

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL TRÁFICO EFECTIVO DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR CDMA

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Especialista en
Telecomunicaciones Digitales
Por el Ing. Angulo Sánchez, Arnaldo David

Caracas, Diciembre 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL TRÁFICO EFECTIVO DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR CDMA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Zeldivar Bruzual

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Especialista en
Telecomunicaciones Digitales

Por el Ing. Angulo Sánchez, Arnaldo David

Caracas, Diciembre 2007

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería para examinar el Trabajo Especial presentado por el Ing. **Arnaldo D. Angulo Sánchez** Cédula de Identidad número **V-13.780.437**, y titulado **“LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL TRÁFICO EFECTIVO DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR CDMA”**, a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al título de **ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES DIGITALES**, dan fe de lo siguiente:

1. Una vez leído como fue, dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, el coordinador del jurado convocó para efectuar la defensa en forma pública el día jueves veintinueve de noviembre de dos mil siete, a las 12:00 m., en el Aula 310 de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería.
2. La defensa comenzó a las 12:15 p.m. en el sitio y fecha antes señalados. El aspirante hizo un resumen oral de su Trabajo Especial, luego de lo cual respondió satisfactoriamente las preguntas que le fueron formuladas por el Jurado, todo ello conforme a lo dispuesto en el artículo 44 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad Central de Venezuela.
3. Finalizada la defensa pública, el jurado deliberó en privado y por unanimidad decidió **APROBAR** el Trabajo por considerar, sin hacerse solidario de las ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento antes citado. Para dar este veredicto, el Jurado consideró que el trabajo se considera que es un aporte para la gestión preactiva y mejora del tráfico efectivo en las centrales de telefonía móvil celular.

En fé de lo cual se levanta la presente acta, en original y tres copias, en Caracas, a los veintinueve días del mes de noviembre de dos mil siete, dejándose constancia que conforme a la normativa jurídica vigente, actuó como coordinador del jurado, el Profesor **Zeldivar Bruzual** tutor del trabajo.



Ing. Dan El Montoya (M.Sc.)



Lic. Ana Belén Franco (Esp.)



Ing. Zeldivar Bruzual (M.Sc.)

Autor: Angulo S. Arnaldo D.
Título: Especialista en Telecomunicaciones Digitales
Universidad: Universidad Central de Venezuela
Tutor Académico o Profesor Guía: Prof. Zeldivar Bruzual
Opción: Departamento de Telecomunicaciones

RESUMEN

Resumen: el objetivo fundamental de este trabajo es la aplicación de metodología Seis Sigma para lograr el aumento del tráfico efectivo de una red de telefonía móvil celular basada en la tecnología CDMA. Para ello se aplica Seis Sigma en cuatro de sus cinco fases: Definición y Medición, Análisis, Experimentación e Implementación y Mejora y Control. Un análisis básico del funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones móviles basado en CDMA y un estudio detallado del proceso de relevo suave se realiza para entender los conceptos de tráfico primario y secundario. Gracias al solapamiento entre las distintas radiobases que conforman el sistema CDMA, el relevo suave permite a la estación móvil establecer comunicación con más de una radiobase a la vez, proporcionando una ventaja muy importante ya que se puede obtener una señal más robusta proveniente de la suma de las señales involucradas. Sin embargo, esto hace que inevitablemente se utilicen varios recursos del sistema para transmitir la misma información, y de allí el concepto de tráfico secundario. A partir de este punto, nace la necesidad de controlar el área de solapamiento entre la radiobases y una buena optimización de los parámetros de relevo suave se hace imprescindible. A través de la metodología Seis Sigma se realiza un estudio de las variables que afectan el tráfico primario y secundario y se implementan acciones, principalmente ajustes de parámetros de relevo suave, para lograr un aumento de aproximadamente 5 puntos porcentuales en el tráfico primario de un central de telefonía móvil celular CDMA. La metodología Seis Sigma es una herramienta muy valiosa para mejorar la calidad de los procesos y permite enfocar los esfuerzos sobre aquellas variables críticas que más afectan el buen desempeño de los sistemas.

Palabras Claves: CDMA, Seis Sigma, Trafico Efectivo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	vii
OBJETIVO GENERAL	iviii
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ix
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
1.1.- INTRODUCCIÓN	1
1.2.- Planteamiento del Problema:	2
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS DE CDMA	4
2.1.- CDMA en un Sistema de Comunicaciones Móviles	4
2.2.- Fundamentos de CDMA	5
2.2.1.- Códigos en CDMA	8
2.2.2.- Canales físicos en CDMA	9
2.2.3.- Relevo suave en CDMA	10
2.2.4.- Tipos de relevos en CDMA	13
2.3.- Proceso de relevo suave en CDMA	14
2.3.1.- Relevo suave mejorado (CDMA Soft Handoff Enhancement)	17
2.3.2.- Relevo suave para IS-95B (IS95-B Soft Handoff)	18
CAPÍTULO III SEIS SIGMA	23
3.1.- EL SIGNIFICADO DE SEIS SIGMA	23
3.2.- HISTORIA DE SEIS SIGMA	25
3.3.- LA ESTRATEGIA Y MÉTODO SEIS SIGMA	26
3.4.- ¿Como se determina el nivel de Sigma?	29
3.5.- Elementos Clave	31
3.6.- Los seis principios de Seis Sigma	32
3.7.- Diferencias entre calidad total Vs calidad Seis Sigma	33
CAPÍTULO IV ANÁLISIS SEIS SIGMA Y TRAFICO EFECTIVO EN CDMA	36
4.1.- Primera fase: Definición y Medición	36
4.1.1.- Capacidad del Proceso	37
4.1.2.- Diagrama de Causa-Efecto o Espina de Pescado	39
4.1.3.- Diagrama de Pareto	41
4.2.- Segunda Fase: Análisis	45
4.2.1.- Correlación	45
4.2.2.- Pruebas de Hipótesis	46
4.3.- Tercera Fase: Mejora e Implementación	53
4.3.1.- Potencia en los canales de control y señalización:	53
4.3.2.- Parámetros de T_ADD y T_DROP	54
4.3.3.- Relevo Suave Mejorado	54
4.3.4.- Relevo Suave para IS-95B	55
4.3.4.1.- Diseño de Experimento 1 (DOE 1)	56
4.3.4.2.- Diseño de Experimento 2 (DOE 2)	60
4.3.4.3.- Diseño de Experimento 3 (DOE 3)	64

4.4.4.4.- Resultados.....	67
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
CAPÍTULO 6 MATERIALES DE REFERENCIA.....	71
6.1.- Anexos	71
6.2.- Bibliografía	71

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Procesamiento señal CDMA	6
Figura 2. Características de una señal CDMA	7
Figura 3. Uso de códigos en CDMA.....	9
Figura 4. Canales en CDMA.....	10
Figura 5. Receptor Rastrillo en Relevo Suave en enlace de bajada.....	12
Figura 6. Receptor Rastrillo en Relevo Suave en enlace de subida.....	12
Figura 7. Diagrama de valores de Add/Drop en el relevo suave para IS-95B	21
Figura 8. Estados de un piloto durante un relevo suave para IS-95B	21
Tabla 9. Parámetros en relevo suave para IS-85B.	22
Tabla 10. Niveles De Desempeño En Sigma	24
Figura 11. Capacidad a tres sigmas.....	26
Figura 12. Fases en Seis Sigma.....	29
Tabla 13. Calidad Tradicional Vs Calidad Seis Sigma	34
Figura 14. Histórico de %TE de la central 1	37
Figura 15. Capacidad del proceso, tráfico en efectivo.....	38
Figura 16. Diagrama de Causa-Efecto o espina de pescado	40
Figura 17. Diagrama de Pareto para % TE por celda.....	42
Figura 18. Diagrama de Pareto para tráfico secundario por celda	43
Figura 19. Prueba de hipótesis en %TE con atenuación de potencia del canal piloto	48
Figura 20. Prueba de hipótesis en %TE con disminución de valores de Tadd y Tdrop.	49
Figura 21. Prueba de hipótesis en %TE con activación de relevo suave mejorado.	50
Figura 22. Prueba de hipótesis en %TE con activación de relevo suave para IS-95B.	52
Figura 23. Prueba de hipótesis en llamadas caídas con activación de relevo suave para IS-95B.	52
Tabla 24. Variación de parámetros en relevo suave para IS-95B	56
Tabla 25. Parámetros aplicados al DOE1	57

