plan. Sin embargo, si se dispone de la información de tráfico de clientes de prepago, conviene considerarla en el cálculo puesto que no tiene dificultad alguna y puede servir para refinar los resultados.
- Una vez calculado el tráfico de una zona para las distintas divisiones de horario consideradas se utiliza el criterio del peor caso, por lo que para los cálculos sucesivos se utilizará sólo este valor.

2.2.4 Asignación de Recursos de la Interfaz Radioeléctrica

Para asignar recursos de radio es necesario considerar la concesión de ancho de banda disponible y la tecnología para la cual se está dimensionando la capacidad de la red (GSM, UMTS, etc).

Sea BW el ancho de banda disponible y $B_{carrier}$ el ancho de banda de la portadora de la tecnología para la cual se está realizando el dimensionamiento.

Se define el número de portadoras a utilizar por celda ($N_{carrier}$) de la siguiente forma:

$$N_{carrier} = \frac{BW}{B_{carrier} \cdot f_r} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde f_r es el factor de reuso, el número de frecuencias del que se dispone que es repetido en un sistema de clúster para minimizar interferencias. Esto se ilustra en la figura 2.6 [9]:

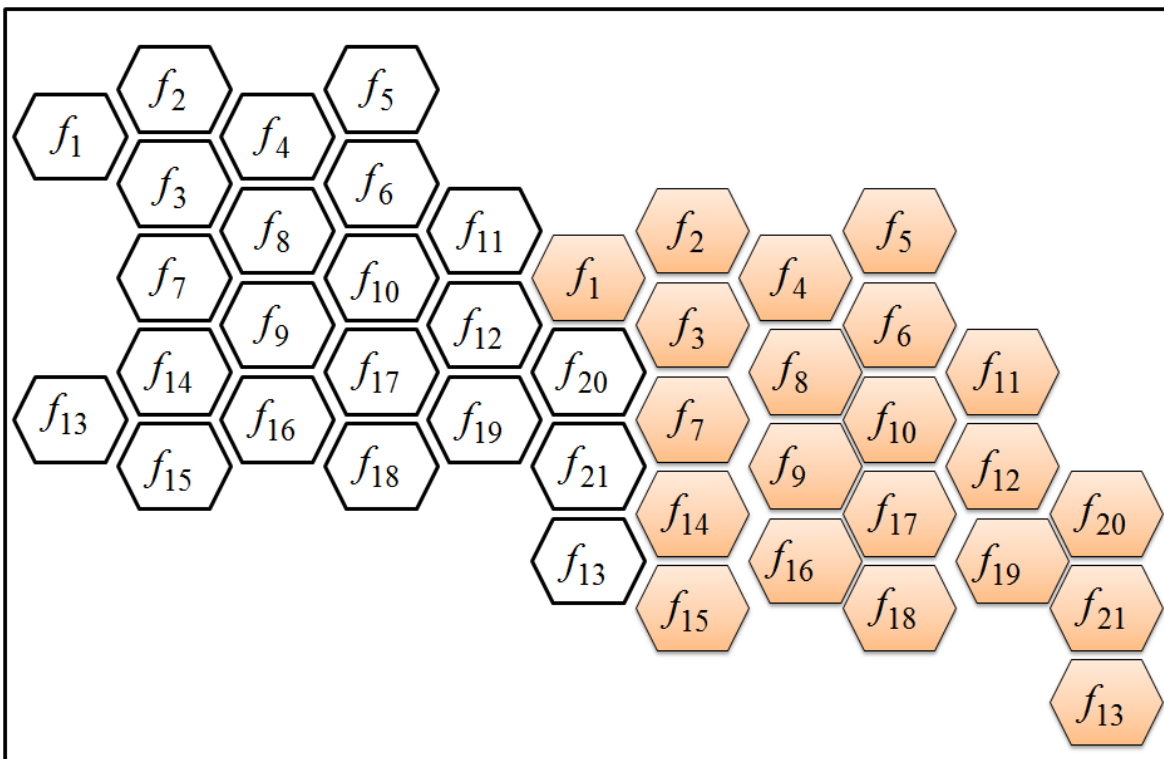


Figura 2.6: Sistema de clúster para minimizar interferencias.

Teniendo el número de portadoras $N_{carrier}$, se obtiene el número disponible de canales de comunicación ($N_{channels}$) de acuerdo a la tecnología en uso (si se estuviera utilizando GSM, el número total de canales disponible sería $N_{carrier} \cdot 8$, puesto que cada frecuencia está dividida en 8 *time slots*, como se vio en la sección 2.1.1.2).

A estas alturas, sólo falta considerar grado de servicio ($g\%$) que se quiere brindar, puesto que con $g\%$ y $N_{Channels}$ se obtiene la carga máxima por celda en Erlangs (Max_{Load}). La carga Max_{Load} se obtiene de una tabla de Erlang-B derivada de la ecuación (2.10)

Resta obtener el número de celdas necesarias para la zona estudiada (N_{Cells}):

$$N_{Cells} = \frac{T_{Z,t}}{Max_{Load}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Finalmente, el número de BTS (N_{BTS}) para la zona se obtiene dividiendo N_{Cells} por tres.

$$N_{BTS} = \frac{N_{Cells}}{3} \quad (\text{Ec 2.13})$$

2.3 Elementos Presentes en el Sistema de Alimentación Eléctrica de un Data Center

Esta sección tratará acerca de los elementos del sistema de alimentación que se encuentra presente en un Data Center, a los que se hará referencia a lo largo de este trabajo.

2.3.1 Inversores

El objetivo principal de los inversores de poder estáticos es producir una forma de onda de corriente alterna (CA) a partir de una fuente de poder de corriente continua (CC). Estos son los tipos de forma de onda requeridos en motores de velocidad ajustable; sistemas de alimentación ininterrumpidos (UPS⁶); compensadores de potencia reactiva; filtros activos; sistemas flexibles de transmisión en CA (equipos FACTS) y, compensadores de tensión, por nombrar algunas aplicaciones.

⁶ Por Uninterruptible Power System.

Para salidas de CA sinusoidal, la magnitud; frecuencia y, fase deben poder ser controladas. Dependiendo del tipo de forma de onda de CA que se tenga a la salida, estas topologías pueden ser consideradas como fuentes de poder inversoras, donde la salida de CA controlada independientemente es una forma de onda de voltaje.

Estas estructuras se usan mayormente porque se comportan naturalmente como fuentes de voltaje de la forma que es requerida por muchas aplicaciones industriales [11].

La aplicación en particular de inversores que interesa en este trabajo es la UPS. Un sistema de este tipo mantiene tensión alterna sinusoidal; regulada; de baja distorsión, en forma ininterrumpida a cargas críticas como lo son los equipos de un *Data Center*. En modo *on line* alimenta permanentemente la carga y ante la eventualidad de un corte o baja de tensión excesiva, la alimentará por un lapso que dependerá de la capacidad de carga del banco de baterías que posea, que actúan como respaldo ante esta eventualidad mientras actúa el respaldo principal que es un par motor-generador, usualmente referido en estas instancias como grupo electrógeno.

La configuración típica de una UPS se muestra a continuación:

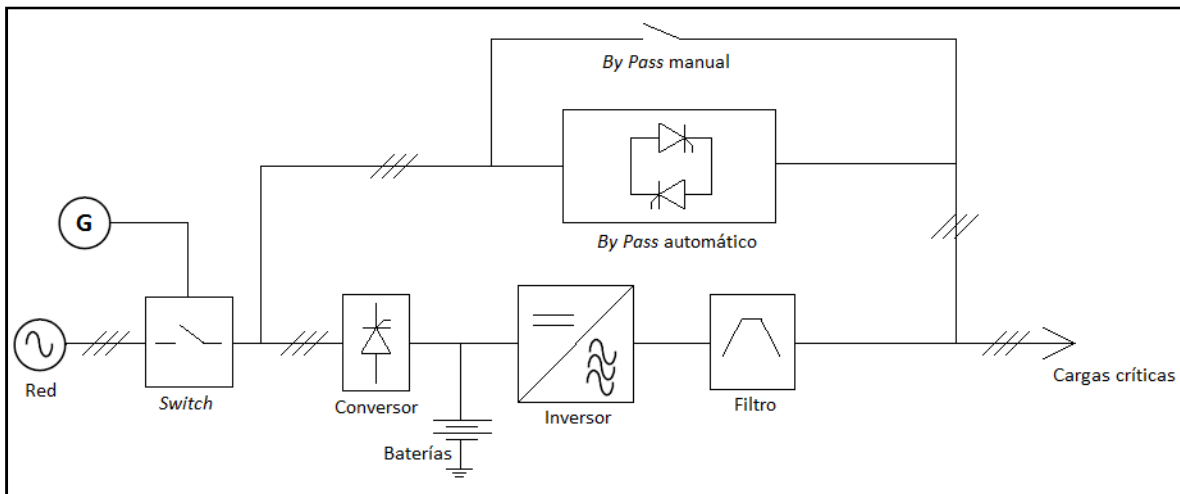


Figura 2.7: Configuración Típica de una UPS.

En la configuración de la figura 2.7 se tiene un convertor trifásico CA-CC que ajusta el voltaje de carga de la batería y provee la tensión continua al inversor. El banco de baterías actúa como energía de respaldo ante la eventualidad de un corte o de una baja de tensión. De igual forma, se cuenta con un inversor trifásico y un filtro que genera tensión alterna sinusoidal con una

frecuencia fija y estable de 50 [Hz], con amplitud regulada con baja distorsión. El *by pass* automático conecta la carga a la red primaria o secundaria (grupo electrógeno) en caso de ocurrir falla o sobrecarga del inversor o también por bajo voltaje de batería. También conecta la carga a la red secundaria una vez transcurrido el tiempo de autonomía, es decir, una vez que no es posible seguir alimentándola con las baterías. El *by pass* manual se utiliza para labores de mantención. Según sea necesario, se puede utilizar un filtro de armónicas a la entrada y a la salida está la opción de un transformador para aislar la carga de posibles transientes [12].

2.3.2 Rectificadores

Los sistemas de rectificación se utilizan para obtener una o múltiples salidas de tensión continua fija y regulada a partir de la alimentación alterna de la red eléctrica. Hoy en día la mayoría de las aplicaciones que requieren de estos sistemas utilizan formas mucho más sofisticadas que los conocidos rectificadores con diodos o aún tiristores, dando paso a fuentes de alimentación conmutada (fuentes de *switching*). Estas unidades se utilizan para alimentar circuitos electrónicos de distinta tensión que en el caso del *Data Center* que se menciona en este trabajo corresponde a un valor nominal de -48 [V].

La configuración de fuente de *switching* que se cubrirá utiliza una forma de regulación de tensión de salida conocida como modulación por ancho de pulso (PWM)⁷. De manera simple, el valor de la salida se ajusta variando el tiempo de encendido del elemento que funciona como *switch* en el convertidor (comúnmente un transistor).

⁷ Por *Pulse width modulation*.

Si se aplica un tren de pulsos cuadrados a un filtro L-C, se observa que a la salida del filtro se tiene una tensión continua filtrada que es igual en magnitud a la amplitud de los pulsos multiplicada por el ciclo de trabajo⁸. Esta relación muestra como la tensión de salida puede controlarse directamente cambiando el tiempo de encendido.

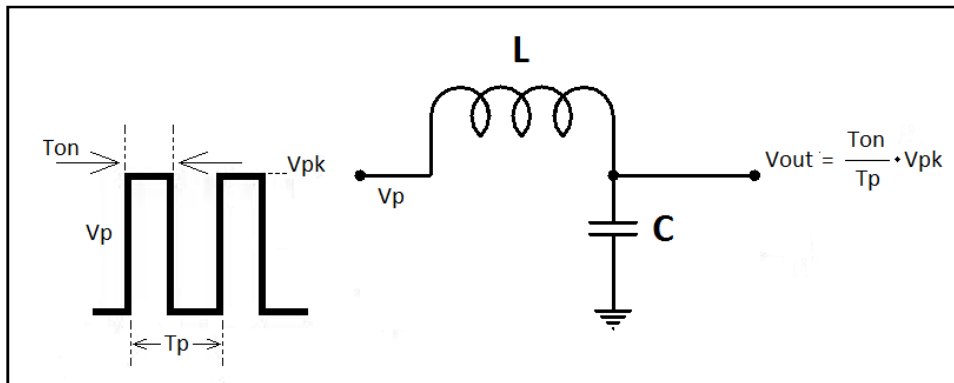


Figura 2.8: Principios básicos de modulación PWM.

Se muestra a continuación la topología del Convertor de Puentes Completo, que se utiliza frecuentemente en conexión directa con la red de CA, entregando a la carga potencias de entre 1 y 3 [kW] [14]:

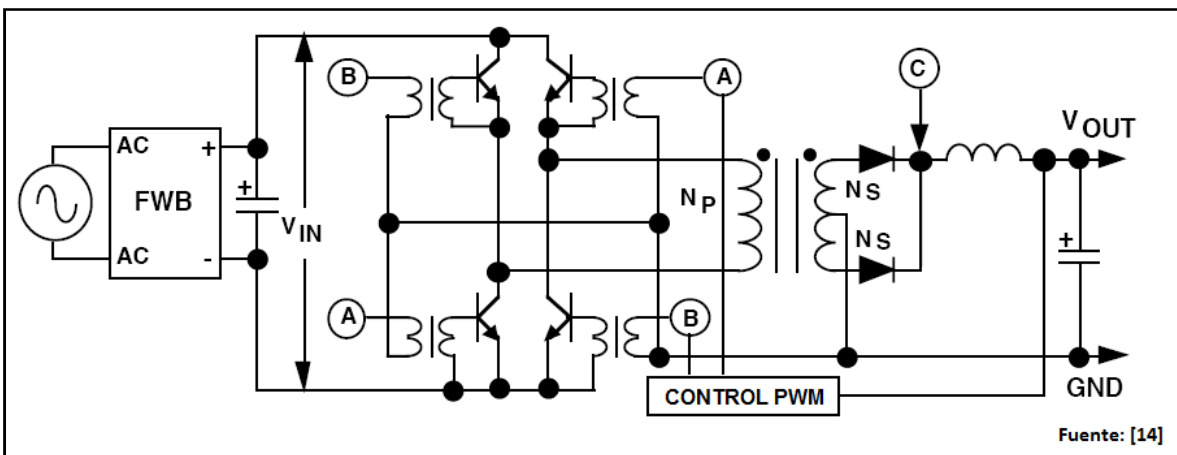


Figura 2.9: Convertor de puente completo.

⁸ El ciclo de trabajo se define como el tiempo de encendido (T_{on}) dividido por el tiempo total de un período (T_p).

Este convertor requiere de cuatro transistores para efectuar la conversión DC-DC y utiliza cerca de 300 [V] de tensión continua no regulada, que es la tensión que se obtiene de una línea alterna estándar de 230 [V] cuando ésta es rectificadora y filtrada con un puente de onda completa.

Una característica importante de este diseño es la aislación que el transformador de *switching* provee de la línea de tensión alterna. El voltaje de base de los transistores-*switch* (provisto por el chip PWM) debe estar acoplado al transformador debido a la aislación requerida.

El transformador del primario recibe el voltaje de entrada V_{in} completo cuando cualquiera de los sets A o B de transistores está encendido. La utilización del total del voltaje de entrada significa que el Convertor de Puente Completo es aquel que puede entregar a la carga la mayor cantidad de potencia.

La corriente de primario y secundario fluye por el transformador cuando los interruptores están encendidos, mientras que el condensador de la salida se descarga hacia la carga cuando ambos transistores están apagados.

La ecuación para el voltaje de salida de esta topología es [14]:

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_p} \cdot V_{pk} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Donde el voltaje *peak* de los pulsos del secundario del transformador V_{pk} están dados por:

$$V_{pk} = (V_{in} - 2 \cdot V_{switch}) \cdot \frac{n_s}{n_p} - V_{rect} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

2.4 Marco del Proyecto

Las secciones 2.1 a 2.3 comprenden el marco teórico en el que está envuelto el proyecto que constituye esta memoria. Por otro lado, este trabajo aportará al desarrollo de un área crítica en uno de los tres operadores de telefonía móvil del país, por cuanto optimizará procesos que actualmente carecen de herramientas objetivas de decisión. Es importante destacar que, hasta el momento, no se conocen estudios similares por lo que, aparte de lo recién mencionado, el aporte de esta memoria es también el ser el primer paso para este tipo de análisis.

Capítulo 3

Metodología

En el presente capítulo se tratarán las diferentes etapas necesarias para la obtención de un modelo que correlacione las variables que miden el consumo energético y el tráfico en el *Data Center* Santiago del Operador (en adelante DCS).

Se abordará desde la concepción de un modelo agregado que considere a la red como una sola entidad que procesa todo el tráfico, con los supuestos utilizados para ello y restricciones que ello conlleva, hasta la generación de un modelo desagregado que pretende, entre otras cosas, brindar flexibilidad tanto para este estudio como para trabajos futuros.

3.1 Esquema de Alimentación Eléctrica del DCS

La estrategia de alimentación eléctrica en el DCS y su implementación son aspectos fundamentales dentro de este trabajo y su comprensión es imprescindible como base sobre la cual se construye el mismo.

3.1.1 Esquema General

El Operador cuenta con un empalme directo a Chilectra, siendo éste el eslabón principal en la cadena de alimentación del DCS, que está compuesto por equipos tanto en corriente alterna (CA) como en corriente continua (CC) por lo que se cuenta con bloques que se tratan de manera independiente, salvo el empalme principal.

El primer bloque del esquema corresponde a un autotransformador que sirve para aislar los transientes que puedan ocurrir. Luego, se conecta a un disyuntor que en caso de algún corte hace el *switching* rápidamente (10 a 15 [ms]) a un grupo electrógeno, reemplazando el empalme original como fuente principal de energía luego de la toma de carga que tiene lugar aproximadamente a los 30 [s] del corte.⁹

Pasados estos bloques la alimentación llega a una barra que conecta tres UPS con un nuevo autotransformador, que también cumple la función de aislar transientes, para luego alimentar las barras de los tableros de distribución que finalmente energizan los diferentes equipos de corriente alterna. Similar a lo descrito en el párrafo anterior se cuenta con un disyuntor que da paso directamente al grupo electrógeno cuando sea necesario realizar labores de mantenimiento en las UPS.

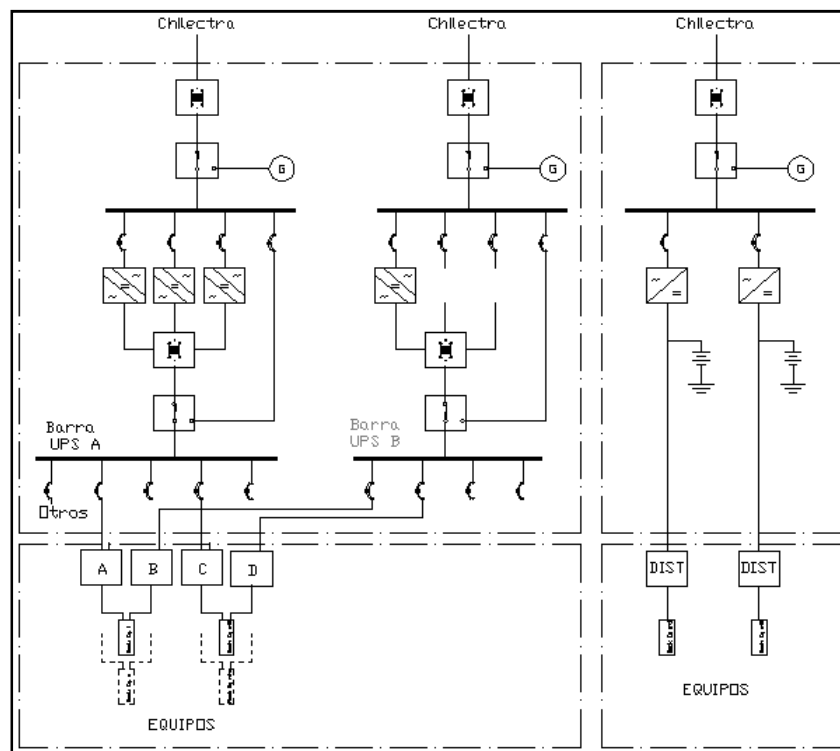


Figura 3.1: Esquema de alimentación eléctrica en el DCS.

⁹ El grupo electrógeno toma carga tan rápido debido a que se cuenta con pre-calentadores que aprovechan el sistema de aire acondicionado para mantenerlos siempre listos. Si no se hiciera esto la toma de carga ocurriría transcurridos entre 3 y 5 [s].

Con respecto a la alimentación en CC las diferencias aparecen pasada la primera barra. Ésta alimenta rectificadores en la forma de fuentes de *switching* respaldadas por bancos de batería. En funcionamiento normal los rectificadores proveen energía tanto a los equipos, a través de los tableros de distribución correspondientes, como a las baterías, manteniendo su tensión de flote¹⁰. Al producirse un corte, las baterías pasan a energizar el sistema y al restablecerse el funcionamiento normal, se cargan extrayendo energía de los rectificadores, adicional a la necesaria para mantener el resto del sistema funcionando.

3.1.2 Distribución de la Energía

Los equipos del DCS están conectados directamente a dos tipos de distribuidores: primarios y secundarios, que a su vez se conectan a las fuentes de poder¹¹.

Un distribuidor primario posee un número determinado de *breakers* a los cuales se conectan los equipos. Además posee los sensores y la infraestructura necesaria para comunicarse con una plataforma de gestión de la energía (descrita en la sección 3.2.2.1) y enviarle datos tanto de corriente y tensión, como desplegar las distintas alarmas que puedan producirse dentro del DCS. Un distribuidor secundario, en tanto, puede verse como un complemento o expansión para aumentar el número de *breakers* del primario, reteniendo todos los parámetros de este último, como lo son la corriente máxima admitida, tensión, etc. y puede instalarse solamente como dependiente de éste junto con otros secundarios.

Cada equipo dentro del DCS puede estar conectado a más de un distribuidor y cada uno de éstos últimos puede alimentar a varios equipos a la vez. En ocasiones dentro de un mismo gabinete se encuentran arreglos de distribuidores duplicados de manera de dar redundancia ante la eventualidad de una falla.

¹⁰ Se refiere a mantener la tensión nominal de las baterías cuando éstas no están siendo utilizadas para alimentar la carga, es decir, cuando la corriente que entregan es nula o prácticamente nula (debido a las corrientes de fuga provocadas por su resistencia interna).

¹¹ También referidas como “plantas”.

3.2 Modelo Agregado

Esta sección describirá la primera aproximación al intento de correlacionar el consumo energético del DCS con el tráfico que sus componentes procesan.

3.2.1 Concepción del Modelo

A partir de la necesidad de estimar el consumo de energía del DCS y del constante aumento del mismo debido al ritmo de crecimiento de las comunicaciones móviles en el país se decidió estudiar la injerencia que una de las variables que representan este crecimiento, el tráfico, tiene en él.

Para este fin, se determinó buscar la relación entre la variable que se quiere estimar con aquella que se cree es la responsable más importante de su aumento. De esta forma, se hizo necesaria la obtención de datos que permitieran estudiar esta correlación de manera adecuada, esto es, contar con una cantidad de muestras que representaran fielmente el comportamiento del DCS tanto a nivel de consumo energético como de tráfico.

Si bien se está consciente de que los llamados Servicios de Valor Agregado (VAS) también siguen la tendencia de constante aumento, se decidió excluirlos y sólo considerar el *core* de la red (ver sección 2.1) para este estudio puesto que el Operador no cuenta con proyecciones confiables de su crecimiento.

3.2.2 Adquisición de Datos

La planificación de una estrategia de adquisición de datos adecuada exige conocer el medio en el que ésta se va a desenvolver.

En esta sección se comentarán las diferentes alternativas que posee el Operador para realizar la adquisición de datos y se describirá la forma en la que ésta se realizó para obtener la información necesaria de las variables que se van a estudiar.

3.2.2.1 Consumo Energético

El Operador cuenta con una plataforma de gestión de la energía en línea (ENEC) que permite tanto adquirir datos como monitorear el estado de las partes críticas del sistema de alimentación en los *Data Center* de todo el país, a ser UPS; baterías; rectificadores, etc.

Esta plataforma (ENEC) cuenta con un servidor central que recibe la información mediante señales que los distribuidores de alimentación primarios envían por fibra óptica desde cada gabinete de distribución, siendo esta señal la contenedora de la suma de los consumos del distribuidor primario mismo como de los secundarios asociados a él.

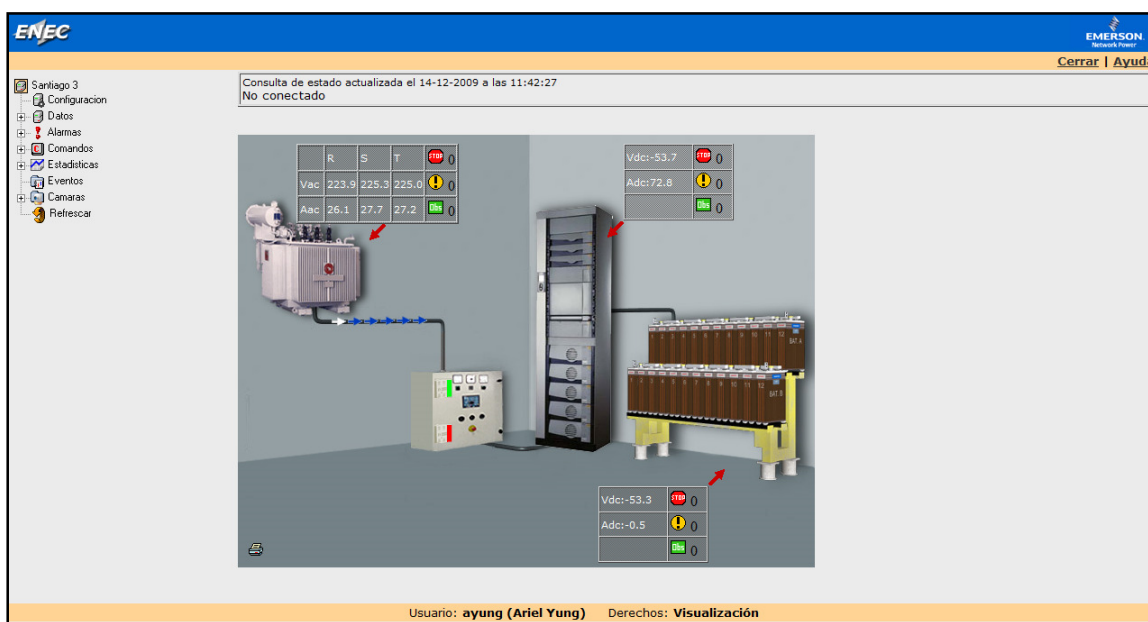


Figura 3.2: Plataforma de gestión de la energía del Operador.

Ante la perspectiva de utilizar multímetros de tenaza con un *logger* para medir los cientos de alimentadores necesarios para obtener el consumo total de los equipos¹² relevantes del DCS, ENEC se presenta como la alternativa ideal puesto que ya se encuentra implementada y no requiere la manipulación de cables que, ante un manejo inadecuado, podrían producir cortes de

¹² Se hará la distinción entre “nodo” y “equipo” en la que con el primero se hará referencia a la entidad que cumple cierta función dentro de la red y con el segundo a los equipos que componen la entidad.

servicio con consecuencias adversas no menores tanto para la empresa como para las personas involucradas directamente.

Como se mencionó en la sección 3.2.1, se necesita una cantidad de datos tal que permita representar de forma adecuada el comportamiento de cada variable por lo que se decidió tomar muestras de corriente y tensión cada diez minutos durante un período no menor a los siete días para cada una de las siete fuentes (ver sección 2.3) seleccionadas que alimentan en su gran mayoría a equipos del *core* de la red. Estas mediciones se efectuaron entre el 27-07-2009 y el 05-08-2009.

Dado que se está midiendo corriente y tensión, se obtendrá la medida de potencia activa instantánea, la que será tratada en consecuencia a esto al momento de ser procesada.

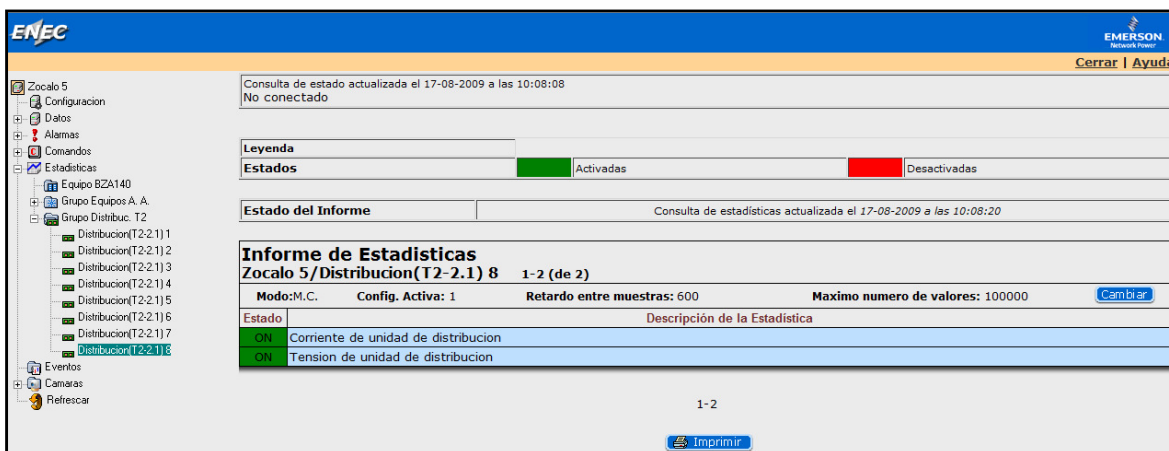


Figura 3.3: Adquisición de datos de consumo de energía.

3.2.2.2 Tráfico

Para medir la variable de tráfico se utilizó la información disponible en el portal de Gestión de Calidad de Red del Operador, eligiendo descargar los datos de *TCH Traffic (Erlang)*¹³ para el mismo período de tiempo que la medición de consumo descrita en la sección 3.2.2.1.

¹³ Por *Traffic Channel*.

La variable que se está midiendo, a pesar de ser Erlang, se refiere al tráfico cursado por la red en el intervalo horario especificado, que en este caso es de una hora. En ningún caso debe entenderse que se trata de la intensidad de tráfico en la hora cargada, como es la definición rigurosa de la unidad.

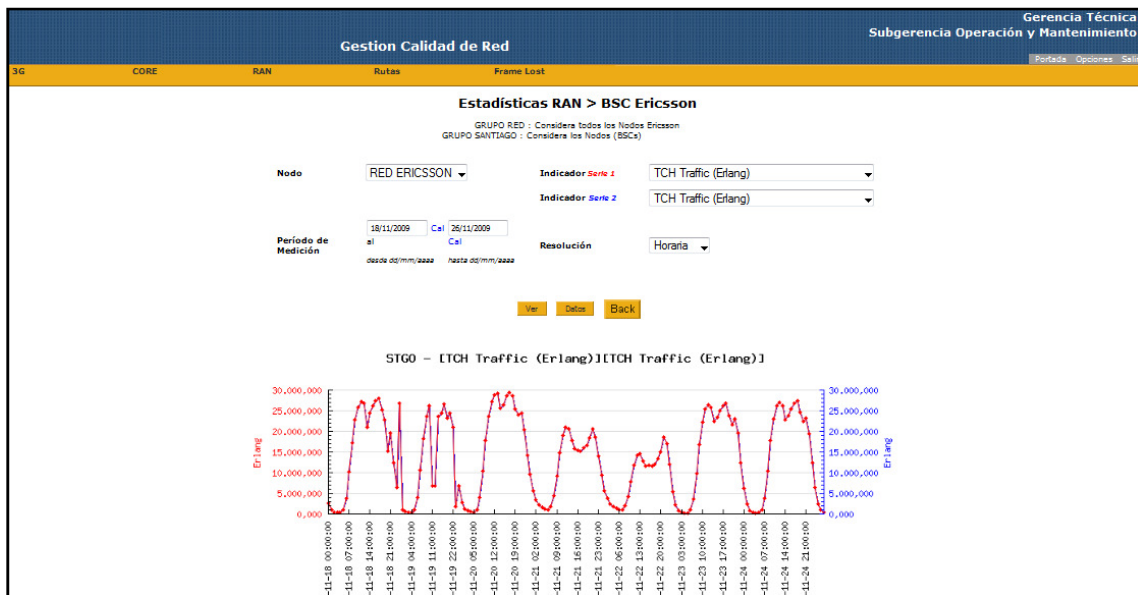


Figura 3.4: Adquisición de datos de tráfico.