Figura 26. Gráfico de efectos principales del DOE1 para %TE	58
Figura 27. Gráfico del cubo del DOE1 para %TE	59
Figura 28. Gráfico de efectos principales del DOE1 para llamadas caídas	60
Tabla 29. Parámetros aplicados al DOE2	60
Figura 30. Gráfico del cubo del DOE 2 para %TE	61
Figura 31. Llamadas caídas Vs aplicación de DOE2.....	62
Figura 32. Gráfico de efectos principales del DOE2 para llamadas caídas	63
Figura 33. Pareto de Efectos Estandarizados del DOE2 para llamadas caídas	63
Figura 34. Pareto de Efectos Estandarizados del DOE2 para %TE	64
Tabla 34. Parámetros aplicados al DOE3	65
Figura 35. Gráfico del cubo del DOE 3 para %TE	66
Figura 36. Gráfico del cubo del DOE 3 para llamadas caídas	66
Figura 37. Resultados de %TE con la aplicación de los DOE	67

OBJETIVO GENERAL

Aumentar 5 puntos el porcentaje de Tráfico Efectivo de una central de telefonía móvil celular basada en la tecnología CDMA (Acceso Múltiple en el Dominio del Código), aplicando la metodología Seis Sigma.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

(a) Estudiar y aplicar la metodología Seis Sigma en conjunto con las herramientas y procedimientos establecidos en la misma.

(b) Estudiar y analizar la interfaz de aire CDMA entre una radio base y el móvil.

(c) Estudiar y analizar el proceso de relevo suave en una red CDMA y los parámetros que intervienen.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1.- INTRODUCCIÓN

Seis Sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón. Adicionalmente, otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y más importante aún, efectos dramáticos en el desempeño financiero de la organización [7].

Seis Sigma no sólo es una metodología que aplique al mundo de la manufactura, esta metodología se puede aplicar a las áreas de Tecnología de la información y cualquier otra y esto hará que se ahorren costos y que se mejore la calidad de los servicios y se propicie la mejora continua.

Esta filosofía se inicia en los años 80's como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad, introducida por Motorola, la cual ha sido ampliamente difundida y adoptada por otras empresas de clase mundial, tales como: G.E., Allied Signal, Sony, Polaroid, Dow Chemical, FedEx, Dupont, NASA, Lockheed, Bombardier, Toshiba, J&J, Ford, ABB, Black & Decker, etc. [7]

Su aplicación requiere del uso intensivo de herramientas y metodologías estadísticas (en su mayoría) para eliminar la variabilidad de los procesos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente. Esto contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad, al inspeccionar post-mortem y tratar de corregir los defectos, una vez producidos.

A pesar de su origen en manufactura, Seis Sigma no es acerca de artículos de manufactura; el enfoque es al proceso. Cuando se aplica Seis Sigma en el mundo de las Telecomunicaciones, se ayuda a medir y mejorar. El análisis de las tendencias de Seis Sigma empieza con la formulación de un problema.

1.2.- Planteamiento del Problema:

Un problema nace cuando en una red de telefonía celular basada en la tecnología de Múltiple Acceso por División de Códigos, CDMA (Code División Multiple Access) se encuentra que el Porcentaje de Tráfico Efectivo (%TE) de la misma está por debajo de los niveles establecidos. El concepto de %TE nace del Factor de Reuso Celular que se aplica a las telecomunicaciones móviles.

Debido a las características de las señales de un sistema CDMA, es posible usar las mismas portadoras en todas las celdas y sectores del sistema, en lo que se conoce como Factor Universal de Reuso. Esto trae importantes ventajas:

- (a) mejora la eficiencia espectral
- (b) facilita la expansión del sistema
- (c) facilita la instalación de microceldas y celdas temporales.
- (d) Posibilita el relevo suave de llamadas entre celdas.

La desventaja del Reuso Universal es que la interferencia entre celdas es mayor, lo cual afecta la capacidad de las mismas y ocasionan que haya elevado grado de interacción entre celdas vecinas.

En este proyecto se pretende aplicar la metodología Seis Sigma para empezar a buscar los problemas que causan un bajo %TE en la red y convertirlos en problemas prácticos basados en hechos usando “ $Y=f(x_1, \dots, x_n)$ ” una ecuación que refuerza la filosofía de Seis Sigma. Esta ecuación reconoce el hecho que los resultados (Y's) no

son directamente controlables, pero son el resultado de factores de bajo nivel, las x's, que son al menos potencialmente controlables por acciones que la organización puede tomar. En la práctica algunas x's con "variables de ruido" que no son controlables (factores como la topografía del terreno, días de la semana, etc.) y otras que son controlables. Entre las x's controlables hay típicamente "críticos escasos" que son mucho más importantes que el "muchos insignificantes". Esta simple pero poderosa idea es el corazón de las mejoras de Seis Sigma, y trabaja en cada dominio de la actividad del negocio [7].

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS DE CDMA

2.1.- CDMA en un Sistema de Comunicaciones Móviles

En los últimos años los servicios móviles han representado el segmento de más rápido crecimiento de todo el sector de las telecomunicaciones. Este crecimiento, es debido, fundamentalmente, al auge experimentado por la telefonía celular digital que permite a sus usuarios en todo el mundo la posibilidad de generar y recibir llamadas mientras se desplazan de un lugar a otro. La movilidad se ha convertido por tanto en aspecto clave sobre el cual se apoyan los fuertes índices de crecimiento de la telefonía móvil en general. Los sistemas de radiocomunicaciones, y en especial la telefonía móvil, se han convertido en una de las fuerzas motrices más importantes de la industria y los servicios de telecomunicación hoy en día.

En Estados Unidos fue desarrollado un sistema que utiliza la técnica de Acceso Múltiple en el Dominio del Código CDMA (Code Division Multiple Access) con modulación por Secuencia Directa DS (Direct Sequence) de espectro ensanchado. Las primeras aplicaciones de las señales de espectro ensanchado tuvieron lugar en sistemas de comunicaciones militares de alta seguridad. En el sistema CDMA se superpone a la información digital transmitida por cada usuario un código que le es propio, denominado código de ensanchamiento. Las transmisiones de todos los usuarios se realizan en la misma banda de frecuencia durante todo el tiempo. Las señales de espectro expandido están caracterizadas por el uso de un gran ancho de banda que es mayor que el mínimo necesario para la transmisión de datos. El ensanchamiento espectral se consigue con el código de ensanchamiento específico para cada usuario que es independiente del mensaje y es conocido en el receptor. A cada receptor llegan todas las señales presentes en un momento dado. Sin embargo, cada usuario, utilizando su código de ensanchamiento, puede recuperar la

información destinada a él y eliminar las demás. La gran redundancia de las señales de espectro ensanchado es necesaria para combatir la interferencia causada por la naturaleza del canal, las distorsiones provenientes de otros sistemas y la interferencia proveniente del acceso múltiple de los usuarios. La utilización de códigos de ensanchamiento hace irreconocible la información transmitida para un posible captador de la señal que desconozca el código, por ello estos sistemas se utilizan en comunicaciones militares [10].

2.2.- Fundamentos de CDMA

En CDMA, todos los usuarios dentro de una celda o radiobase transmiten al mismo tiempo y sobre los mismos recursos de frecuencia, es decir, todos coexisten conjuntamente dentro de la misma banda y al mismo tiempo, generando interferencia entre sí. Sin embargo, debido a que están ensanchados por el uso de diferentes códigos de canalización en el transmisor, al reproducir simplemente estos códigos, el receptor es capaz de separarlos y reducir significativamente la autointerferencia. Esto se debe al hecho de que las señales de los diferentes usuarios tienen muy poca correlación estadística. El hecho de que hay un uso compartido de los recursos hace posible mejorar la eficiencia espectral y por lo tanto, la capacidad de estos sistemas es superior con respecto a otros basados en TDMA.

La figura 1 muestra los procesos involucrados en la generación de una señal CDMA. Los procesos desplegados incluyen codificación de canal, entrelazado, ensanchamiento directo, conformación de pulsos y modulación.