3.2.3 Procesamiento de Datos

La generación del modelo deseado requiere hacer un *matching* uno a uno de los datos, tanto de consumo como de tráfico, correspondientes a un mismo período de tiempo. Para esto fue necesario hacer un pre-procesamiento que estandarizara el formato de los mismos y extrajera la información relevante de las planillas obtenidas de las distintas plataformas.

Una vez realizadas las tareas recién mencionadas se hicieron distintas regresiones estadísticas para encontrar el modelo que más se adecuara a los datos, lo que derivó en la decisión de optimizar el modelo, cuya confección se tratará de forma detallada más adelante en este capítulo y se analizará en el siguiente.

3.2.3.1 Pre-Procesamiento

Cada plataforma despliega los datos de una forma particular y distinta entre sí. Además, ninguno de los formatos nativos en los que vienen los datos se ajusta a lo que se quería para procesarlos posteriormente por lo que se escogió uno que mostrara claramente y en columnas separadas la siguiente información: fecha; intervalo horario, potencia/tráfico. Esto último según sea el caso.

| | |
|------------------|-------|
| 27-07-2009 17:01 | 250.6 |
| 27-07-2009 17:11 | 249.8 |
| 27-07-2009 17:21 | 249.8 |
| 27-07-2009 17:31 | 249.8 |
| 27-07-2009 17:41 | 249.8 |
| 27-07-2009 17:51 | 249.8 |
| 27-07-2009 18:01 | 249.0 |
| 27-07-2009 18:11 | 249.0 |
| 27-07-2009 18:21 | 249.8 |
| 27-07-2009 18:31 | 249.8 |
| 27-07-2009 18:41 | 249.8 |
| 27-07-2009 18:51 | 249.8 |
| 27-07-2009 19:01 | 249.8 |
| 27-07-2009 19:11 | 249.8 |
| 27-07-2009 19:21 | 249.0 |
| 27-07-2009 19:31 | 249.0 |
| 27-07-2009 19:41 | 248.2 |
| 27-07-2009 19:51 | 248.2 |
| 27-07-2009 20:01 | 248.2 |
| 27-07-2009 20:11 | 248.2 |
| 27-07-2009 20:21 | 248.2 |
| 27-07-2009 20:31 | 248.2 |
| 27-07-2009 20:41 | 248.2 |
| 27-07-2009 20:51 | 248.2 |

| | | Corriente [A] | Tensión [V] | Potencia [W] |
|------------|---------|---------------|-------------|--------------|
| 27-07-2009 | [17 18] | 250,60 | -54,30 | 13.607,58 |
| 27-07-2009 | [17 18] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [17 18] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [17 18] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [17 18] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [17 18] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 249,00 | -54,30 | 13.520,70 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 249,00 | -54,30 | 13.520,70 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 249,80 | -54,30 | 13.564,14 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 249,00 | -54,30 | 13.520,70 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 249,00 | -54,30 | 13.520,70 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 248,20 | -54,30 | 13.477,26 |

| | | Potencia [W] |
|------------|---------|--------------|
| 27-07-2009 | [17 18] | 13.571,38 |
| 27-07-2009 | [18 19] | 13.549,66 |
| 27-07-2009 | [19 20] | 13.520,70 |
| 27-07-2009 | [20 21] | 13.477,26 |

Tabla 3.1: Pre-procesamiento de datos.

En la tabla 3.1 se puede ver la forma en la que se llega a estandarizar los datos, estando en una primera instancia en su formato nativo. La tabla del centro muestra el resultado luego de

utilizar dos funciones muy básicas programadas en Visual Basic, con las que se obtienen las columnas con la fecha y el intervalo horario. La tercera y cuarta columna muestran la corriente y tensión respectivamente, que son datos que se obtuvieron independientemente para los mismos períodos de tiempo por lo que se juntaron en una misma tabla para obtener el valor que realmente interesa que hasta este momento es la potencia (quinta columna).

La última tabla muestra el estado final en el que se dejaron todos los datos de consumo antes de hacer el *matching*. Se programó una nueva función en Visual Basic, esta vez algo más sofisticada que las anteriores, para obtener los promedios horarios dentro de cada intervalo, puesto que aquella es la mayor resolución que se pudo obtener con los datos de tráfico.

| | | Fuente 1 | Fuente 2 | Fuente 3 | Fuente 4 | Fuente 5 | Fuente 6 | TOTAL |
|------------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Fecha | Hora | Consumo [Wh] | Consumo [Wh] | Consumo [Wh] | Consumo [Wh] | Consumo [Wh] | Consumo [Wh] | Consumo [Wh] |
| 28-07-2009 | [12 13] | 16.716,60 | 2.582,97 | 13.696,11 | 29.589,59 | 23.147,39 | 2.140,90 | 87.873,55 |
| 28-07-2009 | [13 14] | 16.723,80 | 2.590,13 | 13.676,52 | 29.620,30 | 23.111,62 | 2.140,90 | 87.863,27 |
| 28-07-2009 | [14 15] | 16.738,20 | 2.625,93 | 13.553,82 | 29.560,68 | 23.151,44 | 2.133,67 | 87.763,75 |
| 28-07-2009 | [15 16] | 16.723,80 | 2.625,93 | 13.564,14 | 29.567,91 | 23.137,00 | 2.140,90 | 87.759,68 |
| 28-07-2009 | [16 17] | 16.767,00 | 2.633,09 | 13.556,90 | 29.578,51 | 23.180,12 | 2.140,90 | 87.856,52 |
| 28-07-2009 | [17 18] | 16.733,95 | 2.727,96 | 13.520,70 | 29.581,88 | 23.171,14 | 2.140,90 | 87.876,52 |
| 28-07-2009 | [18 19] | 16.765,60 | 2.727,96 | 13.520,70 | 29.686,47 | 23.137,45 | 2.140,90 | 87.979,08 |
| 28-07-2009 | [19 20] | 16.750,32 | 2.727,96 | 13.483,60 | 29.663,93 | 23.204,66 | 2.119,22 | 87.949,69 |
| 28-07-2009 | [20 21] | 16.758,41 | 2.727,96 | 13.422,06 | 29.612,54 | 23.219,74 | 2.097,54 | 87.838,24 |
| 28-07-2009 | [21 22] | 16.757,51 | 2.727,96 | 13.429,30 | 29.619,75 | 23.224,21 | 2.097,54 | 87.856,27 |
| 28-07-2009 | [22 23] | 16.736,85 | 2.727,96 | 13.392,19 | 29.551,22 | 23.266,36 | 2.097,54 | 87.772,12 |
| 28-07-2009 | [23 24] | 16.700,02 | 2.708,27 | 13.377,71 | 29.491,71 | 23.231,18 | 2.077,67 | 87.586,56 |
| 29-07-2009 | [0 1] | 16.708,10 | 2.698,43 | 13.377,71 | 29.430,40 | 23.155,58 | 2.077,67 | 87.447,89 |
| 29-07-2009 | [1 2] | 16.655,10 | 2.678,74 | 13.377,71 | 29.385,32 | 23.110,62 | 2.047,86 | 87.255,34 |
| 29-07-2009 | [2 3] | 16.692,83 | 2.678,74 | 13.362,33 | 29.378,10 | 23.107,40 | 2.077,67 | 87.297,06 |
| 29-07-2009 | [3 4] | 16.680,83 | 2.678,74 | 13.384,95 | 29.363,68 | 23.100,21 | 2.077,67 | 87.286,07 |
| 29-07-2009 | [4 5] | 16.656,30 | 2.668,89 | 13.384,95 | 29.363,68 | 23.079,43 | 2.047,86 | 87.201,11 |
| 29-07-2009 | [5 6] | 16.672,73 | 2.654,57 | 13.419,86 | 29.342,04 | 23.076,74 | 2.037,92 | 87.203,85 |
| 29-07-2009 | [6 7] | 16.654,50 | 2.625,93 | 13.493,92 | 29.378,10 | 23.067,73 | 2.067,73 | 87.287,92 |
| 29-07-2009 | [7 8] | 16.661,70 | 2.625,93 | 13.502,08 | 29.399,74 | 23.094,78 | 2.077,67 | 87.361,90 |
| 29-07-2009 | [8 9] | 16.709,40 | 2.625,93 | 13.502,08 | 29.429,50 | 23.089,39 | 2.097,54 | 87.453,84 |
| 29-07-2009 | [9 10] | 16.709,40 | 2.625,93 | 13.509,33 | 29.506,14 | 23.082,25 | 2.119,22 | 87.552,27 |
| 29-07-2009 | [10 11] | 16.761,82 | 2.625,93 | 13.541,45 | 29.589,09 | 23.081,87 | 2.126,45 | 87.726,61 |
| 29-07-2009 | [11 12] | 16.781,40 | 2.625,93 | 13.567,36 | 29.619,75 | 23.121,02 | 2.140,90 | 87.856,36 |
| 29-07-2009 | [12 13] | 16.751,46 | 2.710,96 | 13.539,36 | 29.626,96 | 23.167,35 | 2.140,90 | 87.936,98 |
| 29-07-2009 | [13 14] | 16.743,14 | 2.727,96 | 13.520,70 | 29.589,09 | 23.139,65 | 2.140,90 | 87.861,44 |
| 29-07-2009 | [14 15] | 16.727,61 | 2.742,28 | 13.475,45 | 29.581,88 | 23.154,92 | 2.140,90 | 87.823,03 |

Tabla 3.2: Datos de consumo de energía estandarizados.

La estandarización del formato de los datos de tráfico se hizo de forma completamente análoga a la anterior dado que, aunque la forma nativa de ambos no era igual, fue posible aplicar indistintamente las funciones programadas a cada uno de ellos.

| Fecha | Hora | 2G | 3G | Total |
|------------|---------|------------------|------------------|------------------|
| | | Tráfico [Erlang] | Tráfico [Erlang] | Tráfico [Erlang] |
| 28-07-2009 | [12 13] | 24.655,99 | 845,65 | 25.501,63 |
| 28-07-2009 | [13 14] | 24.433,34 | 821,70 | 25.255,05 |
| 28-07-2009 | [14 15] | 21.239,57 | 680,52 | 21.920,08 |
| 28-07-2009 | [15 16] | 22.127,08 | 723,62 | 22.850,70 |
| 28-07-2009 | [16 17] | 23.932,86 | 805,69 | 24.738,54 |
| 28-07-2009 | [17 18] | 25.351,37 | 832,68 | 26.184,05 |
| 28-07-2009 | [18 19] | 26.624,97 | 924,97 | 27.549,94 |
| 28-07-2009 | [19 20] | 23.790,44 | 798,05 | 24.588,50 |
| 28-07-2009 | [20 21] | 19.959,77 | 607,58 | 20.567,35 |
| 28-07-2009 | [21 22] | 20.126,41 | 498,98 | 20.625,39 |
| 28-07-2009 | [22 23] | 13.328,65 | 339,14 | 13.667,79 |
| 29-07-2009 | [0 1] | 3.807,85 | 123,77 | 3.931,62 |
| 29-07-2009 | [1 2] | 1.755,55 | 51,88 | 1.807,43 |
| 29-07-2009 | [2 3] | 789,93 | 21,15 | 811,09 |
| 29-07-2009 | [3 4] | 439,60 | 11,47 | 451,07 |
| 29-07-2009 | [4 5] | 352,66 | 5,79 | 358,45 |
| 29-07-2009 | [5 6] | 312,14 | 6,39 | 318,52 |
| 29-07-2009 | [6 7] | 739,99 | 13,42 | 753,41 |
| 29-07-2009 | [7 8] | 2.809,95 | 75,88 | 2.885,83 |
| 29-07-2009 | [8 9] | 8.263,69 | 325,62 | 8.589,31 |
| 29-07-2009 | [9 10] | 15.252,87 | 576,45 | 15.829,32 |
| 29-07-2009 | [10 11] | 20.685,47 | 740,68 | 21.426,15 |
| 29-07-2009 | [11 12] | 23.744,38 | 849,09 | 24.593,47 |
| 29-07-2009 | [12 13] | 24.932,16 | 869,79 | 25.801,95 |
| 29-07-2009 | [13 14] | 24.519,21 | 809,53 | 25.328,74 |
| 29-07-2009 | [14 15] | 21.536,71 | 636,47 | 22.173,18 |
| 29-07-2009 | [15 16] | 22.374,70 | 723,87 | 23.098,57 |
| 29-07-2009 | [16 17] | 23.918,51 | 762,14 | 24.680,64 |

Tabla 3.3: Datos de tráfico estandarizados.

Finalmente, para esta etapa, restaba multiplicar por 1 [h] los datos de potencia puesto que se contaba con datos de tráfico correspondiente a ese período de tiempo; relacionar uno a uno los valores de cada variable utilizando el tiempo como referencia, para lo que es necesario recorrer las tablas de valores puesto que las plataformas de adquisición de datos no son infalibles y hay veces que el muestreo sufre alguna interrupción.

| Fecha | Hora | Consumo | Tráfico |
|------------|---------|-----------|-----------|
| | | [Wh] | [Erlang] |
| 28-07-2009 | [12 13] | 87.873,55 | 25.501,63 |
| 28-07-2009 | [13 14] | 87.863,27 | 25.255,05 |
| 28-07-2009 | [14 15] | 87.763,75 | 21.920,08 |
| 28-07-2009 | [15 16] | 87.759,68 | 22.850,70 |
| 28-07-2009 | [16 17] | 87.856,52 | 24.738,54 |
| 28-07-2009 | [17 18] | 87.876,52 | 26.184,05 |
| 28-07-2009 | [18 19] | 87.979,08 | 27.549,94 |
| 28-07-2009 | [19 20] | 87.949,69 | 24.588,50 |
| 28-07-2009 | [20 21] | 87.838,24 | 20.567,35 |
| 28-07-2009 | [21 22] | 87.856,27 | 20.625,39 |
| 28-07-2009 | [22 23] | 87.772,12 | 13.667,79 |
| 29-07-2009 | [0 1] | 87.447,89 | 3.931,62 |
| 29-07-2009 | [1 2] | 87.255,34 | 1.807,43 |
| 29-07-2009 | [2 3] | 87.297,06 | 811,09 |
| 29-07-2009 | [3 4] | 87.286,07 | 451,07 |
| 29-07-2009 | [4 5] | 87.201,11 | 358,45 |
| 29-07-2009 | [5 6] | 87.203,85 | 318,52 |
| 29-07-2009 | [6 7] | 87.287,92 | 753,41 |
| 29-07-2009 | [7 8] | 87.361,90 | 2.885,83 |
| 29-07-2009 | [8 9] | 87.453,84 | 8.589,31 |
| 29-07-2009 | [9 10] | 87.552,27 | 15.829,32 |
| 29-07-2009 | [10 11] | 87.726,61 | 21.426,15 |
| 29-07-2009 | [11 12] | 87.856,36 | 24.593,47 |
| 29-07-2009 | [12 13] | 87.936,98 | 25.801,95 |
| 29-07-2009 | [13 14] | 87.861,44 | 25.328,74 |
| 29-07-2009 | [14 15] | 87.823,03 | 22.173,18 |
| 29-07-2009 | [15 16] | 87.855,66 | 23.098,57 |
| 29-07-2009 | [16 17] | 87.953,74 | 24.680,64 |

Tabla 3.4: Datos estandarizados pareados.

3.2.4 Obtención del Modelo Agregado

Una vez completado lo descrito en la sección anterior, sólo resta calcular la regresión adecuada¹⁴ para estimar el modelo, utilizando la forma en la que se visualiza el gráfico con la nube de datos como punto de partida. Esto con el fin de buscar una función $C(t)$ del consumo en función del tráfico, proponiéndose la siguiente forma:

$$C_{agregado}(t) = \varepsilon \cdot f(t) + \gamma \quad (\text{Ec. 3.1})$$

3.3 Modelo Desagregado

Una vez obtenido el Modelo Agregado se consideró que si bien era una buena representación de la base de consumo en el DCS no era posible caracterizar adecuadamente el comportamiento de las variaciones de consumo ni considerar la capacidad finita de tráfico de los equipos. Además se trata de un modelo que no permite incorporar los cambios tecnológicos inminentes que se presentan en este campo de las telecomunicaciones sin tener que hacer una reestructuración mayor del mismo. Por este motivo un modelo multivariable que considerara el modelo consumo versus tráfico para cada nodo de manera individual se presentaba como la solución a esta problemática.

De esta manera se busca caracterizar el DC considerando siete nodos de forma individual más una constante que representa el consumo de planta, proponiéndose la siguiente forma:

$$C(BSC, RNC, MSC, HLR, MGW, SGSN, GGSN) = C_{BSC} + C_{RNC} + C_{MSC} + C_{HLR} \quad (\text{Ec. 3.2}) \\ + C_{MGW} + C_{SGSN} + C_{GGSN} + K$$

¹⁴ Mediante el método de mínimos cuadrados.

Donde cada C_i representa el consumo de energía de cada conjunto de nodos del mismo tipo (i) y K la constante que representa el consumo base del DC.

El primer escollo, y uno que con el correr del proyecto probaría ser el más difícil de salvar, fue la forma en la que están energizados los equipos dentro del DCS. Dada la forma en la que está implementada su alimentación (ver sección 3.1), lo más común es que los equipos compartan alimentadores primarios e incluso secundarios entre ellos, lo que en términos prácticos significa que es su consumo combinado el que se registra en ENEC.

Esta situación significó la adición de nuevas tareas que debían agregarse a la planificación de la adquisición de datos, partiendo por hacer un levantamiento de los equipos que alimenta cada distribuidor del DCS hasta revisar una por una las planillas de conexión de los *Data Center* (DC) que tiene el Operador a lo largo de todo el país.

La caracterización de la red con esta visión es una de las ventajas del modelo multivariable sobre el anterior, dado que al tratarse del comportamiento de nodos individuales cada uno de ellos puede ser medido en cualquier DC del país y luego ser aplicado donde se desee hacer el estudio con los datos de tráfico correspondientes (ver sección 4.3.1).

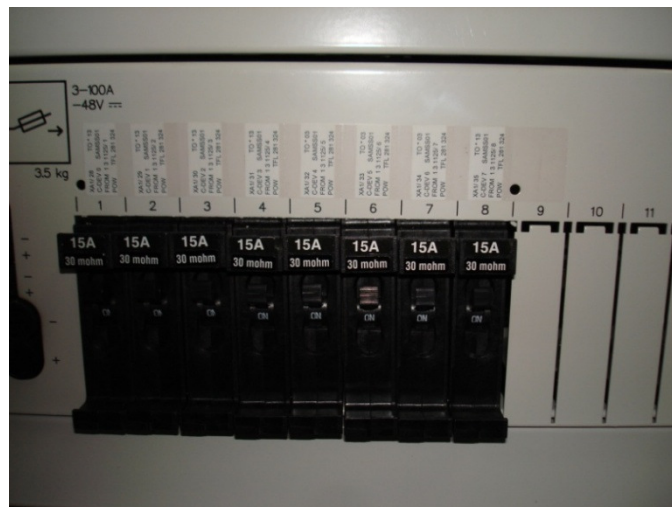


Figura 3.5: Alimentadores de un MSC en el DCS.

3.3.1 Planificación de la Adquisición de Datos

La planificación de la adquisición de datos para este modelo se basa en obtener medidas lo más puras posibles, es decir, registrar las mediciones en ENEC de aquellos distribuidores que alimentarán, si es que no en exclusividad, en su gran mayoría al equipo que se quiere modelar.

Con este criterio, se presentan a continuación las opciones elegidas para cada nodo mientras que sus resultados serán presentados y discutidos en el capítulo 4.

3.3.1.1 BSC

La primera opción fue buscar alternativas en el DCS por ser el objeto de estudio de este trabajo. Además su cercanía y, por ende, facilidad de inspección para determinar si estaba siendo alimentado de forma exclusiva o si compartía un distribuidor primario o secundario con otros equipos hacían que esta fuera la opción más atractiva. Sin embargo, en Santiago no se cuenta con las condiciones requeridas por lo que al mirar hacia otras regiones se encontró que los equipos de un par de BSC en Valparaíso eran la opción más adecuada.

Se efectuó el registro de datos desde el 28-09-2009 hasta el 06-10-2009, obteniendo un total de 1.132 muestras, las cuales luego del pre-procesamiento descrito en la sección 3.2.3.1 se vieron reducidas a 184 para hacer el *matching* y ser procesadas con las medidas de tráfico.

3.3.1.2 RNC

Se buscaron condiciones similares a las de los equipos del nodo anterior. Sin embargo, éstas no estaban dadas en ninguno de los DC que posee el Operador, por lo cual se adoptó como mejor aproximación un distribuidor que alimentaba conjuntamente un RNC con un BSC en la ciudad de Chillán.

La adquisición de datos se realizó entre el 27-10-2009 y el 02-11-2009, obteniendo un total de 672 registros que luego dieron paso a 136 para ser procesadas con las medidas de *throughput*¹⁵ *lub*¹⁶ de dicho nodo, una vez separadas de lo que corresponde al consumo del BSC e incorporado el tráfico de voz mediante la aplicación de un factor de conversión especificado en la documentación provista por el fabricante [13].

Al disponer del modelo del BSC fue posible hacer la estimación de su parte dentro del consumo medido para el conjunto, obteniéndose de esta forma el consumo estimado del RNC.

¹⁵ *Throughput* se refiere al ancho de banda utilizado en el período medido.

¹⁶ *lub* es la interfaz ubicada entre el RNC y el Nodo B (ver figura 2.2).

3.3.1.3 MSC y MWG

Los equipos de ambos nodos se alimentaban de forma ideal en el DC de la ciudad de Concepción por lo que se efectuó un procedimiento análogo al descrito para el BSC (sección 3.3.1.1) para obtener los datos individuales del MSC por una parte y del MWG por la otra.

Las fechas de medición estuvieron comprendidas entre el 28-09-2009 y el 09-10-2009, registrándose 1.622 muestras en bruto y 271 pre-procesadas para cada uno.

3.3.1.4 HLR

Al igual que con los nodos anteriormente mencionados se buscaron alternativas en los DC del resto del país, resultando la mejor opción esperar el cambio de fuente de un BSC que dejaría una de las fuentes alimentando íntegramente uno de los HLR en Santiago.

Se completó la adquisición de datos de consumo entre el 11-11-2009 y el 23-11-2009, teniéndose un total de 2.105 muestras que luego dieron paso a 351 pre-procesadas, restando obtener los datos de tráfico en una consulta coordinada con las áreas de Ingeniería y de Soporte Operacional.

Dentro del plazo que comprende esta memoria no fue posible completar esta última tarea debido al difícil acceso a esta información y a la naturaleza de las labores de aquellas personas de la empresa involucradas en esto, que no permitieron una dedicación mayor al problema.

Por este motivo, se efectuó una estimación del consumo de energía de un HLR utilizando el detalle de *power allocation*¹⁷[15] del DCS y los datos de las mediciones de consumo realizadas.

3.3.1.5 SGSN y GGSN

Estos dos nodos resultaron ser particularmente complicados a la hora de medir su consumo puesto que en la red del Operador sólo existen en el DCS y cada una de las ocurrencias de ambos posee múltiples alimentadores conectados a una variedad de distribuidores que hacen

¹⁷ *Power allocation* es detalle de conexión de cada equipo a los *breakers* de los alimentadores del DCS.

imposible obtener una medición aceptable con la infraestructura disponible. De esta forma, se utilizará también el detalle de *power allocation* para obtener el máximo de consumo considerado para cada nodo. Se discutirá la inclusión de un parámetro que deje propuesto el estudio de su comportamiento en trabajos posteriores.

3.3.2 Generación del Modelo Desagregado Aplicado al Data Center Santiago

El DCS cuenta con más de una ocurrencia para cada nodo. Esto es, en Santiago se tienen 11 BSC; 5 RNC; 2 MSC; 5 HLR; 5 MGW; 4 SGSN y, 4 GGSN. Por lo mismo la confección del Modelo Desagregado debe considerar la cantidad total de nodos de cada tipo sumado al consumo base que existe por el sólo hecho de tener los equipos encendidos, aún cuando el tráfico sea muy pequeño o incluso nulo.

De esta manera el modelo final aplicado al DCS tendrá la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 C_{total}(t_{BSC}, t_{RNC}, t_{MSC}, t_{HLR}, t_{MGW}, t_{SGSN}, t_{GGSN}) = & \sum_{i=1}^{11} c_{BSC_i}(t_{BSC_i}) + \sum_{i=1}^5 c_{RNC_i}(t_{RNC_i}) \quad (\text{Ec. 3.3}) \\
 & + \sum_{i=1}^2 c_{MSC_i}(t_{MSC_i}) + \sum_{i=1}^5 c_{HLR_i}(t_{HLR_i}) \\
 & + \sum_{i=1}^5 c_{MGW_i}(t_{MGW_i}) + \sum_{i=1}^4 c_{SGSN_i}(t_{SGSN_i}) \\
 & + \sum_{i=1}^4 c_{GGSN_i}(t_{GGSN_i}) + K
 \end{aligned}$$

Donde cada uno de los consumos tiene la forma:

$$C_{nodo_i}(t_{nodo_i}) = \alpha \cdot f(t_{nodo_i}) + \beta_{nodo_i} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

El parámetro β es inherente al nodo en el cual se realizó la medición, esto es, si fue medido en el BSC-1 del DC de Valparaíso, corresponde solamente al modelo de consumo de ese

BSC, por lo que es necesario adaptarlo a cada nodo en particular. Se representará el coeficiente como $\beta(\kappa, \eta)$, donde κ y η son la capacidad y el factor de uso del nodo. La heurística utilizada para encontrar cada uno de estos parámetros se presentará y discutirá en la sección 4.2.2.1.

La constante K es una combinación de la constante de cada consumo individual con la base de consumo del Modelo Agregado, descrito en la sección 3.2, y se define así:

$$K = \gamma - \sum_i \beta_i \quad (\text{Ec. 3.5})$$

La ecuación 3.2 ha de ser evaluada en la variable de tráfico asociada a cada nodo con los datos correspondientes a la fecha para la cual se desea estimar el consumo, por lo que para efectuar una proyección a futuro¹⁸ que implique la instalación de equipos adicionales deberá considerarse en el término correspondiente de la ecuación recién mencionada, es decir, habrá que agregarlo a la sumatoria.

Si se deseara actualizar el modelo debido a la instalación de equipos más modernos o bien producto de un *upgrade* de *software* que afectará su eficiencia energética deberá repetirse el proceso de adquisición de datos para ajustar las constantes de su modelo particular.

¹⁸ Entiéndase futuro cercano, no más allá de un año sin actualizar el parámetro β .

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se presentarán y discutirán los resultados obtenidos en este estudio. Se comenzará analizando las mediciones de consumo de energía y la fuerte relación que éste tiene con el período horario. Posteriormente se dará paso a los modelos de correlación descritos en el capítulo anterior, haciendo énfasis en las características y hallazgos más relevantes de cada uno de ellos. Luego se aplicará el modelo escogido para representar el DCS con los datos correspondientes a éste para dar paso a una proyección de consumo para el próximo año 2010.

4.1 Comportamiento del Tráfico y Consumo de Energía en un Día

Al iniciar este estudio se especulaba, aunque sin pruebas concretas, que el consumo de energía debía tener una dependencia horaria dentro de un día. Esto basado en la conjetura de que las personas utilizan sus terminales móviles mucho más durante el día que en la noche por lo que el tráfico variaría de acuerdo con esto.

Las mediciones efectuadas para confeccionar el Modelo Agregado revelaron lo que se estaba suponiendo desde un principio: el tráfico y el consumo de energía efectivamente siguen una tendencia como la mencionada y, más aún, una común entre sí.

Estas afirmaciones cobran más fuerza si en el mismo período de tiempo se observa la carga de procesamiento de varios de los nodos que componen la red, obteniéndose una curva muy similar para cada uno de ellos.

Lo recién descrito se muestra en los gráficos 4.1 y 4.2, teniéndose *peaks* tanto de consumo como de tráfico al mediodía y a las 18:00 y un valle muy marcado en la noche entre las 0:00 y las 6:00.

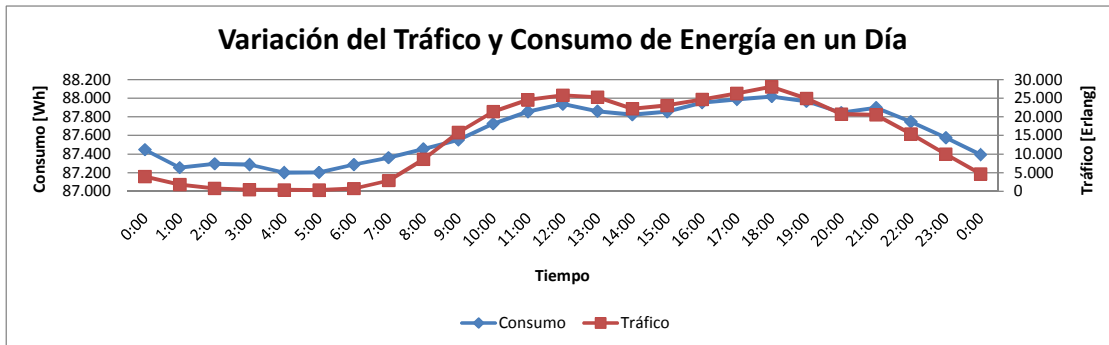


Gráfico 4.1: Variación de consumo de energía y tráfico en un día en un BSC.

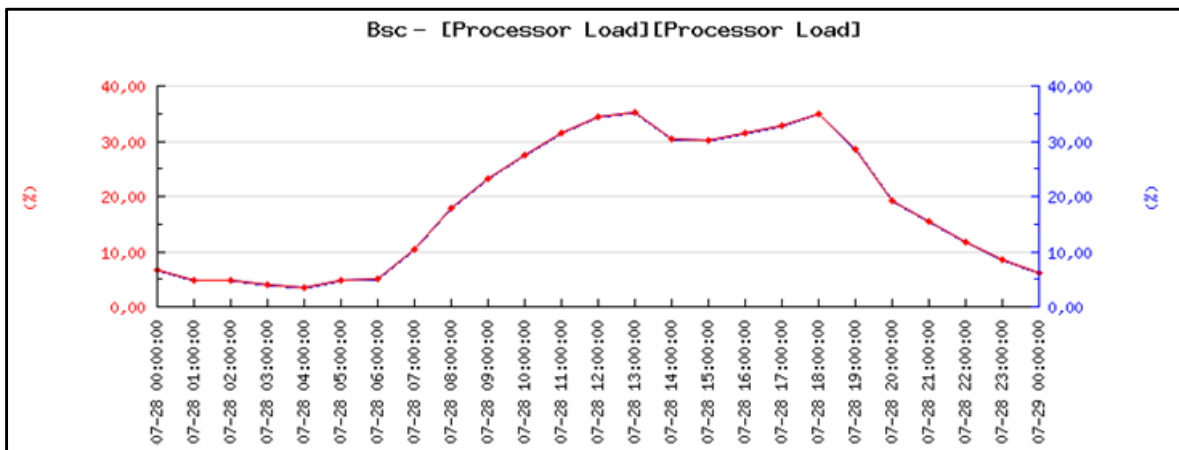


Gráfico 4.2: Carga de procesamiento en el BSC observado.

4.2 Correlación Tráfico - Consumo

Esta sección tratará acerca de los modelos obtenidos para estudiar el comportamiento de las variables de tráfico y consumo de energía y sus implicancias.