Las características de las señales CDMA utilizadas para los estándares IS-95 y CDMA2000 1xRTT se pueden observar en la figura 2 y se resumen a continuación:

- (a) Ancho de banda de las señal de 1.25 MHz

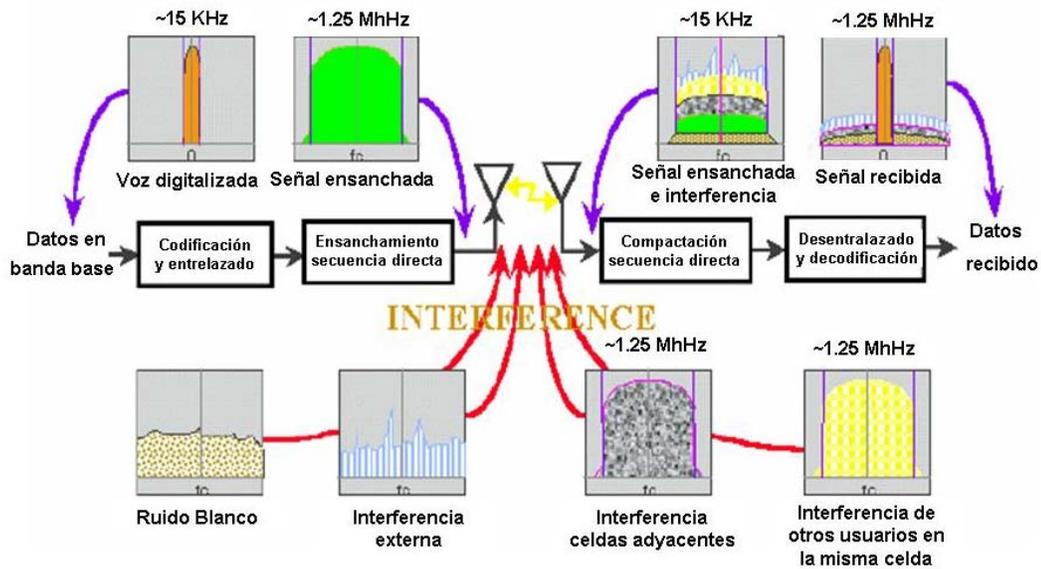


Figura 1. Procesamiento señal CDMA

- (b) Factor universal de reuso, es decir, la misma frecuencia o portadora se puede utilizar en todas la radio bases. Esto se debe a la alta tolerancia de CDMA a la interferencia.
- (c) Vocoders de tasa variable permiten transmitir una tasa efectiva de información que depende del nivel de actividad de voz, lo cual reduce la interferencia.
- (d) Receptor rastrillo es una tecnología que consiste en un banco de detectores conectados en paralelo. Es una forma efectiva de combatir el multitrayecto.
- (e) La capacidad de CDMA es suave, lo cual significa que es variable pues depende de diversas condiciones de operación.
- (f) Relevo suave, también conocido como relevo “make-before-break”, permite aumentar la cobertura y mejorar la confiabilidad de una conexión CDMA.
- (g) A diferencia de otros sistemas, la seguridad en CDMA está garantizada a través de procesamiento de la señal en la capa física del sistema, y no a través de un algoritmo de encriptamiento aparte como en otros sistemas.



Figura 2. Características de una señal CDMA

El receptor rastrillo presente en cada móvil que funciona con la tecnología CDMA, está en capacidad de detectar desde 3 y hasta 6 componentes de las señales que llegan a la antena del móvil dentro de un intervalo de tiempo. El receptor rastrillo es una forma de diversidad temporal que explota positivamente la propagación multitrayecto, proveyendo robustez al proceso de transmisión de radio. Gracias a este receptor, el móvil puede desmodular simultáneamente las distintas componentes de una señal proveniente de una misma celda pero que llegan al móvil en distintos instantes de tiempo debido al multitrayecto, o desmodular distintas señales provenientes de distintas radiobases.

Una de las ventajas de los sistemas basados en CDMA, es que debido al escaso requerimiento de relación señal a ruido y al receptor rastrillo, es posible usar las mismas portadoras en todas las celdas y sectores del sistema, en lo que se conoce como Factor Universal de Reuso [3]. Esto trae tres importantes ventajas:

- a.- Mejora la eficiencia espectral
- b.- Facilita la expansión del sistema
- c.- Posibilita el relevo suave de llamadas entre celdas

La desventaja del Reuso Universal es que la interferencia entre celdas es mayor, y esto afecta la capacidad de las mismas y ocasiona que haya un elevado grado de interacción entre celdas vecinas cuando no hay un control adecuado en el solapamiento de las radiobases. Es por esto que en los sistemas CDMA las labores de radio frecuencia en cuanto a planificación y optimización se transforma en un cuidadoso control de las señales de las distintas radiobases a través de una buena selección y orientación de antenas y a través de las funcionalidades que ofrezca el sistema a nivel de interfaz de aire celda-móvil.

2.2.1.- Códigos en CDMA

En CDMA se usan 2 tipos de códigos (o secuencias binarias) para ensanchamiento y/o enmascaramiento de las señales. Los códigos ortogonales Walsh, los cuales tienen propiedades interesantes en términos de reducción de interferencia entre usuarios. Y los códigos pseudoaleatorios, llamados comúnmente códigos PN, de los cuales existen dos y se denominan código PN corto y código PN Largo.

Los códigos de Walsh se utilizan en el enlace de bajada (comunicación de la celda hacia el móvil) para identificación de usuarios y definen los canales físicos de las celdas, mientras que en el enlace de subida (comunicación desde el móvil a la celda), los códigos de Walsh no son utilizados.

El código PN corto, cumple la función de identificación de celdas en el enlace de bajada, mientras que en el enlace de subida no cumple ninguna función.

Por último, el código PN largo es utilizado en el enlace de bajada para sincronismo y privacidad de la señal. En el enlace de subida, aparte de cumplir las mismas funciones que en el enlace de bajada, se agrega la de identificación de los usuarios. En la figura 3 se observa gráficamente como se utilizan los distintos códigos en CDMA.

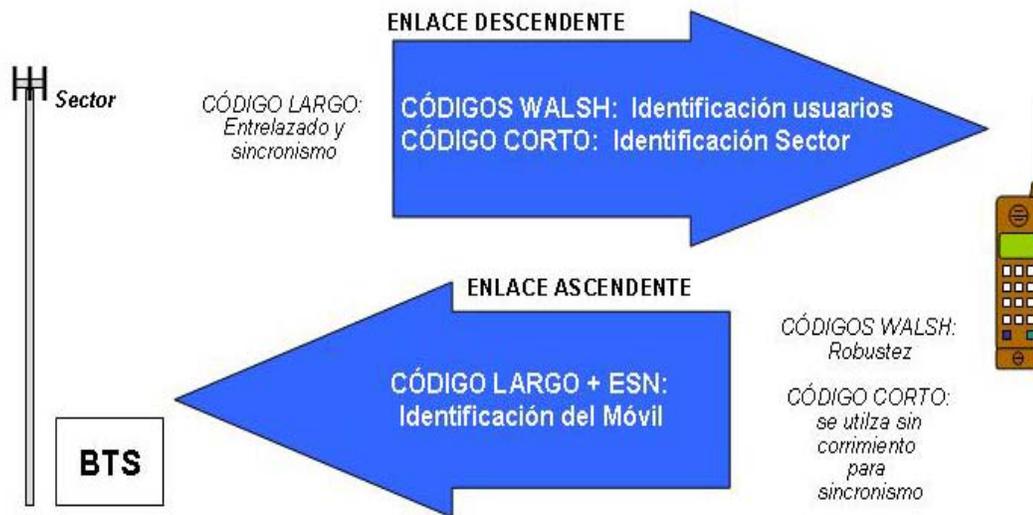


Figura 3. Uso de códigos en CDMA.

2.2.2.- Canales físicos en CDMA

Los canales físicos en CDMA pueden ser comunes o dedicados y pertenecen al enlace de subida o al enlace de bajada, ver figura 4.

El canal piloto permite a las estaciones bases sincronizar su código PN corto con el de la estación móvil durante la etapa de inicialización y le permite mantener su sincronismo una vez que la comunicación se ha iniciado. El canal piloto también se utiliza para determinar la intensidad y calidad de la señal CDMA y por lo tanto sirve para identificar los límites de cobertura. Este es utilizado en el enlace de bajada.

El canal de sincronismo es usado por el móvil para sincronizar su código PN largo con el de la estación base y se utiliza en el enlace de bajada

El canal de localización (paging) lleva mensajes de control de todo tipo, únicamente en el enlace de bajada.