4.2.1 Modelo Agregado del DCS

Para la confección de este modelo, se efectuó el procedimiento descrito en la sección 3.2, con un total de 179 muestras pre-procesadas.

| Hora | Miércoles 29-07-2009 | | Jueves 30-07-2009 | | Viernes 31-07-2009 | |
|---------|----------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] |
| [0 1] | 87.448 | 3.932 | 87.393 | 4.683 | 87.787 | 4.615 |
| [1 2] | 87.255 | 1.807 | 87.291 | 2.037 | 87.510 | 2.004 |
| [2 3] | 87.297 | 811 | 87.337 | 927 | 87.504 | 926 |
| [3 4] | 87.286 | 451 | 87.443 | 477 | 87.471 | 536 |
| [4 5] | 87.201 | 358 | 87.388 | 359 | 87.483 | 428 |
| [5 6] | 87.204 | 319 | 87.419 | 317 | 87.503 | 346 |
| [6 7] | 87.288 | 753 | 87.403 | 745 | 87.527 | 739 |
| [7 8] | 87.362 | 2.886 | 87.431 | 2.950 | 87.550 | 2.914 |
| [8 9] | 87.454 | 8.589 | 87.571 | 8.694 | 87.725 | 8.340 |
| [9 10] | 87.552 | 15.829 | 87.712 | 15.834 | 87.873 | 15.226 |
| [10 11] | 87.727 | 21.426 | 87.893 | 21.596 | 88.099 | 20.456 |
| [11 12] | 87.856 | 24.593 | 88.084 | 24.560 | 88.271 | 23.577 |
| [12 13] | 87.937 | 25.802 | 88.091 | 25.981 | 88.136 | 25.094 |
| [13 14] | 87.861 | 25.329 | 88.094 | 25.553 | 88.144 | 25.246 |
| [14 15] | 87.823 | 22.173 | 88.020 | 22.244 | 88.144 | 22.298 |
| [15 16] | 87.856 | 23.099 | 88.106 | 23.373 | 88.164 | 23.083 |
| [16 17] | 87.954 | 24.681 | 88.280 | 25.257 | 88.206 | 24.942 |
| [17 18] | 87.989 | 26.281 | 88.223 | 26.828 | 88.205 | 26.191 |
| [18 19] | 88.019 | 28.076 | 88.339 | 28.498 | 88.209 | 27.124 |
| [19 20] | 87.967 | 24.963 | 88.171 | 25.593 | 88.181 | 24.921 |
| [20 21] | 87.844 | 20.755 | 88.122 | 21.616 | 88.085 | 22.459 |
| [21 22] | 87.898 | 20.560 | 88.168 | 21.348 | 88.112 | 21.337 |
| [22 23] | 87.746 | 15.429 | 88.056 | 16.224 | 88.017 | 16.729 |
| [23 24] | 87.576 | 9.974 | 87.859 | 8.972 | 87.821 | 12.038 |

Tabla 4.1: Consumo de energía y tráfico en una semana típica, miércoles a viernes.

| Hora | Sábado 01-08-2009 | | Domingo 02-08-2009 | | Lunes 03-08-2009 | | Martes 04-08-2009 | |
|---------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] | Consumo [Wh] | Tráfico [Erlang] |
| [0 1] | 87.760 | 7.537 | 87.700 | 7.215 | - | - | 87.446 | 5.292 |
| [1 2] | 87.542 | 4.741 | 87.554 | 4.264 | 87.640 | 1.733 | 87.238 | 2.091 |
| [2 3] | 87.521 | 2.905 | 87.496 | 3.091 | 87.586 | 700 | 87.241 | 825 |
| [3 4] | 87.419 | 1.964 | 87.464 | 2.181 | 87.582 | 335 | 87.223 | 424 |
| [4 5] | 87.354 | 1.414 | 87.478 | 1.522 | 87.511 | 216 | 87.184 | 279 |
| [5 6] | 87.335 | 1.161 | 87.440 | 1.326 | 87.484 | 238 | 87.158 | 286 |
| [6 7] | 87.364 | 891 | 87.365 | 825 | 87.527 | 750 | 87.133 | 858 |
| [7 8] | 87.331 | 1.337 | 87.338 | 804 | 87.572 | 3.108 | 87.187 | 3.580 |
| [8 9] | 87.430 | 3.352 | 87.328 | 1.641 | 87.809 | 8.881 | 87.347 | 9.775 |
| [9 10] | 87.572 | 7.386 | 87.386 | 3.661 | 87.955 | 15.233 | 87.550 | 16.972 |
| [10 11] | 87.771 | 12.815 | 87.520 | 7.036 | 88.132 | 20.262 | 87.879 | 23.159 |
| [11 12] | 87.856 | 17.177 | 87.692 | 10.755 | 88.269 | 23.481 | 88.018 | 26.650 |
| [12 13] | 87.919 | 19.359 | 87.841 | 12.975 | 88.215 | 21.419 | 88.150 | 27.763 |
| [13 14] | 87.881 | 19.375 | 87.792 | 13.497 | 88.228 | 24.758 | 88.094 | 27.540 |
| [14 15] | 87.899 | 16.731 | 87.784 | 11.639 | 88.176 | 21.819 | 88.060 | 15.702 |
| [15 16] | 87.829 | 15.032 | 87.758 | 10.306 | 88.144 | 22.428 | 88.139 | 25.088 |
| [16 17] | 87.916 | 14.954 | 87.841 | 10.405 | 88.179 | 24.452 | 88.139 | 26.899 |
| [17 18] | 87.881 | 15.134 | 87.812 | 11.206 | 88.128 | 28.776 | 88.245 | 19.275 |
| [18 19] | 87.928 | 17.346 | 87.927 | 12.874 | 88.158 | 30.549 | 88.303 | 30.622 |
| [19 20] | 87.957 | 17.705 | 87.886 | 13.541 | 88.129 | 27.620 | 88.202 | 28.014 |
| [20 21] | 87.960 | 17.957 | 87.933 | 12.116 | 87.937 | 23.355 | 88.084 | 23.068 |
| [21 22] | 87.936 | 17.701 | 88.038 | 15.713 | 87.990 | 23.481 | 88.102 | 22.956 |
| [22 23] | 87.952 | 15.041 | 88.056 | 13.195 | 87.774 | 17.806 | 88.030 | 18.204 |
| [23 24] | 87.824 | 10.632 | 87.873 | 8.375 | 87.686 | 11.222 | 87.835 | 11.662 |

Tabla 4.2: Consumo de energía y tráfico en una semana típica, sábado a martes.

En las tablas 4.1 y 4.2 se muestran las mediciones utilizadas para estimar el Modelo Agregado, correspondientes a los siete días de una semana típica del año.

Al calcular la regresión se obtuvo un modelo lineal con los parámetros que se indican a continuación:

| C(t) | Coficiente | Error Estándar | R² | P> t |
|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| t | 0,028 | 0,001 | 0,794 | < 0,001 |
| γ | 87.387,850 | 17,219 | | < 0,001 |

Tabla 4.3: Parámetros del Modelo Agregado.

El gráfico 4.3 muestra la nube de datos de las tablas 4.1 y 4.2 junto con la función estimada en la regresión, donde se evidencia quizás uno de los aspectos más relevantes de este trabajo: la base de consumo.

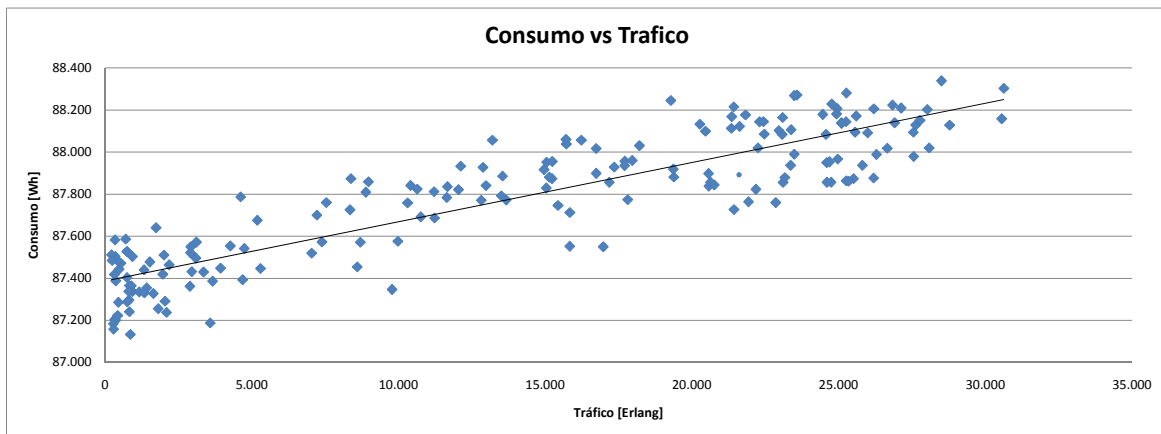


Gráfico 4.3: Modelo Agregado.

La base de consumo de la función $C(t)$ representa sobre el 99% del máximo medido, lo que indica que aún cuando se nota un ajuste entre los datos y el modelo, el pequeño tramo restante que sí presenta variaciones no pareciera ser muy relevante. Sin embargo hay que resaltar que esta alternativa por representar el comportamiento de las variables en estudio no considera la capacidad finita de procesar tráfico por parte de los equipos, por cuanto dicha característica no fue incluida en la planificación.

De esta forma, el aporte de este modelo radica principalmente en la revelación de que los equipos del DCS tienen una alta componente constante y que consumen energía por el sólo hecho de estar encendidos, dando luces de un gran desperdicio de recursos durante las horas menos cargadas del día.

4.2.2 Modelo Desagregado

Para la obtención de lo que se presentará a continuación se siguieron los distintos procedimientos especificados en la sección 3.3. La generación del modelo de cada uno de estos nodos presenta una particularidad: la constante de consumo está fuertemente ligada al valor máximo de tráfico que está siendo procesado, consecuencia que será abordada a lo largo de las secciones venideras.

4.2.2.1 Parámetro β

Los nodos estudiados tienen una característica de escalabilidad que permite la expansión de su capacidad de tráfico mediante la ampliación de su hardware de forma escalonada, lo que implica la inserción de componentes que aumentan la base de consumo energético. De esta manera se puede estimar este último parámetro en base a la capacidad de tráfico de cada nodo y un factor de uso que reflejará su porcentaje de utilización, lo que se traduce en el tráfico máximo cursado para una configuración dada.

Se define el coeficiente ξ de la siguiente forma:

$$\xi = \frac{k_{medido}}{t_{maxmedido}} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde k_{medido} corresponde a la constante del modelo obtenido en el nodo que fue medido (BSC en Valparaíso; RNC en Chillán y, MGW y MSC en Concepción) y $t_{maxmedido}$ es el tráfico máximo cursado por el mismo nodo.

De esta forma, β podría obtenerse en función de la capacidad (κ) y el factor de uso de cada nodo (η), esto es:

$$\beta(\kappa, \eta) = \xi \cdot \kappa \cdot \eta \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Se incluye el detalle sobre el parámetro β en este capítulo dado que la heurística recién descrita se hizo íntegramente en base a los resultados que se presentan en las secciones 4.2.2.2 a 4.2.2.5.

4.2.2.2 Modelo para el BSC

La regresión calculada con este nodo presenta un ajuste mayor al de la obtenida para el set de datos del Modelo Agregado, lo que permite describir el comportamiento de la componente variable. No obstante lo anterior, el valor de la base sigue siendo muy alto, representando el 94,8% del mayor consumo medido.

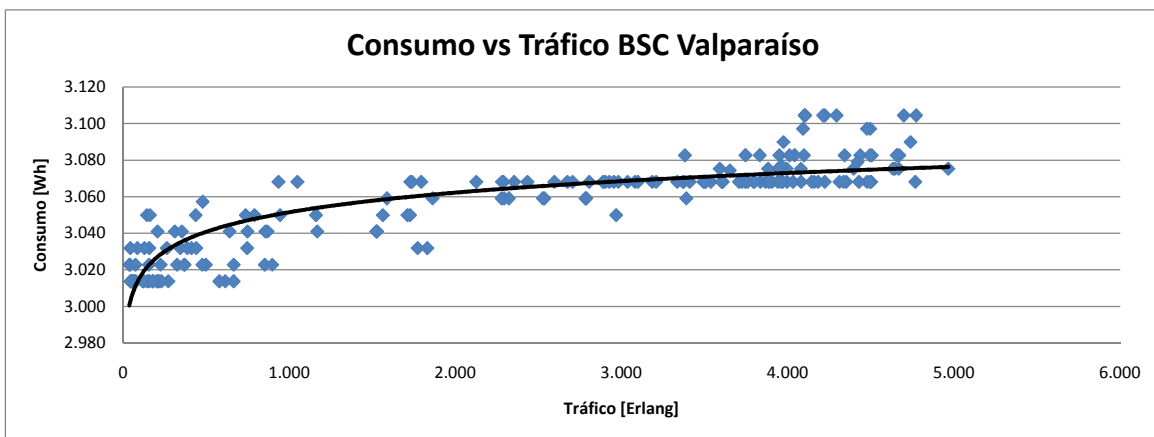


Gráfico 4.4: Consumo vs tráfico y modelo BSC.

Los parámetros de la regresión son los siguientes:

| C(t) | Coefficiente | Error Estándar | R ² | P> t |
|---------------|--------------|----------------|----------------|--------|
| Ln(t) | 15,45 | 0,7276 | 0,748 | < 0,01 |
| β_{BSC} | 2.944,80 | 5,5258 | | < 0,01 |

Tabla 4.4: Parámetros regresión BSC.

Seguindo la heurística planteada en la sección 4.2.2.1, el modelo del BSC es el siguiente:

$$C_{BSC}(t) = 15,44 \cdot \ln(t) + 0,59 \cdot \kappa_{BSC} \cdot \eta_{BSC} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

4.2.2.3 Modelo para el RNC

Al ver las mediciones obtenidas para este nodo en función del tiempo, se observa un aumento discreto del consumo, lo que sugiere un ajuste de capacidad.

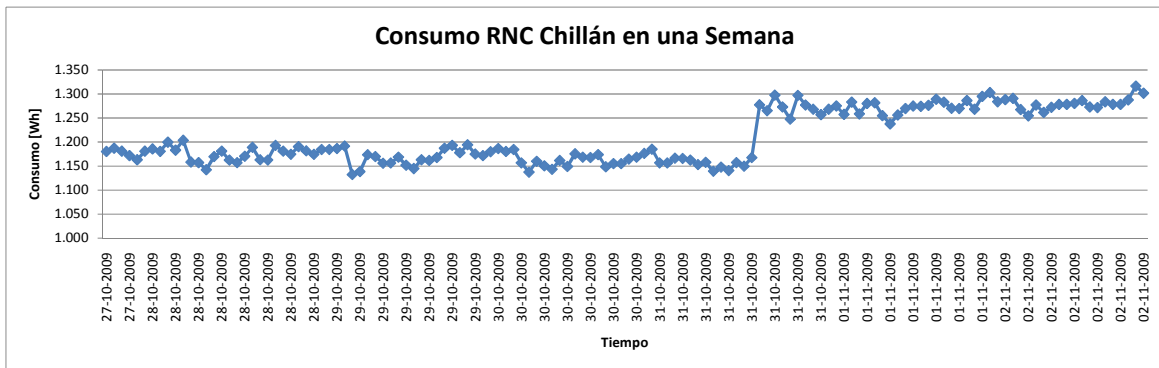


Gráfico 4.5: Consumo de energía RNC Chillán en una semana.

La observación de este consumo versus la variable de tráfico muestra dos tramos que presentan comportamientos similares si se tratan por separado, apreciándose solamente un desplazamiento de la curva.

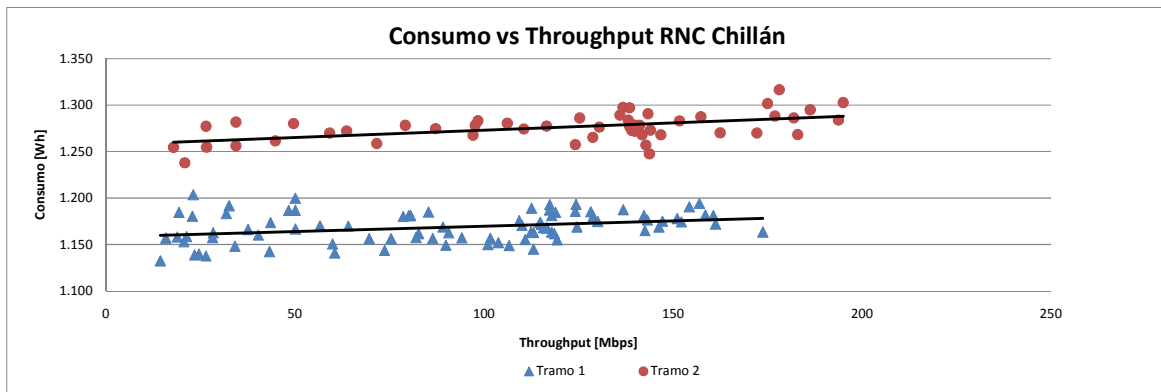


Gráfico 4.6: Consumo vs Throughput y modelo RNC.

Al momento del término de esta memoria no fue posible obtener información sobre la operación del nodo en las fechas medidas. Sin embargo el tratamiento por separado de los dos tramos de datos es consistente con la característica de escalabilidad del hardware de los nodos.

| | Tramo 1 | Tramo 2 |
|--------------------------------------|---------|---------|
| $\xi \left[\frac{Wh}{Mbps} \right]$ | 6,67 | 6,45 |

Tabla 4.5: Coeficiente ξ .

En el gráfico 4.6 se ven claramente los tramos de datos mencionados. La cercanía del valor del coeficiente ξ utilizando ambas curvas sugiere que la heurística para calcular este parámetro es válida (sección 4.2.2.1). Nuevamente, se tiene que la base de consumo representa cerca del 94% del mayor valor medido y su parte variable presenta un comportamiento prácticamente lineal.

Los parámetros de las regresiones se muestran a continuación:

| C(t) | Coeficiente | Error Estándar | R ² | P> t |
|-----------------|-------------|----------------|----------------|--------|
| t | 0,114 | 0,0399 | 0,1024 | < 0,05 |
| β_{RNC_1} | 1.158,203 | 4,5575 | | < 0,01 |

Tabla 4.6: Parámetros regresión tramo 1 RNC.

| C(t) | Coeficiente | Error Estándar | R ² | P> t |
|-----------------|-------------|----------------|----------------|--------|
| t | 0,148 | 0,0394 | 0,2570 | < 0,01 |
| β_{RNC_2} | 1.258,300 | 5,0172 | | < 0,01 |

Tabla 4.7: Parámetros regresión tramo 2 RNC.

De esta forma, se tiene finalmente un modelo, ya sea por el tramo 1 o el tramo 2 del gráfico 4.6:

$$C_1(t) = 0,114 \cdot t + 6,67 \cdot \kappa_{RNC} \cdot \eta_{RNC} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

$$C_2(t) = 0,148 \cdot t + 6,45 \cdot \kappa_{RNC} \cdot \eta_{RNC} \quad (\text{Ec.4.4})$$

4.2.2.4 Modelo para el MSC

El gráfico de consumo versus tráfico de este nodo resultó bastante difuso. No se aprecia una correlación directa entre las variables y no hay evidencia que permita afirmar que sí la hay. En la red del Operador este nodo tiene la funcionalidad de VLR por lo que las consultas a la base de datos temporal del nodo podrían introducir ruido en la variable de consumo si hubiera una alta movilidad de los usuarios entre las zonas asignadas a cada MSC/VLR.

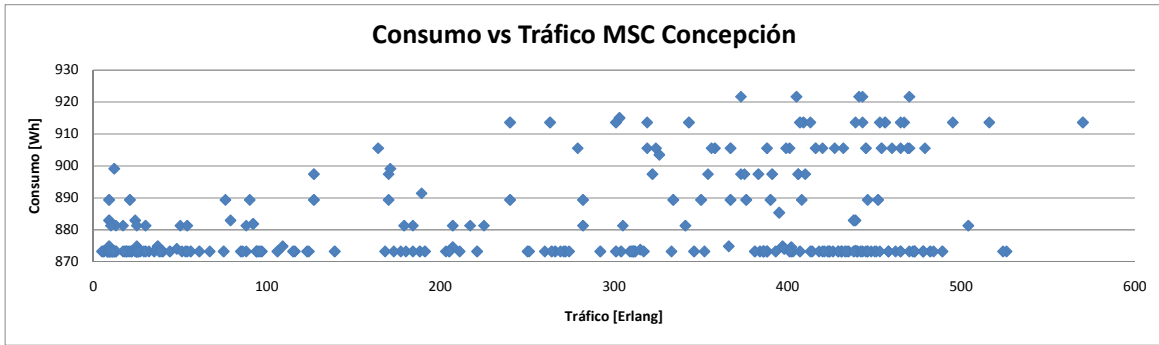


Gráfico 4.7: Consumo vs Tráfico MSC Concepción.

Este consumo es inherente a la funcionalidad que se le da al nodo por lo que de todas formas es necesario considerarlo dentro de lo que se espera de él. Aún cuando obtener un modelo con un grado de incertidumbre sea inevitable se deja propuesta una función simple que la incorpore, pudiendo servir de base para estudios posteriores:

$$C(t, \psi) = 1,53 \cdot \kappa_{MSC} \cdot \eta_{MSC} + 0,085 \cdot t(\psi) \quad (\text{Ec. 4.5})$$

$$0 \leq \psi \leq 1$$

Siendo ψ el factor de incertidumbre de distribución desconocida, tal que:

$$t = \begin{cases} t_{max} & \psi = 1 \\ 0 & \psi = 0 \end{cases}$$

Los valores expuestos son tales que para los valores extremos de ψ se obtenga el máximo y mínimo valor medido para $\kappa_{MSC} \cdot \eta_{MSC} = t_{max}$.

4.2.2.5 Modelo para el MGW

La parte variable del consumo de este nodo presenta comportamiento logarítmico, a medida que aumenta el tráfico procesado por el MGW su consumo de energía tiende a estabilizarse.

Similar al BSC, la base de consumo representa el 97% del máximo valor medido, dejando un rango muy pequeño de variación.

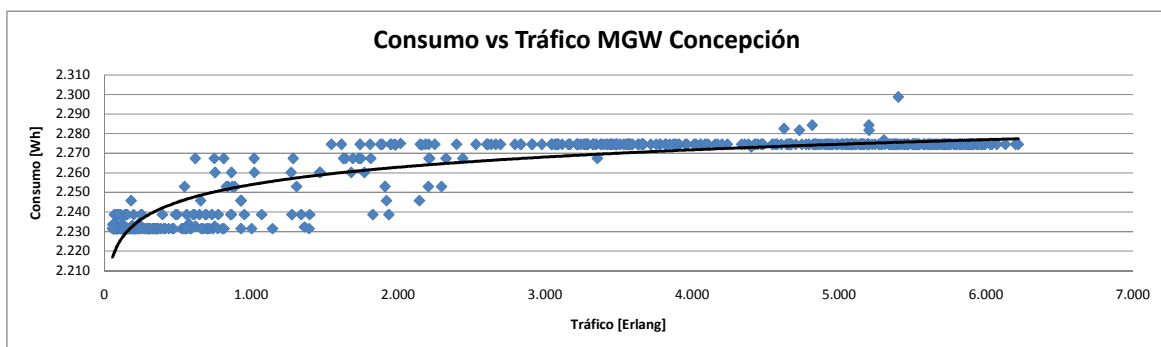


Gráfico 4.8: Consumo vs Tráfico y modelo MGW Concepción.

A continuación se muestran los parámetros de la regresión:

| C(t) | Coefficiente | Error Estándar | R² | P> t |
|---------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Ln(t) | 12,83 | 0,2815 | 0,757 | < 0,01 |
| β_{MGW} | 2.165,32 | 2,3426 | | <0,01 |

Tabla 4.8: Parámetros regresión MGW.

Aplicando la regla empírica de la sección 4.2.2.1, se llega a la siguiente función:

$$C(t) = 12,82 \cdot \ln(t) + 0,348 \cdot \kappa_{MGW} \cdot \eta_{MGW} \quad (\text{Ec. 4.6})$$

4.2.2.6 Estimación para el HLR

Como se mencionó en la sección 3.3.1.4, no se dispone de los datos de tráfico necesarios para correlacionar una variable de esa naturaleza con aquella del consumo energético. De esta forma, se procederá a hacer un análisis similar al efectuado con el MSC.

Las mediciones de consumo de energía realizadas revelaron un comportamiento absolutamente constante en el tiempo. Es importante dejar explícito que si bien se midió una constante en este período de tiempo, registros pasados de esta medición muestran este mismo comportamiento pero con otro valor de consumo (ver apéndice C). Este motivo sugiere la independencia ésta variable con el tráfico por lo que considerar cierta posibilidad de variación sólo tendría sentido al haber algún ajuste en la configuración del nodo.

Los datos observados en el gráfico 4.9 son los más recientes con los que se dispone al momento de realizar esta memoria y, además, los menores de los que se tiene registro por lo que será esta misma constante la considerada como consumo mínimo.

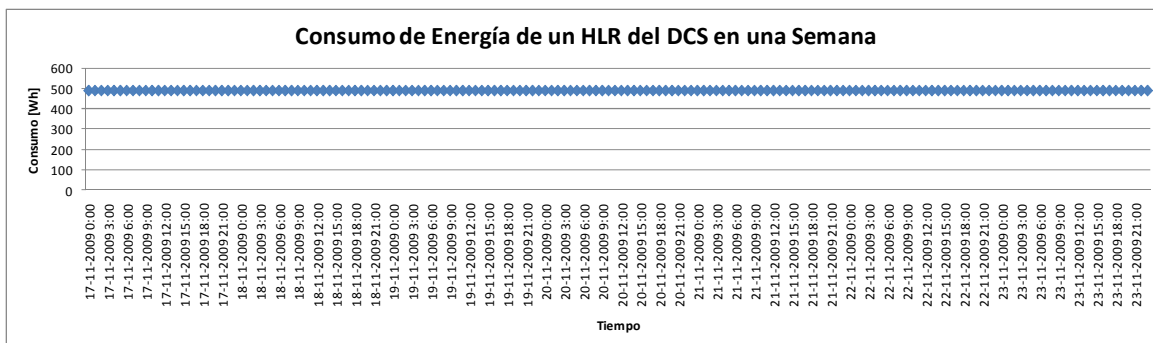


Gráfico 4.9: Consumo de energía de un HLR del DCS durante una semana.

Del detalle de *power allocation* provisto por el Operador se obtiene el valor que se considerará como máximo de consumo para este equipo puesto que no se dispone de información adicional y, para efectos de este trabajo, se considerará como una aproximación al máximo nominal. Los valores propuestos se muestran a continuación:

| Consumo | |
|-------------|-------------|
| Mínimo [Wh] | Máximo [Wh] |
| 489 | 783 |

Tabla 4.9: Valores extremos de consumo para el HLR.

4.2.2.7 Estimación para el SGSN y GGSN

Por los motivos explicados en la sección 3.3.1.5, para el SGSN y GGSN se hará un análisis similar al de la sección anterior.

El detalle de *power allocation* al que se ha hecho mención indica los siguientes consumos máximos que el operador considera en su esquema de alimentación en el DCS:

| Consumo | |
|-----------|-----------|
| SGSN [Wh] | GGSN [Wh] |
| 1.450 | 2.150 |

Tabla 4.10: Máximos de consumo considerados en el DCS para el SGSN y GGSN.

Con la información disponible no es posible afirmar ni descartar la dependencia del consumo de energía de estos nodos con el tráfico que procesen, a diferencia de lo discutido en la sección anterior donde era evidente la independencia. De esta forma, se proponen formas generales, aplicables tanto al SGSN y GGSN, para su estudio posterior:

$$C_{(S-G)GSN} = C_{max} \cdot \delta + \kappa_{(S-G)GSN} \cdot \eta_{(S-G)GSN} \cdot \sigma \quad (\text{Ec. 4.7})$$
$$0 \leq \delta, \sigma \leq 1$$

4.2.2.8 Acerca del Modelo Desagregado

El modelo encontrado para cada nodo entrega una herramienta que además de permitir estimar su consumo de energía con el tráfico que cursan, da luces claras sobre la dependencia (o inexistencia de ella) entre ambas variables.

Los parámetros que se incluyen en las formas propuestas hacen alusión directa a una de las características que se piensa es parte fundamental en la relación entre las variables estudiadas: la escalabilidad discreta del hardware. La capacidad de un nodo en particular junto con el factor de uso del mismo permite modelar aumentos discretos, si se varía el primer parámetro (κ), y continuos, si varía el segundo (η).

En términos prácticos el producto de estos dos parámetros se traduce en el tráfico máximo procesado por un nodo, lo que brinda flexibilidad al modelo por cuanto para realizar una

estimación de consumo pueden utilizarse valores nominales obtenidos de la documentación de algún nodo de características similares (funcionalidad; plataforma; fabricante, etcétera), presentando una alternativa al momento de representar los datos.

Con una disponibilidad plena de información lo recién descrito pierde relevancia. Sin embargo la ausencia de documentación oficial permite realizar la estimación basándose exclusivamente en la medición del tráfico máximo en el período de estudio, hecho que durante la realización de este trabajo, para algunos nodos, probó ser notablemente más simple. La forma en la que se utilice el modelo queda a discreción del lector, no obstante quedan propuestas ambas alternativas.

La inclusión de parámetros cuya naturaleza o distribución es desconocida responde a la imposibilidad de efectuar mediciones para algunos nodos, debido a restricciones estructurales del DCS y de los DC del Operador en todo el país en general (SGSN y GGSN) y a la inexistencia de datos por falta de implementación en otros (HLR). Por lo mismo no se puede afirmar categóricamente que una estrategia de aplicación es mejor que la otra, sino que es una decisión circunstancial que dependerá de los elementos que se dispongan al momento de aplicar el modelo.

4.3 Aplicación del Modelo al DCS

En esta sección se aplicarán las mediciones de tráfico de los nodos estudiados recientemente, efectuadas entre el 20-11-2009 y el 30-11-2009, a los distintos modelos y estimaciones generadas. De esta forma se busca validar el modelo para posteriormente discutir distintos escenarios posibles al proyectar el consumo de energía para el año 2010 utilizando una estimación de aumento de tráfico hecha por el Operador.