El canal de acceso permite al móvil acceder el sistema para iniciar una llamada, responder a un mensaje de la estación base y para registrarse. Este canal pertenece al enlace de subida.

Los canales de tráfico llevan las tramas de voz y mensajes de control durante una conversación, y por lo tanto es utilizado tanto en el enlace de bajada como en el de subida.

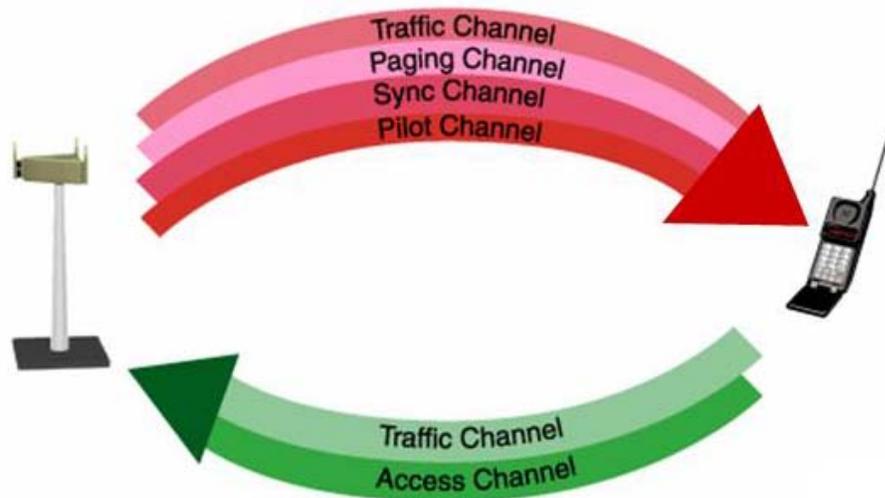


Figura 4. Canales en CDMA

2.2.3.- Relevo suave en CDMA

El relevo suave es posible gracias al factor universal de reuso de CDMA que permite a ambas celdas operar en la misma frecuencia. El dispositivo que posibilita la implementación del relevo suave en el móvil es el receptor rastriero.

El relevo suave es un proceso asistido por el móvil, el cual está continuamente midiendo las potencias de los pilotos cercanos a su posición. Las mediciones se hacen a través de uno de los detectores del rastriero que se dedica únicamente a este fin y es llamado detector buscador. Los resultados de estas mediciones son reportados (vía

señalización de alto nivel) a la central, que es la unidad encargada de tomar las decisiones relativas al relevo suave.

El relevo suave trae importantes ventajas:

(a) Mayor calidad y confiabilidad en la señal gracias a la diversidad que representa el proceso.

(b) Extensión del radio de cobertura de las celdas en zonas difíciles en las cuales una sola radiobase por sí sola sería incapaz de proporcionar cobertura adecuada.

El relevo suave tiene una desventaja sustancial que es la disminución de la capacidad en el enlace de bajada. Por ello debe controlarse la cantidad de móviles en relevo suave en una celda.

En relevo suave, los dedos del receptor rastrillo se asignan a componentes originados en celdas/sectores distintos (diferentes transmisores CDMA que envían la misma información). Esto se logra a través del ajuste de los códigos de compactación usados en los distintos receptores. Cada señal proveniente de celdas/sectores distintos lleva la identificación de ese sector que son los códigos de PN.

En CDMA, las estaciones bases están sincronizadas. Este hecho les permite ser identificadas mediante el uso de desplazamientos (retardos) en sus secuencias PN de ensanchamiento.

Como se muestra en la figura 5, la celda A emplea un retardo identificativo de TA, mientras que la celda B usa un retardo TB. Cada uno de los dedos del rastrillo se asocia a cada una de estas celdas. El primero de ellos usa una secuencia de compactación local retardada en $TA + T1$ a fin de alinearla con la señal proveniente de celda A. Similarmente, el segundo dedo usa un retardo local de $TB + T2$.

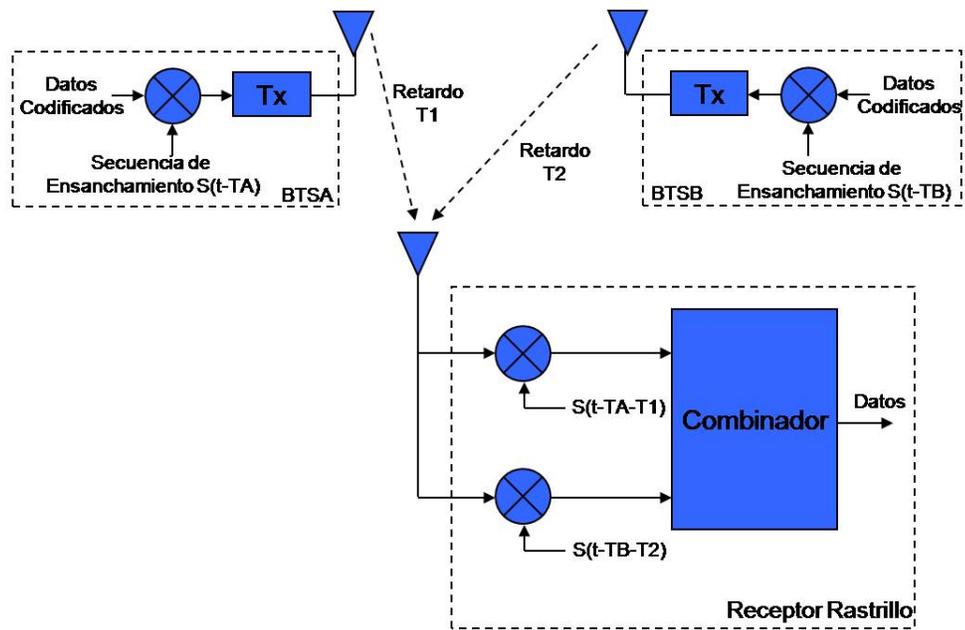


Figura 5. Receptor Rastrillo en Relievo Suave en enlace de bajada

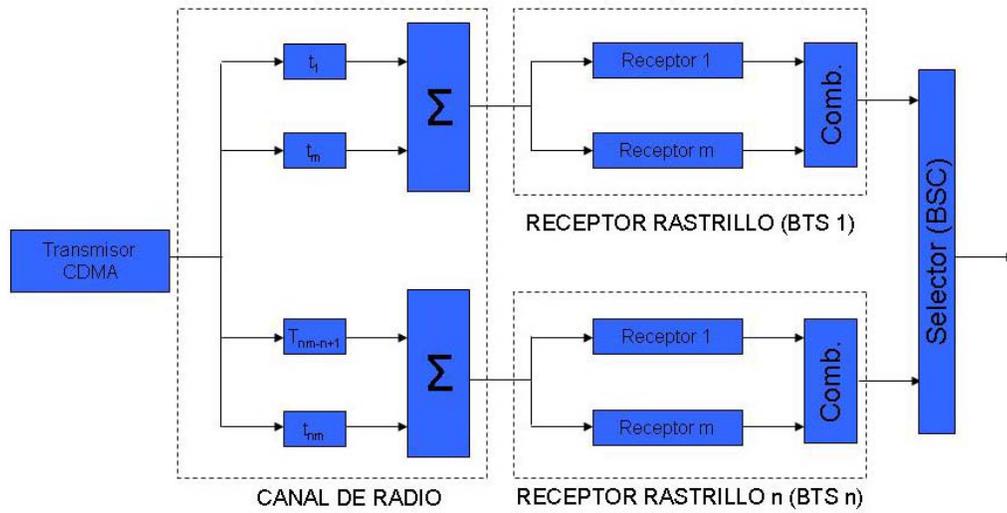


Figura 6. Receptor Rastrillo en Relievo Suave en enlace de subida

En el enlace de subida, el relievo suave se implementa de manera distinta que en el de bajada, puesto que existe un solo transmisor y varios receptores.

Cada celda (independientemente de cuantos sectores estén involucrados en el relevo suave) realiza una combinación de los datos receptores y genera una versión de la señal digital, que es enviada a la central, ver figura 6.

Si hay más de una celda involucrada en el relevo suave la central selecciona la mejor versión de cada tramo en función del examen de sus códigos de paridad (a fin de detectar si hubo o no errores en cada versión). Así el proceso se completa en 2 etapas: combinación y selección.