4.3.1 Validación del Modelo

De acuerdo a lo comentado en la sección 4.2.2.8 la forma en la que el modelo se aplicó a cada nodo dependió de la información disponible para ello por lo cual para los BSC; MGW y, RNC se utilizaron los parámetros κ y η mientras que para los MSC se utilizó directamente t_{max} ¹⁹. Para

¹⁹ Recordar que $t_{max} = \kappa \cdot \eta$.

los HLR se utilizará el valor mínimo expuesto por cuanto corresponde al medido en el intervalo de tiempo elegido. Finalmente, para los SGSN y GGSN se utilizarán los valores máximos al no estar disponible la información de su funcionamiento por parte del Operador.

| | | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC |
|----------|--------------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Equipo 1 | Tráfico / ψ | 3.456 | 237 | - | 5.050 | - | - | 1 |
| | Capacidad | 4.651 | 400 | - | 9.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 74% | 59% | - | 56% | - | - | 796 |
| | Consumo [Wh] | 2.165 | 1.564 | 489 | 1.867 | 2.150 | 1.450 | 1.286 |
| Equipo 2 | Tráfico / ψ | 1.724 | 350 | - | 5.970 | - | - | 1 |
| | Capacidad | 3.413 | 500 | - | 9.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 51% | 70% | - | 66% | - | - | 304 |
| | Consumo [Wh] | 1.132 | 2.309 | 489 | 2.189 | 2.150 | 1.450 | 491 |
| Equipo 3 | Tráfico / ψ | 3.070 | 278 | - | 8.292 | - | - | |
| | Capacidad | 4.965 | 400 | - | 18.000 | - | - | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 62% | 70% | - | 46% | - | - | |
| | Consumo [Wh] | 1.935 | 1.834 | 489 | 3.001 | 2.150 | 1.450 | |
| Equipo 4 | Tráfico / ψ | 2.584 | 210 | - | 9.272 | - | - | |
| | Capacidad | 3.743 | 400 | - | 18.000 | - | - | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 69% | 53% | - | 52% | - | - | |
| | Consumo [Wh] | 1.646 | 1.386 | 489 | 3.344 | 2.150 | 1.450 | |
| Equipo 5 | Tráfico / ψ | 2.960 | 283 | - | 4.885 | | | |
| | Capacidad | 4.215 | 500 | - | 12.200 | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 70% | 57% | - | 40% | | | |
| | Consumo [Wh] | 1.870 | 1.867 | 489 | 1.809 | | | |
| Equipo 6 | Tráfico / ψ | 2.676 | | | | | | |
| | Capacidad | 4.590 | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 58% | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 1.701 | | | | | | |
| Equipo 7 | Tráfico / ψ | 3.281 | | | | | | |
| | Capacidad | 4.528 | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 2.061 | | | | | | |
| Equipo 8 | Tráfico / ψ | 3.666 | | | | | | |
| | Capacidad | 4.374 | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 84% | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 2.290 | | | | | | |

Tabla 4.11: Aplicación del modelo al DCS con datos del 20 al 30 de nov.de 2009, equipos 1 a 8.

| | | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC | |
|-----------|------------------------------------|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| Equipo 9 | Tráfico / ψ | 2.532 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.590 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 55% | | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 1.615 | | | | | | | |
| Equipo 10 | Tráfico / ψ | 2.534 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.622 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 55% | | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 1.616 | | | | | | | |
| Equipo 11 | Tráfico / ψ | 3.006 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.555 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 66% | | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 1.897 | | | | | | | |
| | Total | | | | | | | | |
| | Base de consumo nodos [Wh] | 18.579 | 8.759 | 2.445 | 11.647 | 8.600 | 5.800 | 1.683 | 57.513 |
| | Total consumo nodos [Wh] | 19.928 | 8.960 | 2.445 | 12.210 | 8.600 | 5.800 | 1.777 | 59.720 |
| | Total consumo core DCS [Wh] | 89.595 | | | | | | | |

Tabla 4.12: Aplicación del modelo al DCS con datos del 20 al 30 de nov. 2009, equipos 9 al 11.

De acuerdo a la ecuación 3.5, se calcula la constante $K = \gamma - \sum_i \beta_i$ la cual queda fija luego de esto dado que es sólo la estimación de aquel 33,3% del consumo que no corresponde a los nodos en estudio y que por lo mismo se considerará estático. De esta forma, se obtiene $K = 29.875$ [Wh].

4.3.2 Discusión de la Proyección de Consumo

Considérese el siguiente escenario de proyección de aumento de tráfico:

| | Dic-09 | Dic-10 | Incremento % |
|-----------|--------|--------|--------------|
| Erlang 2G | 31.489 | 34.846 | 10,66% |
| Mbps 3G | 1.358 | 3.028 | 123,23% |

Tabla 4.13: Proyección de crecimiento de tráfico.

El aumento de 3.357 [Erlang] de tráfico 2G se puede enfrentar de dos maneras: distribuyéndolo en los BSC²⁰ ya instalados o instalando un BSC adicional que absorba este incremento para no aumentar demasiado el factor de uso del resto²¹. En ambos casos el resto de los equipos verá el aumento de tráfico sin que sea necesario aumentar demasiado su utilización.

El caso 3G es algo más complicado puesto que hay una mayor cantidad de escenarios posibles. Se necesita suplir un aumento de 1.670 [Mbps], lo que se puede realizar instalando RNC de alguna combinación entre 400 y 500 [Mbps] de capacidad, tal que la suma de ellas, considerando un factor de uso similar al del resto de estos nodos, sea mayor o igual a lo requerido. También es posible instalar una menor cantidad de RNC que en el caso anterior y distribuir lo que falte entre lo ya existente. Ambos escenarios se pueden plantear de más de una forma pero cualquiera de ellas exige efectuar alguna instalación pues el estado actual del DCS no permite suplir la demanda proyectada.

Para el caso 2G, satisfacer la nueva demanda permitiendo que se distribuya este tráfico en los BSC existentes supone el aumento de su factor de uso, lo que para la proyección propuesta es posible de realizar sin que este valor supere el 72% en los nodos que inicialmente estaban por debajo de aquello.

En este escenario se produce un aumento del consumo total del DCS del 4,19%, habiendo también un incremento promedio en el uso de los MGW de un 5,4%.

²⁰ El total del tráfico 2G pasa a través de los BSC de la red.

²¹ Salvo el BSC-8 el Operador mantiene el factor de uso de estos nodos por debajo del 75%.

| | | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC |
|----------|--------------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Equipo 1 | Tráfico / ψ | 3.456 | 237 | - | 5.588 | - | - | 1 |
| | Capacidad | 4.651 | 400 | - | 9.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 74% | 59% | - | 62% | - | - | 881 |
| | Consumo [Wh] | 2.165 | 1.564 | 489 | 2.055 | 2.150 | 1.450 | 1.423 |
| Equipo 2 | Tráfico / ψ | 2.457 | 350 | - | 6.606 | - | - | 1 |
| | Capacidad | 3.413 | 500 | - | 9.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 70% | - | 73% | - | - | 336 |
| | Consumo [Wh] | 1.570 | 2.309 | 489 | 2.412 | 2.150 | 1.450 | 543 |
| Equipo 3 | Tráfico / ψ | 3.575 | 278 | - | 9.176 | - | - | - |
| | Capacidad | 4.965 | 400 | - | 18.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 70% | - | 51% | - | - | - |
| | Consumo [Wh] | 2.236 | 1.834 | 489 | 3.310 | 2.150 | 1.450 | - |
| Equipo 4 | Tráfico / ψ | 2.695 | 210 | - | 10.260 | - | - | - |
| | Capacidad | 3.743 | 400 | - | 18.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 53% | - | 57% | - | - | - |
| | Consumo [Wh] | 1.712 | 1.386 | 489 | 3.689 | 2.150 | 1.450 | - |
| Equipo 5 | Tráfico / ψ | 3.035 | 283 | - | 5.406 | - | - | - |
| | Capacidad | 4.215 | 500 | - | 12.200 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 57% | - | 44% | - | - | - |
| | Consumo [Wh] | 1.914 | 1.867 | 489 | 1.991 | - | - | - |
| Equipo 6 | Tráfico / ψ | 3.305 | 283 | - | - | - | - | - |
| | Capacidad | 4.590 | 500 | - | - | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 57% | - | - | - | - | - |
| | Consumo [Wh] | 2.075 | 1.867 | - | - | - | - | - |
| Equipo 7 | Tráfico / ψ | 3.281 | 283 | - | - | - | - | - |
| | Capacidad | 4.528 | 500 | - | - | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 57% | - | - | - | - | - |
| | Consumo [Wh] | 2.061 | 1.867 | - | - | - | - | - |
| Equipo 8 | Tráfico / ψ | 3.666 | 283 | - | - | - | - | - |
| | Capacidad | 4.374 | 500 | - | - | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 84% | 57% | - | - | - | - | - |
| | Consumo [Wh] | 2.290 | 1.867 | - | - | - | - | - |

Tabla 4.14: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G, equipos 1 al 8.

| | | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC | |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| Equipo 9 | Tráfico / ψ | 3.305 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.590 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 2.075 | | | | | | | |
| Equipo 10 | Tráfico / ψ | 3.328 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.622 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 2.089 | | | | | | | |
| Equipo 11 | Tráfico / ψ | 3.280 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.555 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | | | | | | | |
| | Consumo [Wh] | 2.060 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Total |
| Base de consumo [Wh] | | 20.875 | 8.759 | 2.445 | 12.889 | 8.600 | 5.800 | 1.862 | 61.230 |
| Total consumo nodos [Wh] | | 22.247 | 8.960 | 2.445 | 13.458 | 8.600 | 5.800 | 1.965 | 63.475 |
| Total consumo core DCS [Wh] | | 93.350 | | | | | | | |

Tabla 4.15: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G, equipos 9 al 11.

Si se opta por la instalación de un nuevo BSC el consumo queda como sigue:

| | | | | | | | | Total |
|------------------------------------|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC | |
| Base de consumo [Wh] | 20.559 | 8.759 | 2.445 | 12.889 | 8.600 | 5.800 | 1.862 | 60.914 |
| Total consumo nodos [Wh] | 22.034 | 8.960 | 2.445 | 13.458 | 8.600 | 5.800 | 1.965 | 63.263 |
| Total consumo core DCS [Wh] | 93.138 | | | | | | | |

Tabla 4.16: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G con instalación de nuevo BSC.

En ambos casos se obtienen consumos bastante similares. Sin embargo al instalar un nuevo nodo se esperaría tener un consumo mayor que aumentando η en los otros puesto que el escalar el hardware sin tener que necesariamente agregar otro nodo tiene la ventaja de no necesitar los equipos que deben agregarse a la red cada vez que esto ocurre. Este hecho podría incorporarse al modelo agregando el consumo de estos cada vez que se haga una nueva

instalación. De esta manera, se propone la siguiente forma general para un modelo nodal con varias ocurrencias en la red:

$$C_{total\ nodo}(t) = \sum_{i=1}^N C_{nodo_i}(t) + C_{\varepsilon} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Donde C_{ε} es el consumo de los equipos adicionales necesarios al instalar un nodo que se dejará planteado para trabajos futuros.

Finalmente, se entrega la proyección de consumo energético de la red *core* del DCS para el escenario de la instalación de un BSC y tres RNC puesto que instalar sólo dos de estos últimos y distribuir throughput implicaba cargar a un 95% cada uno de ellos, lo que dista bastante de la forma de actuar del Operador.

| | | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC |
|----------|--------------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Equipo 1 | Tráfico / ψ | 3.456 | 328 | - | 5.588 | - | - | 1 |
| | Capacidad | 4.651 | 400 | - | 9.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 74% | 82% | - | 62% | - | - | 881 |
| | Consumo | 2.157 | 2.164 | 489 | 2.055 | 2.150 | 1.450 | 1.423 |
| Equipo 2 | Tráfico / ψ | 1.724 | 410 | - | 6.606 | - | - | 1 |
| | Capacidad | 3.413 | 500 | - | 9.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 51% | 82% | - | 73% | - | - | 336 |
| | Consumo | 1.142 | 2.705 | 489 | 2.412 | 2.150 | 1.450 | 543 |
| Equipo 3 | Tráfico / ψ | 3.070 | 328 | - | 9.176 | - | - | - |
| | Capacidad | 4.965 | 400 | - | 18.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 62% | 82% | - | 51% | - | - | - |
| | Consumo | 1.935 | 2.164 | 489 | 3.310 | 2.150 | 1.450 | - |
| Equipo 4 | Tráfico / ψ | 2.584 | 328 | - | 10.260 | - | - | - |
| | Capacidad | 3.743 | 400 | - | 18.000 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 69% | 82% | - | 57% | - | - | - |
| | Consumo | 1.646 | 2.164 | 489 | 3.689 | 2.150 | 1.450 | - |
| Equipo 5 | Tráfico / ψ | 2.960 | 410 | - | 5.406 | - | - | - |
| | Capacidad | 4.215 | 500 | - | 12.200 | - | - | - |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 70% | 82% | - | 44% | - | - | - |
| | Consumo | 1.870 | 2.705 | 489 | 1.991 | - | - | - |

Tabla 4.17: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G y 3G, equipos 1 al 5.

| | | BSC | RNC | HLR | MGW | GGSN | SGSN | MSC | |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Equipo 6 | Tráfico / ψ | 2.676 | 410 | | | | | | |
| | Capacidad | 4.590 | 500 | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 58% | 82% | | | | | | |
| | Consumo | 1.701 | 2.705 | | | | | | |
| Equipo 7 | Tráfico / ψ | 3.281 | 410 | | | | | | |
| | Capacidad | 4.528 | 500 | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 72% | 82% | | | | | | |
| | Consumo | 2.061 | 2.705 | | | | | | |
| Equipo 8 | Tráfico / ψ | 3.666 | 410 | | | | | | |
| | Capacidad | 4.374 | 500 | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 84% | 82% | | | | | | |
| | Consumo | 2.290 | 2.705 | | | | | | |
| Equipo 9 | Tráfico / ψ | 2.532 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.590 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 55% | | | | | | | |
| | Consumo | 1.615 | | | | | | | |
| Equipo 10 | Tráfico / ψ | 2.534 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.622 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 55% | | | | | | | |
| | Consumo | 1.616 | | | | | | | |
| Equipo 11 | Tráfico / ψ | 3.006 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.555 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 66% | | | | | | | |
| | Consumo | 1.897 | | | | | | | |
| Equipo 12 | Tráfico / ψ | 3.357 | | | | | | | |
| | Capacidad | 4.590 | | | | | | | |
| | Factor de Uso / Tráfico Máximo | 73% | | | | | | | |
| | Consumo | 2.106 | | | | | | | |
| | | | | | | | | Total | |
| Base de consumo | | 20.561 | 19.569 | 2.445 | 12.889 | 8.600 | 5.800 | 1.862 | 71.726 |
| Total consumo nodos | | 22.036 | 20.018 | 2.445 | 13.458 | 8.600 | 5.800 | 1.965 | 71.698 |
| Total consumo core DCS | | 104.197 | | | | | | | |

Tabla 4.18: Proyección de consumo energético año 2010, caso 2G y 3G, equipos 6 al 12.

4.3.3 Desaprovechamiento de Recursos

Al comienzo de este capítulo se observó claramente la dependencia del tráfico con el tiempo durante un día, con variaciones muy significativas entre el día y la noche. El consumo de energía sigue la misma curva pero con variaciones muy leves, lo que es consistente con el 2,5% que representa su componente variable dentro del total. El punto más importante de esta situación es que durante el día se genera la mayor cantidad de tráfico y, por ende, de ingresos para el Operador con sólo un aumento marginal de consumo. En la noche el costo de mantener encendido el DCS es prácticamente el mismo y son ahora los ingresos los marginales.

Si se hace el ejercicio de estimar el gasto en dinero por concepto de la energía que consume el DCS, sólo por concepto del sector acotado que se estudió se llega a una suma aproximada de 38 [M\$/año]. Esto se vuelve más crítico si se agrega el consumo de los equipos correspondientes a VAS, que aportan con un gasto adicional de 126 [M\$/año].

En el gráfico 4.1 se observa claramente que al menos una cuarta parte del día prácticamente no se genera tráfico, por lo que algún plan que busque aumentarlo en este período para generar ingresos se cree podría ser una buena estrategia de compensación y, quizás, de generación de negocios.

Capítulo 5

Conclusiones

El trabajo realizado a lo largo de esta memoria tuvo dos objetivos principales muy relacionados por el enfoque que se le dio al estudio. Se quiso encontrar la relación existente en el consumo energético del *Data Center* que el operador de telefonía móvil Entel PCS mantiene en Santiago y el tráfico que cursa la red *core* del mismo. Esto fue motivado por la necesidad de proyectar el crecimiento del consumo en base a las estimaciones de demanda a las que año a año se ve enfrentado.

La metodología que luego se implementó permitió encontrar un modelo agregado de los distintos componentes de la red el que luego se refinó modelando sus nodos de forma desagregada, posibilitando el estudio del comportamiento individual y de la influencia que cada uno de ellos tenía en el marco global del *core*, pudiéndose determinar también el papel que tienen como entidad y como conjunto dentro del consumo de energía del mismo.

Con respecto al procesamiento de datos, se trabajó con un volumen enorme de ellos siendo necesaria la programación de funciones que permitieran parear los datos de una y otra variable para luego buscar el modelo que las relaciona utilizando un software que calculara las regresiones indicadas.

En el ámbito de los resultados obtenidos, se encontró una forma de representar el comportamiento variable del consumo energético. No obstante lo anterior, fue necesario incluir explícitamente parámetros que denotaran la incertidumbre producida por la falta de datos en algunos nodos, debido a la gran dificultad que se tuvo para acceder a cierta información y que terminó finalmente por exceder los plazos establecidos para esta memoria.

Por otro lado, quedó en evidencia la fortísima componente constante que domina este consumo energético, la que a su vez permitió mostrarle a la gerencia en la que se trabajó el consecuente desperdicio de recursos al no aprovecharlos durante la noche.

5.1 Trabajos Futuros

La situación que se describió en el párrafo anterior genera la interrogante obvia que es cómo aprovechar el sistema que debe estar en servicio las 24 horas. Se sugirió generar planes o *packs* de voz y/o datos que pudieran ser vendidos a los clientes en este período, de manera de generar ingresos sobre la infraestructura que a esa hora está plenamente disponible. Sin embargo esto escapa a los alcances de este trabajo por lo que el tema se deja planteado para un estudio posterior.

Con respecto a la proyección de consumo realizada para el año 2010, no se obtuvo el resultado esperado en el escenario propuesto por cuanto no se modelaron los equipos adicionales al nodo mismo, a ser: routers; servidores; sistemas de monitoreo, etcétera. Se propone encontrar el modelo de consumo de estos equipos para ajustar estos valores.

Se deja abierta la puerta también para modelar el MSC en una zona de baja movilidad de los clientes o bien en un nodo de prueba en condiciones controladas, a modo de eliminar este factor que pudiera introducir ruido en la medición. Asociado a esto, se propone el estudio de los parámetros desconocidos, tanto del MSC como del SGSN y GGSN para reducir, aunque no eliminar, parte de la incertidumbre asociada al modelo puesto que aún teniendo todos los datos ésta existiría, por cuanto viene dada principalmente por la proyección de demanda y también, si bien en menor medida, de la estimación hecha con los datos medidos.

Referencias

- [1] Valenzuela, Patricio, AMPS – DAMPS, material del curso EL65G, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, sin publicar, 2008.
- [2] Mishra, Ajay R., Advanced Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G, John Wiley & Sons, 2007.
- [3] Valenzuela, Patricio, GSM, material del curso EL65G, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, sin publicar, 2008.
- [4] GSM Association, Corporate Brochure, pág. 3, http://gsmworld.com/documents/gsm_brochure.pdf, 2008.
- [5] Valenzuela Patricio, 3ra Generación – WCDMA / UMTS, material del curso EL65G, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, sin publicar, 2008.
- [6] Valenzuela Patricio, 3.5G (HSDPA) – High Speed Downlink Packet Access, material del curso EL65G, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, sin publicar, 2008.
- [7] Schwartz, Mischa , Redes de Telecomunicaciones –Protocolos, modelado y análisis, Addison – Wesley Iberoamericana, 1994.
- [8] Hayes, Jeremiah F. – Ganesh Babu, Thimma V.J., Modeling and Analysis of Telecommunications Networks, John Wiley & Sons, 2004.
- [9] Valenzuela, Patricio, Planificación, material del curso EL65G, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, sin publicar, 2008.
- [10] <http://www.mobilein.com/ss7.htm>, consulta del 29 de mayo de 2009.
- [11] Rashid, Muhammad H, Power Electronics Handbook, Academic Press, 2001.
- [12] Ayçaguer H., Auger, Electrónica de Potencia – Sistemas de Rectificación, Guía de Clases, material del curso EM719, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, sin publicar, 2007.
- [13] Ericsson AB, WCDMA RNC 3180 Handbook, información confidencial, 2006.
- [14] National Semiconductor, *Switching Regulators*, <http://www.national.com/appinfo/power/files/f5.pdf>, consulta del 16-12-2009.
- [15] Entel PCS, Área de Construcción y Mantenimiento, Sub-Gerencia de Infraestructura, información interna.

A. Lista de Acrónimos

| | |
|----------|---|
| 2G | <i>Second Generation</i> |
| 3G | <i>Third Generation</i> |
| A | |
| AMC | <i>Adaptive Modulation and Coding</i> |
| AMPS | <i>American Mobile Phone System</i> |
| AUC | <i>Authentication Center</i> |
| B | |
| BSC | <i>Base Station Controller</i> |
| BSS | <i>Base Station Subsystem</i> |
| BTS | <i>Base Transceiver Station</i> |
| C | |
| CA | <i>Corriente Alterna</i> |
| CC | <i>Corriente Continua</i> |
| CDMA | <i>Code Division Multiple Access</i> |
| CEPT | <i>Conférence européenne des administrations des postes et des Télécommunications</i> |
| CN | <i>Core Network</i> |
| CS | <i>Circuit Switched</i> |
| D | |
| D-AMPS | <i>Digital AMPS</i> |
| DC | <i>Data Center</i> |
| DCS | <i>Data Center Santiago</i> |
| E | |
| EDGE | <i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i> |
| EIR | <i>Equipment Identity Register</i> |
| ENEC | <i>Emerson Network Energy Center</i> |
| F | |
| FACTS | <i>Flexible Alternating Current Transmission System</i> |
| FDD | <i>Frequency Division Duplex</i> |
| FDMA | <i>Frequency Division Multiple Access</i> |
| G | |
| GGSN | <i>Gateway GPRS Support Node</i> |
| GMSC | <i>Gateway Mobile Switching Center</i> |
| GPRS | <i>General Packet Radio Service</i> |
| GSM | <i>Global System for Mobile Communications</i> |

| | |
|----------|---|
| H | |
| HARQ | <i>Hybrid Automatic Repeat ReQuest</i> |
| HLR | <i>Home Location Register</i> |
| HSDPA | <i>High Speed Downlink Packet Access</i> |
| I | |
| IMEI | <i>International Mobile Equipment Identity</i> |
| IMSI | <i>International Mobile Subscriber Identity</i> |
| IP | <i>Internet Protocol</i> |
| IS | <i>Interim Standard</i> |
| M | |
| ME | <i>Mobile Equipment</i> |
| ME | <i>Mobile Equipment</i> |
| MGW | <i>Media Gateway</i> |
| MIMO | <i>Multiple Input Multiple Output</i> |
| MOU | <i>Minutes of Usage</i> |
| MS | <i>Mobile Station</i> |
| MSC | <i>Mobile Switching Center</i> |
| N | |
| NSS | <i>Network Switching Subsystem</i> |
| P | |
| PS | <i>Packet Switched</i> |
| PSTN | <i>Public Switched Telephone Network</i> |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i> |
| Q | |
| QAM | <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> |
| QoS | <i>Quality of Service</i> |
| QPSK | <i>Quadrature Phase-Shift Keying</i> |
| R | |
| RF | <i>Radio Frequency</i> |
| RNC | <i>Radio Network Controller</i> |
| S | |
| SCP | <i>Service Control Points</i> |
| SGSN | <i>Serving GPRS Support Node</i> |
| SIM | <i>Subscriber Identity Module</i> |
| SS7 | <i>Signaling System #7</i> |
| STP | <i>Signal Transfer Point</i> |
| T | |
| TDD | <i>Time Division Duplex</i> |
| TDMA | <i>Time Division Multiple Access</i> |

U

| | |
|-------|---|
| UE | <i>User Equipment</i> |
| UMTS | <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> |
| UPS | <i>Uninterruptible Power System</i> |
| USIM | <i>Universal Subscriber Identity Module</i> |
| UTRAN | <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> |

V

| | |
|------|----------------------------------|
| VAS | <i>Value Added Service</i> |
| VLR | <i>Visitor Location Register</i> |
| VoIP | <i>Voice over IP</i> |

W

| | |
|-------|---|
| WCDMA | <i>Wideband Code Division Multiple Access</i> |
|-------|---|

B. Power Allocation

B.1 HLR

HLR AXE810 SANTIAGO, HLR05

POWER ALLOCATION HLR

| SALA DE EQUIPOS | | | | | SALA DE ENERGIA | | | | | |
|-----------------|---|---------|--|---------|-----------------|----------|----------|---------|---------|----------|
| SISTEMA | BASTIDOR | DISP. | NIVEL | CABLE | FUENTE | BASTIDOR | DISTRIB. | BREAKER | CARGA | Nº CABLE |
| | | | | INTERNO | | | | | NOMINAL | |
| HLR05 | 01 APZ 212 33C APG40C 720W | | | | | | | | | |
| | | C-DEV 0 | NODE A/F*52: | D15/1 | 2 | 4 | 4 | 1 | 2,8 | 501 |
| | | C-DEV 1 | NODE B/F*52: | D15/2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2,8 | 502 |
| | | C-DEV 2 | S/C | D15/3 | 2 | 4 | 4 | 3 | S/C | 503 |
| | | C-DEV 3 | 03*06/16*11, 03*02/28*04: | D15/4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 1,66 | 504 |
| | | C-DEV 4 | 03*06/69*11, 03*02/57*04 | D15/5 | 2 | 4 | 4 | 5 | 1,66 | 505 |
| | | C-DEV 5 | 03*22/03*17, 03*22/03*12, 03*18/28*04 | D15/6 | 2 | 4 | 4 | 6 | 2,48 | 506 |
| | | C-DEV 6 | 03*22/81*17, 03*22/81*12, 03*18/57*04 | D15/7 | 2 | 4 | 4 | 7 | 2,48 | 507 |
| | | C-DEV 7 | 03*48/28*04, 03*42/03*12, 03*35/03*12 | D15/8 | 2 | 44 | 4 | 8 | 0,53 | 508 |
| C-DEV 8 | 03*48/57*04, 03*42/81*12, 03*35/81*12 | D15/9 | 2 | 4 | 4 | 9 | 0,53 | 509 | | |
| HLR05 | 102 ET4-1 63W | C-DEV 0 | 03*04/02*14, 03*18/28*03, 03*22/02*14 | D15/1 | 2 | 4 | 4 | 10 | 0,65W | 510 |
| | | C-DEV 1 | 03*04/82*14, 03*18/58*03, 03*22/82*14 | D15/2 | 2 | 4 | 4 | 11 | 0,65W | 511 |
| | | C-DEV 2 | 03*36/28*03, 03*40/02*14 | D15/3 | 2 | 4 | 4 | 12 | S/C | 512 |
| | | C-DEV 3 | 03*36/58*03, 03*40/82*14 | D15/4 | 2 | 4 | 4 | 13 | S/C | 513 |
| | ALD | | SALA DE OPERADORES (Panel de alarmas) | | 2 | 4 | 4 | 14 | 0,16 | 514 |

Tabla B.1: Power Allocation HLR.

B.2 SGSN y GGSN

| INFORMACION ENTREGADA POR SOLICITANTE | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------|-------|------------------|--|------------------|----------------|----------|------------------|--------|----------|----------|----------------|----|
| SISTEMA | BASTIDOR | DISP. | NIVEL | CABLE INTERNO | POTENCIA NOMINAL | CAPAC. BREAKER | Nº CABLE | FUENTE "A" O "B" | FUENTE | BASTIDOR | DISTRIB. | BREAKER NUMERO | |
| ERICSSON SGSN | 01 | 1450W | | | | | | | | | | | |
| | | | PDU1 A; 03*02/40 | A1:03*20/29*03;A2:03*40/29*03;A3:03*20/29*03; A6:03*48/03*40;A8:03*48/03*11;A10:03*28/03*40 | 1 | 650W | 30A | 1 | A | 6 | 15 | 621.1 | 11 |
| | | | PDU1 B; 03*02/75 | B6:03*28/03*11 ;B8:03*08/03*40;B10:03*08/03*11 | 2 | 350W | 30A | 2 | B | 6 | 15 | 622.1 | 11 |
| | | | PDU2 A; 03*00/40 | A1:03*60/57*03;A2:03*40/57*03;A3:03*20/57*03; A6:03*48/83*40;A8:03*48/83*11;A10:03*28/83*40 | 3 | 650W | 30A | 3 | A | 6 | 15 | 621.1 | 12 |
| | | | PDU2 B; 03*00/75 | B6:03*28/83*11 ;B8:03*08/83*40;B10:03*08/83*11 | 4 | 350W | 30A | 4 | B | 6 | 15 | 622.1 | 12 |

Tabla B.2: Power Allocation SGSN.

| INFORMACION ENTREGADA POR SOLICITANTE | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------|-------|--------------------------------|---------------|------------------|----------------|----------|------------------|--------|----------|----------|----------------|
| SISTEMA | BASTIDOR | DISP. | 2006 | CABLE INTERNO | POTENCIA NOMINAL | CAPAC. BREAKER | Nº CABLE | FUENTE "A" O "B" | FUENTE | BASTIDOR | DISTRIB. | BREAKER NUMERO |
| GGSN 2150 W | Modulo A | 1 | 03*06 / PEM - 0 (Back cabinet) | 1 | 1075W | 60A | 1 | A | 3 | 18 | 332.1 | 1 |
| | Fila B | 2 | 03*06 / PEM - 1 (Back cabinet) | 2 | 1075W | 60A | 2 | B | 3 | 19 | 332.2 | 1 |
| | Rack 3 | | | | | | | | | | | |

Tabla B.3: Power Allocation GGSN.

C. Consumo Energético HLR en un Mes

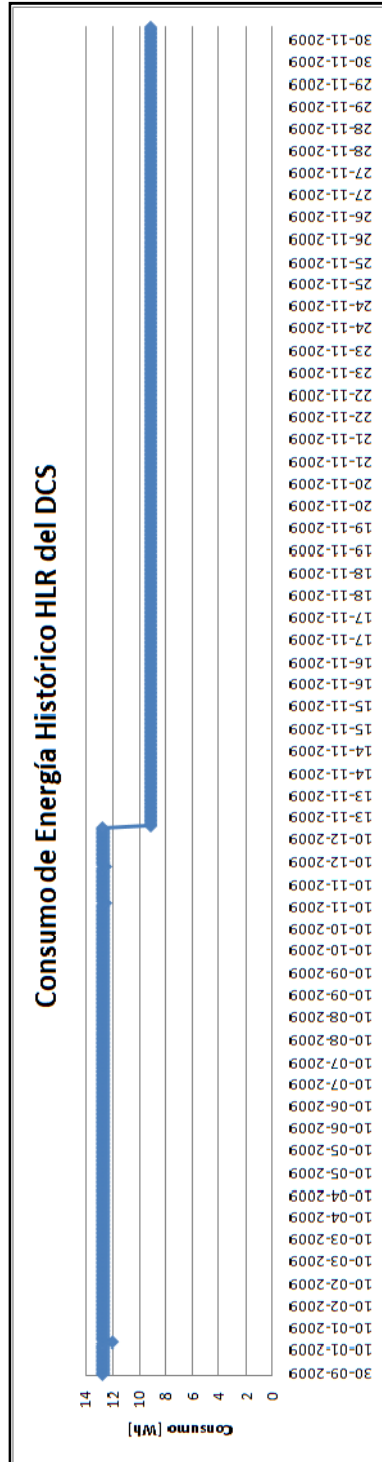


Gráfico C.1: Consumo energético HLR entre el 30 de sept. y el 30 de oct de 2009.

D. Costo de la Energía

Considérese el siguiente consumo de energía correspondiente a los equipos VAS:

| Potencia VAS 2009 | | | |
|------------------------|---------------------|---------|---------|
| | R [kVA] | S [kVA] | T [kVA] |
| UPS1 | 10,32 | 12,3 | 12,2 |
| UPS2 | 10,44 | 13,44 | 8,39 |
| UPS3 | 19,75 | 21,5 | 23,59 |
| UPS4 | 19,87 | 19,57 | 16,34 |
| UPS5 | 1,46 | 0,96 | 0,59 |
| UPS6 | 1,59 | 0,75 | 0,31 |
| UPS7 | 21,98 | 22,36 | 20,14 |
| UPS8 | 19,11 | 18,74 | 17,34 |
| Total por fase | 104,52 | 109,62 | 98,9 |
| Total trifásica | 313,04 [kVA] | | |

Tabla D.1: Potencia promedio equipos VAS.

Se muestra a continuación una tabla con el cálculo del costo de la energía presentada en la tabla D.1 y de la base de consumo de la red *core* del DCS obtenida en la sección 4.2.1:

| | \$/kWh | horas/día | días/año |
|----------|---------------|-----------|----------------|
| | 50 | 24 | 365 |
| | Potencia [kW] | | \$/año |
| VAS | 287,997 | | \$ 126.142.598 |
| Core DCS | 87,388 | | \$ 38.275.944 |

Tabla D.2: Costo de la energía consumida por el *core* del DCS y los equipos VAS.