2.2.4.- Tipos de relevos en CDMA

El sistema CDMA define diferentes tipos de relevo que se explican a continuación.

El primero es el relevo suave. Durante el relevo, un móvil mantiene, simultáneamente, conexión con dos o tres estaciones base. Cuando el móvil se mueve de su celda actual (fuente) a la siguiente celda (objetivo), siempre se mantiene una conexión de canal de tráfico con ambas celdas. En el enlace de bajada, el móvil usa el receptor rastrillo para desmodular dos señales separadas de dos estaciones base diferentes. Las dos señales se combinan para obtener una señal compuesta de mejor calidad. En el enlace de subida, la señal que transmite el móvil se recibe por ambas estaciones base. Las dos celdas desmodulan la señal por separado y envían las tramas desmoduladas al centro de conmutación móvil (MSC, “mobile switching center”). El MSC contiene un selector que obtiene la mejor trama de las dos.

El segundo es el relevo suave interno. Este tipo de relevo ocurre cuando un móvil hace una transición entre dos sectores de la misma celda. En el enlace de bajada, el móvil mejora la combinación de las señales que en el proceso de relevo suave. En este caso, el móvil usa su receptor múltiple para combinar las señales recibidas de los dos sectores. En el enlace de subida, sin embargo, dos sectores de la

misma celda reciben simultáneamente las dos señales del móvil. Estas señales son desmoduladas y combinadas dentro de la celda de tal forma que únicamente se envía una trama al MSC.

El tercero es el relevo duro o fuerte. El sistema CDMA hace dos tipos de relevos fuertes. Un relevo fuerte CDMA-a-CDMA ocurre cuando el móvil hace una transición entre dos portadoras CDMA (por ejemplo, dos canales de espectro esparcido que están centrados en diferentes frecuencias). Este relevo fuerte ocurre también cuando el móvil hace una transición entre dos sistemas diferentes de operadores. Al relevo fuerte CDMA-a-CDMA también se le llama relevo D-a-D. Y el relevo fuerte CDMA-a-analógico ocurre cuando una llamada CDMA se transfiere a una red analógica. Esto puede ocurrir cuando el móvil viaja en un área donde hay servicio analógico pero no hay servicio CDMA. El relevo CDMA-a-analógico se le llama relevo D-a-A.

2.3.- Proceso de relevo suave en CDMA

Antes de describir el proceso de relevo suave en detalle, es importante notar que cada sector en un sistema CDMA se distingue de cualquier otro por su canal piloto. El canal piloto es uno de los cuatro canales (piloto, paging o localización, sincronismo y tráfico) en el enlace de bajada. El canal piloto sirve como un faro para el sector y ayuda al móvil a adquirir otros canales lógicos del sector. El piloto no contiene información más que el código corto PN (“Pseudo Noise” o de pseudo ruido).

Se usa un término especial para describir la SNR del canal de piloto: energía por chip por densidad de interferencia, o E_c/I_o . La energía por chip E_c/I_o es diferente de la energía por bit E_b en que chips se refiere a los bits en las secuencias esparcidas PN. Dado que no hay información en banda base contenida en el canal de piloto, el piloto no pasa por el proceso opuesto al esparcimiento y estos bits no se recobran.

El móvil constantemente notifica a la estación base las condiciones de la propagación local; la estación base hace uso de esta información para tomar decisiones sobre el relevo. Este relevo asistido por el móvil (MAHO, “mobile-assisted handoff”) actúa cuando el móvil toma una medida del Ec/Io del enlace de bajada y reporta el resultado de la medida a la estación base. Dado que cada estación base transmite su propio piloto en un diferente “offset” PN, el Ec/Io de un piloto da una buena indicación de si un sector en particular puede o no ser el sector más apropiado para servir al móvil.

En el manejo del proceso de relevo, el móvil mantiene en su memoria cuatro listas que se excluyen entre sí y están compuestas por los sectores de las estaciones base. A estas listas también se les llama conjuntos y se describen como conjunto activo (“active”), conjunto candidato (“candidate”), conjunto vecino (“neighbor”), y conjunto residuo (“remaining”).

El conjunto activo contiene los pilotos de aquellos sectores que se están comunicando con el móvil en los canales de tráfico. Si el conjunto activo contiene únicamente un piloto, entonces el móvil no está en relevo suave. Si el conjunto activo contiene más de un piloto, entonces el móvil mantiene la conexión con todos esos sectores en canales de tráfico separados. La estación base controla esencialmente el proceso de relevo porque se puede agregar únicamente un piloto al conjunto activo si la estación base envía un mensaje de dirección de relevo (“handoff direction message”) al móvil y el mensaje contiene el piloto en particular que se va a agregar al conjunto activo. El conjunto activo puede contener a lo más seis pilotos.

El conjunto candidato contiene aquellos pilotos cuyos Ec/Io son suficientes para hacerlos candidatos de relevo. Esto significa que si el Ec/Io de un piloto en particular es más grande que el umbral de detección de piloto (“pilot detection

threshold”) “T_ADD”, entonces ese piloto se agrega al conjunto candidato. El conjunto candidato solo puede contener seis pilotos.

El conjunto vecino contiene aquellos pilotos que están en la lista vecino del actual sector servidor del móvil. El conjunto vecino contiene a lo más 20 pilotos.

El conjunto residuo contiene todos los posibles pilotos en el sistema para esta frecuencia portadora, excluyendo a los pilotos que están en los conjuntos activo, candidato y vecino.

A continuación se muestra el proceso que sigue una llamada para entrar en relevo. En primera instancia el móvil se encuentra alimentado únicamente por la celda fuente, y su conjunto activo contiene tan solo al piloto A (célula fuente). El móvil mide el nivel de E_c/I_o del piloto B (célula objetivo) y si lo encuentra mayor que “T_ADD”, el móvil envía un mensaje de medida de fuerza de piloto (“pilot strength measurement message”) y transfiere al piloto B del conjunto vecino al conjunto candidato.

Ahora el móvil recibe un mensaje de dirección de relevo (“handoff direction message”) de la célula fuente. Dicho mensaje ordena al móvil a comenzar la comunicación en un nuevo canal de tráfico con la célula objetivo. El mensaje contiene el “PN offset” de la célula objetivo y el código de Walsh del nuevo canal de tráfico.

Entonces el móvil mueve el piloto del conjunto candidato al conjunto activo. En este momento el móvil envía un mensaje de finalización del relevo (“handoff completion message”) inmediatamente después de adquirir el canal de tráfico de bajada especificado en el mensaje de dirección de relevo (“handoff direction message”). Ahora el conjunto activo contiene dos pilotos en su lista.

Después de que tiene dos pilotos, el móvil detecta que el piloto A ha caído por debajo de T_DROP y es entonces cuando el móvil inicia el contador de tiempo de caída o drop timer.

Cuando el contador de tiempo de caída alcanza el valor correspondiente a T_TDROP el móvil envía un mensaje de medida de fuerza de piloto (“pilot strength measurement message”).

Una vez que el móvil recibe un mensaje de dirección de relevo, el mensaje contiene únicamente el PN offset de la célula objetivo.

Y finalmente el móvil tiene que cambiar el piloto fuente del conjunto activo al conjunto vecino, así como enviar un mensaje para indicar que el relevo ha terminado.

2.3.1.- Relevo suave mejorado (CDMA Soft Handoff Enhancement)

Durante la ejecución del relevo suave, cuando están involucrado más de un piloto en el conjunto activo, la estación base envía los parámetros de T_ADD, T_DROP, T_TDROP y T_COMP del piloto primario, que no es más que el piloto con el que se origina la llamada y cuando este último sale del conjunto activo, se convierte en piloto primario aquel que para ese determinado momento posee las mejores condiciones de radio frecuencia. Los parámetros de este piloto no siempre poseen los mejores valores para las condiciones de cobertura del móvil en un momento específico.

Con la implementación de la funcionalidad de Relevo Suave Mejorado, la estación base realiza un estudio de todos los parámetros mencionados anteriormente, tomando en cuenta cada uno de los pilotos que se encuentran en el conjunto activo y envía al móvil los valores óptimos de cada parámetro de la lista disponible del conjunto activo. Por ejemplo, para el caso del T_ADD, T_TDROP y T_COMP, la

estación base selecciona el valor mínimo de aquellos que están configurados para cada piloto del conjunto activo. Caso contrario para el T_DROP, donde la estación base elige el valor máximo entre aquellos disponibles. Si en determinado momento el valor de T_ADD seleccionado es menor que T_DROP, entonces la estación base decidirá utilizar los valores de T_ADD y T_DROP proveniente de aquel piloto que tenga configurado el menor T_ADD. [4].

A modo de ejemplo, si una llamada se encuentra en relevo suave entre dos pilotos, donde el piloto A tiene configurado T_ADD = -12 y T_DROP = -15 y el piloto B tiene T_ADD = -13 y T_DROP = -16, si al menos uno de los dos pilotos tiene configurado la funcionalidad de Relevo Suave Mejorado, entonces la estación base informará al móvil que los valores a utilizar son T_ADD = -13 y T_DROP = -15. Si el piloto A tiene T_ADD = -12 y T_DROP = -14 y el piloto B tiene T_ADD = -15 y T_DROP = -17, la estación base informará al móvil que los valores a utilizar son T_ADD = -15 y T_DROP = -17.

2.3.2.- Relevo suave para IS-95B (IS95-B Soft Handoff)

El algoritmo de relevo suave para IS-95B permite reducir el promedio de pilotos en el conjunto activo para cada llamada, aumentando así la capacidad del sistema tanto en el enlace de subida como en el de bajada sin degradar el comportamiento de la red a nivel de radio frecuencia. El algoritmo habilita a los móviles a utilizar valores dinámicos de T_ADD y T_DROP. [4]

La experiencia en campo ha demostrado que bajo ciertas condiciones de cobertura, se producen una cantidad considerable de relevos que son innecesarios cuando se utiliza el algoritmo tradicional de relevo suave. Estos relevos innecesarios ocupan recursos y por lo tanto degradan la capacidad total del sistema. La intención del nuevo algoritmo de relevo suave para IS-95B es mejorar esta situación a través de la introducción de valores dinámicos que controlan el relevo suave, los cuales son

determinados por la relación señal a ruido (E_c/I_o) de los pilotos que se encuentran en el conjunto activo. Bajo este algoritmo, el móvil envía un mensaje para añadir un piloto al conjunto activo únicamente cuando el piloto es necesario dado las condiciones de cobertura que experimenta el móvil. Por otro lado, si existe algún piloto del conjunto activo cuya contribución es mínima, entonces el móvil va a solicitar a la estación base la remoción del mismo.

El algoritmo de relevo suave para IS-95B introduce mejoras que reducen el tiempo en el que una llamada permanece en relevo suave y a su vez reduce los relevos innecesarios en cada llamada, cuando las condiciones de cobertura son buenas y así lo permiten.

Existen nuevos parámetros que se introducen al proceso de relevo suave con este algoritmo: `SOFT_SLOPE`, `ADD_INTERCEPT`, `DROP_INTERCEPT`, `T_ADD_B` and `T_DROP_B`. El algoritmo se habilita cuando el `SOFT_SLOPE` se configura en un valor distinto de cero y la estación base enviará al móvil todos los parámetros mencionados anteriormente al igual que los valores de `T_ADD` y `T_DROP`.

Cuando el algoritmo de Relevo Suave para IS-95B se encuentra activo, los móviles calcularán los valores dinámicos `ADD/DROP` como una función de la relación señal a ruido E_c/I_o combinada, utilizando las ecuaciones 1 y 2:

$$\text{Dynamic_Add_Threshold} = \text{SOFT_SLOPE} * \text{Combined } E_c/I_o + \text{ADD_INTERCEPT} \quad (1)$$

$$\text{Dynamic_Drop_Threshold} = \text{SOFT_SLOPE} * \text{Combined } E_c/I_o + \text{Drop_INTERCEPT} \quad (2)$$

La relación señal a ruido E_c/I_o combinada es determinada por todos los pilotos del conjunto activo y se le denomina también E_c/I_o del conjunto activo. Tal como se ilustra en la Figura 7, cuando los valores dinámicos Add y Drop igualan los valores de T_ADD y T_DROP respectivamente, el E_c/I_o del conjunto activo para ese momento se convierte en los valores de calidad del algoritmo Q_add y Q_drop y se determinan con las ecuaciones 3 y 4:

$$Q_add = (T_ADD_B - ADD_INTERCEPT) / SOFT_SLOPE \quad (3)$$

$$Q_drop = (T_DROP_B - DROP_INTERCEPT) / SOFT_SLOPE \quad (4)$$

Cuando el valor de E_c/I_o del conjunto activo es mayor que Q_add , entonces el móvil solicitará a la estación base añadir al conjunto activo un piloto del conjunto de candidatos o vecinos siempre y cuando el E_c/I_o específico de dicho piloto supere el nivel dinámico ADD. Por otro lado, si el valor de E_c/I_o del conjunto activo es mayor que Q_drop , entonces el móvil solicitará la remoción de un piloto del conjunto activo tan pronto como el E_c/I_o específico de dicho piloto haya caído por debajo del nivel dinámico DROP durante T_Tdrop segundos. Para el caso en el que el E_c/I_o combinado es menor que el Q_add y/o Q_drop , entonces el algoritmo de relevo suave para IS-95B no aplica y el móvil utilizará el método normal de relevo suave explicado en secciones anteriores. Nótese que a medida que los valores de Q_add y Q_drop son más altos, menos agresiva es la restricción que introduce el nuevo algoritmo y por lo tanto el móvil se comportará como si el algoritmo no estuviese activo.

Las regiones amarillas de la figura demuestran la diferencia entre el proceso de relevo suave normal y el algoritmo de relevo suave para IS-95B. Para la gráfica de “Add”, la región amarilla indica que no se añade el piloto al conjunto activo cuando está activo el relevo suave para IS-95B. En la gráfica de “Drop”, la región amarilla

indica que cuando está activo el algoritmo, los pilotos se remueven del conjunto activo.

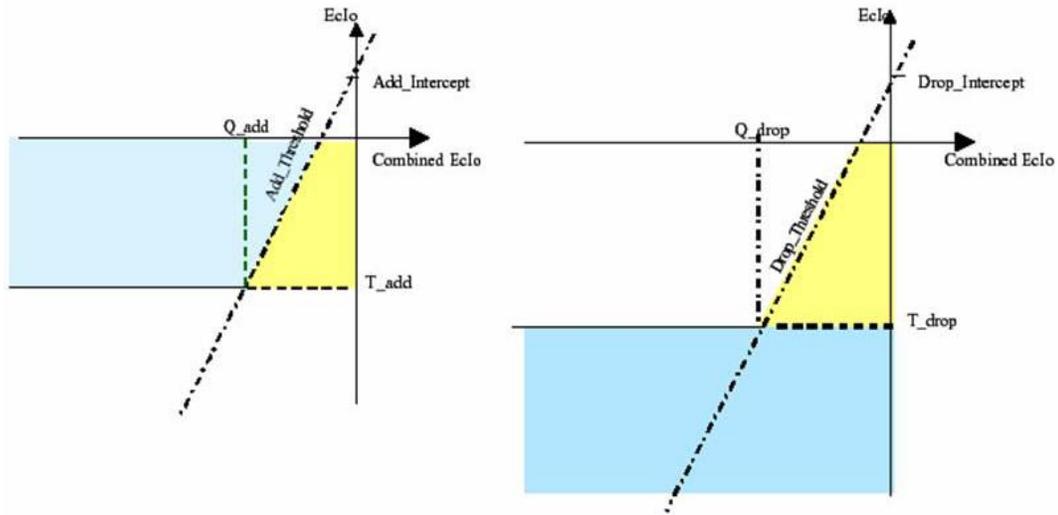


Figura 7. Diagrama de valores de Add/Drop en el relevo suave para IS-95B

En la figura 8 se muestra el diagrama de los movimientos de un piloto durante un relevo suave para IS-95B.

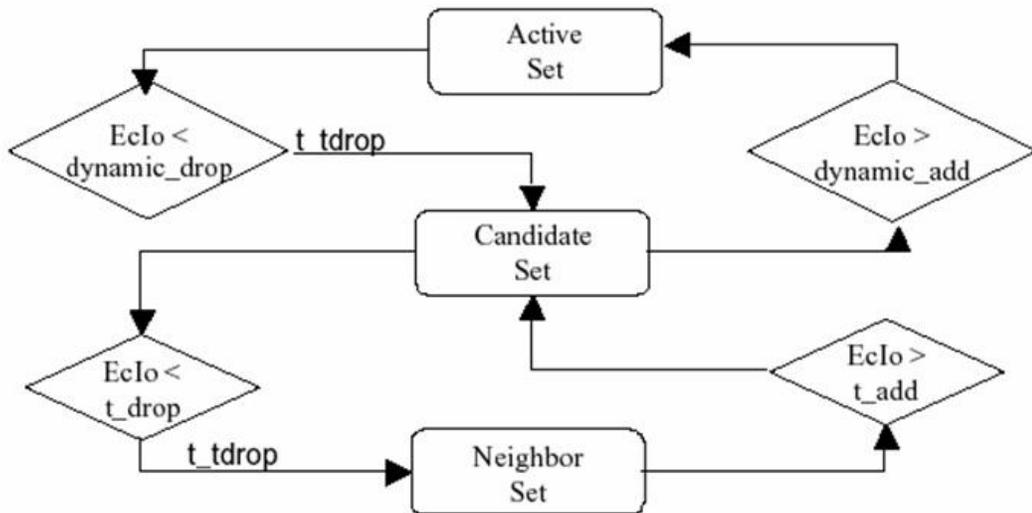


Figura 8. Estados de un piloto durante un relevo suave para IS-95B

En la tabla 9, se indican los valores sugeridos para los distintos parámetros que intervienen en el algoritmo de relevo suave para IS-95B. Estos valores están basados en una limitada experiencia en campo y por lo tanto sólo deben ser vistos como una primera aproximación a los valores iniciales para aplicar el algoritmo. Un estudio más detallado y específico debe aplicarse para llegar a los valores óptimos aplicables a una red determinada [4].

Tabla 9. Parámetros en relevo suave para IS-85B.

Parámetros	Valor Sugerido
Soft Slope	2
Add Intercept	2
Drop Intercept	0
T_ADD_B	-13 dB
T_DROP_B	-15 dB

El algoritmo de relevo suave para IS-95B es compatible con el relevo suave mejorado y cuando ambos están activos, la selección de los valores para cada uno de los parámetros del algoritmo de relevo suave para IS-95B se realiza de la misma manera como se explicó anteriormente la funcionalidad de relevo suave mejorado, tomando los valores óptimos en función de todos los disponibles en cada piloto en el conjunto activo.

CAPÍTULO III

SEIS SIGMA

3.1.- EL SIGNIFICADO DE SEIS SIGMA

Seis Sigma puede tener dos contextos [7], entre los cuales tenemos:

- **Como Metodología.** Es una estrategia de negocios y de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos enfocándose a las variables de importancia crítica para los consumidores.
- **Como Métrica.** Es una medida de la calidad. Mientras más grande es el valor de sigma de un proceso, producto o servicio, su calidad es mejor. En particular, calidad Seis Sigma significa sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO).

La letra griega minúscula sigma se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos.

La medida en sigma se desarrolló para ayudarnos a enfocar las medidas en los clientes que pagan por los bienes y servicios. Muchas medidas sólo se concentran en los costes, horas laborales y volúmenes de ventas, las cuales no están relacionadas directamente con las necesidades de los clientes. Por otro lado, provee un modo consistente de medir y comparar procesos distintos.

El primer paso para calcular el nivel sigma o comprender su significado es entender qué esperan sus clientes. En la terminología de Seis Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman CTQs (Críticos para la Calidad).

Se usa la medida en sigma para observar que tan bien o mal operan los procesos y darles a todos una manera común de expresar dicha medida. Estas medidas se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Niveles De Desempeño En Sigma

Nivel Sigma	DPMO	% Muestras con defectos
2	308.537	> 40 %
3	66.807	25 – 40 %
4	6.210	15 – 25 %
5	233	5 – 15 %
6	3.4	< 3 %

Cuando una empresa viola requerimientos importantes del cliente, genera defectos, quejas y costes. Cuanto mayor sea el número de defectos que ocurran, mayor será el coste de corregirlos, así como también el riesgo de perder al cliente.

La meta de Seis Sigma es ayudar a la gente y a los procesos a que aspiren a lograr entregar productos y servicios libres de defectos. Si bien Seis Sigma reconoce que hay lugar para los defectos pues estos son atinentes a los procesos mismos, un nivel de funcionamiento correcto del 99,9997 por 100 implica un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes.

La meta de Seis Sigma es especialmente ambiciosa cuando se tiene en cuenta que antes de empezar con una iniciativa de Seis Sigma, muchos procesos operan en niveles de 1, 2 y 3 sigma, especialmente en áreas de servicio y administrativas.

Debemos tener en cuenta que un cliente insatisfecho le contará su desafortunada experiencia a entre nueve y diez personas, o incluso más si el problema es serio. Y por otro lado el mismo cliente sólo se lo dirá a tres personas si el producto o servicio lo ha satisfecho. Ello implica que un alto nivel de fallos y errores son una fácil ruta a la pérdida de clientes actuales y potenciales. [1]

3.2.- HISTORIA DE SEIS SIGMA

Esta filosofía se inicia en los años 80's como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad, introducida por Motorola, la cual ha sido ampliamente difundida y adoptada por otras empresas de clase mundial, tales como: General Electric., Allied Signal, Sony, Polaroid, Dow Chemical, FedEx, Dupont, NASA, Lockheed, Bombardier, Toshiba, J&J, Ford, ABB, Black & Decker, etc. [7]

Su aplicación requiere del uso intensivo de herramientas y metodologías estadísticas (en su mayoría) para eliminar la variabilidad de los procesos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente. Esto contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad, al inspeccionar post-mortem y tratar de corregir los defectos, una vez producidos.

Un proceso con una curva de capacidad afinada para Seis Sigma, es capaz de producir hasta un máximo de 3,4 defectos por millón de oportunidades, lo que equivale a un nivel de calidad del 99.9997 %. Ver figura 11 para observar gráficamente la diferencia entre un nivel tres y seis sigma.

Este nivel de calidad se aproxima al ideal del cero-defectos y puede ser aplicado no solo a procesos industriales de manufactura, sino también en procesos transaccionales y comerciales de cualquier tipo, como por ejemplo: en servicios financieros, logísticos, mercantiles, tecnología, etc.

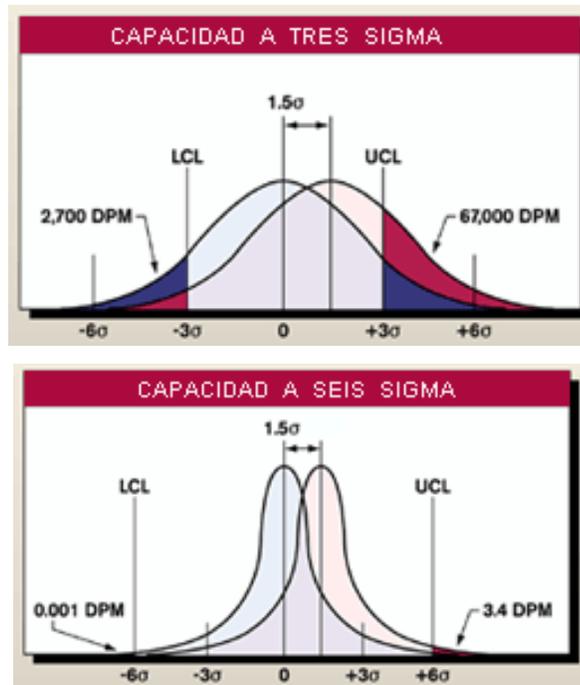


Figura 11. Capacidad a tres sigmas

Quizá la contribución más importante para el auge y desarrollo actual de Seis Sigma, haya sido el interés y esfuerzo dedicado para su implantación en toda General Electric., desde sus divisiones financieras, hasta sus divisiones de equipos médicos y de manufactura. La fuerza impulsora que apuntaló y apoyó esta iniciativa: Jack Welch, CEO de G.E. "Miren, Solamente tengo tres cosas que hacer: tengo que seleccionar a las personas correctas, asignar la cantidad adecuada de dólares y transmitir ideas de una división a otra a la velocidad de la luz. Así que realmente estoy en el negocio de promover y transmitir ideas". [7]

3.3.- LA ESTRATEGIA Y MÉTODO SEIS SIGMA

Esta estrategia gerencial y métodos de mejora incorporan el concepto del desempeño libre de errores. Este concepto se aplica tanto a los procesos de la línea base de las operaciones como a los procesos gerenciales, ya que se considera que no

hay razones industriales para tener diferentes estándares de satisfacción en este sentido.

Fundamentalmente se basan en un concepto que va alternando el análisis abstracto y la experiencia de la organización, con los datos del desempeño demostrable. Para el análisis se incorporan métodos, herramientas y técnicas de análisis crítico y mejora de los procesos y para los datos se incorporan métodos estadísticos intermedios y avanzados.

El concepto Seis Sigma tiene normalmente tres ámbitos [7]. El primero es el de las estrategias y procesos gerenciales, donde los aspectos más característicos son el diseño o la validación de las métricas con las cuales se da cuenta y mide el desempeño del negocio. Para este proceso, se utilizan técnicas estadísticas que van mas allá de las meramente descriptivas que se basan en planillas y promedios, utilizándose por ejemplo técnicas de análisis de capacidad de los procesos, entre otras. También considera la elaboración de la línea base del negocio con la cual se da cuenta del desempeño estadístico demostrable en él o los últimos años, lo que servirá de referencia para el mejoramiento.

Finalmente este ámbito considera la creación de condiciones organizacionales y la ejecución de un proceso de análisis con el cual se obtiene una cartera de oportunidades de mejora con las estimaciones a nivel de perfil de los impactos operacionales y contables. Esta constituirá permanentemente la fuente de los procesos de mejora que se describen en el siguiente ámbito.

El segundo ámbito lo constituye el desarrollo de competencias y la ejecución de los proyectos de mejora con los cuales se materializan las oportunidades y se logra el impacto en la línea base del negocio. Se considera también la estandarización y réplicas de las mejoras logradas hacia otros procesos de la empresa.

Esta estrategia de mejora se conoce como DMAMC o por sus siglas en inglés DMAIC (Definition-Measurement-Analysis-Improvement-Control) y tiene las siguientes fases, ver figura 12:

- (a) **Definición-Medición**, donde se establecen los objetivos, las métricas con las cuales se medirá la evolución, la línea base, las brechas, impedimentos y barreras estructurales para el proceso de cambio. Se analiza en detalle el desempeño pasado y se obtienen las relaciones de causa y efecto entre todas las variables claves involucradas.

- (b) **Análisis**, se establecen las relaciones y niveles de causalidad entre los procesos y los resultados, se identifican los aspectos críticos a partir de los cuales se puede modificar la situación actual utilizando bases y métodos estadísticos intermedios. Se estudian los modos de falla y los efectos de la variabilidad. Se establecen los efectos principales e interacciones derivadas del análisis pasivo y los compromisos tanto operacionales como financieros.

- (c) **Mejora e implementación**, se intervienen activamente los procesos mediante pruebas y experimentación estadística. Se definen las estrategias para lograr los cambios en el desempeño, la socialización, la aceptación y las definiciones claves para los planes de puesta en marcha o el mejoramiento del diseño de control.

- (d) **Control**, Se definen los métodos y mediciones para implementar y sustentar la mejora en el tiempo. Se realiza el desarrollo de competencias al personal de operación y el monitoreo de las variables en el tiempo.

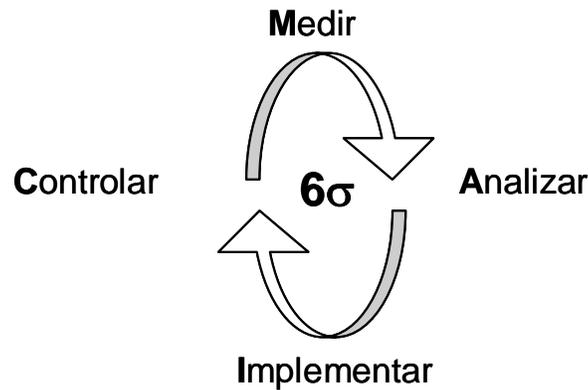


Figura 12. Fases en Seis Sigma

La ejecución de estos proyectos se realiza con personal que recibe un entrenamiento avanzado en técnicas y tratamiento estadístico, análisis de procesos, técnicas de trabajo en equipo y herramientas de calidad.

El tercer ámbito lo constituye la definición y utilización de Seis Sigma como métricas con las cuales se mide y compara el desempeño de todos los procesos claves para el negocio. Los procesos se miden en un lenguaje común de niveles sigma o de defectos por millón de oportunidades, lo que le proporciona al nivel directivo o gerencial un lenguaje con el cual conocer la evolución y efectividad del proceso de mejora.

Como estrategia gerencial, Seis Sigma se desarrolla en ocho etapas en las cuales participan los diferentes niveles de la organización. A las cuatro ya mencionadas se agregan dos etapas iniciales de identificación y definición de carteras de proyectos y otras dos etapas posteriores que se refiere a la estandarización e integración a nivel empresa de las mejoras logradas en los proyectos individuales.

3.4.- ¿Como se determina el nivel de Sigma?

En primer lugar debemos definir y aclarar términos y conceptos: Sigma (σ) es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, de modo que cuanto menor sea sigma, menor será el número de defectos. Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio y, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente, superior e inferior, respecto al valor central objetivo, cuanto menor sea sigma, menor será el número de valores fuera de especificaciones y, por tanto, el número de defectos [8].

De tal forma en la escala de calidad de Seis Sigma se mide el número de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de especificación, de modo que cuanto mayor sea el número de sigmas que caben dentro de los límites de especificación, menor será el valor de sigma y por tanto, menor el número de defectos.

La diferencia entre la Tolerancia Superior (TS) y la Tolerancia Inferior (TI) dividido por el desvío estándar nos da la cantidad (o nivel) de sigmas (z).

La Capacidad del Proceso para un nivel 6 sigmas es igual a 2, resultante de dividir la diferencia entre las Tolerancias Superior e Inferior por seis sigma.

En un nivel 6 sigma entran en el espacio existente entre la Tolerancia Superior (TS) y la Tolerancia Inferior (TI) un total de 12 sigmas.

Siempre que la medición esté dentro del intervalo TS-TI diremos que el producto o servicio es conforme o de calidad. En este caso se siguen las ideas de Crosby, quien considera la calidad como sinónimo de cumplimiento de las especificaciones.

Así pues cuando más cercanos estén los valores de las mediciones al Valor Central Óptimo, más pequeño será el valor de sigma, y de tal forma mayor números de sigmas entrarán dentro de los límites de tolerancia.

Calcular el nivel de sigmas para la mayoría de los procesos es bastante fácil. Dado un determinado producto o servicio, se determina los factores críticos de calidad (FCC), luego se multiplica estos por la cantidad de artículos producidos obteniéndose el total de defectos factibles (oportunidades de fallos). Si dividimos los fallos detectados (con los distintos sistemas de medición en función del tipo de bien o servicio) por el total de defectos factibles (TDF) y luego lo multiplicamos por un millón obtenemos los defectos por millón de oportunidades.

Los factores críticos de calidad pueden ser determinados tanto por los clientes internos como externos, y serán aplicados a las distintas etapas de los diversos procesos.

En cuanto a la metodología de medición, ésta se efectuará por muestreos internos (mediciones) o mediante requisitoria (cuestionario) para la totalidad o parte de los consumidores.

Así si para un producto se han determinado 12 factores críticos de calidad y se han producido un total de 250.000 artículos, tomando una muestra de 1.500, el total de defectos factibles es de $(1.500 \times 12) = 18.000$. Si el total de errores o fallos detectados asciende a 278, esto implica que tenemos 15.444,44 DPMO (resultante de dividir 278 por los 18.000 y multiplicarlos por 1.000.000). Para este nivel de DPMO la cantidad de sigmas es de 3,67 (lo cual implica un rendimiento entre el 99,80 y el 99,87 por ciento).

3.5.- Elementos Clave

Los elementos clave que soportan la filosofía Seis Sigma y que aseguran una adecuada aplicación de las herramientas, así como el éxito de esta iniciativa como estrategia de negocios, son los siguientes [1]:

- (a) Identificación de los elementos Críticos para la Calidad (CTQ), de los clientes Externos.
- (b) Realización de los análisis de los modos y efectos de las fallas (FMEA).
- (c) Utilización del Diseño de Experimentos (DOE), para la identificación de las variables críticas.
- (d) Hacer Benchmarking permanente y establecer los objetivos a alcanzar, sin ambigüedades.

3.6.- Los seis principios de Seis Sigma

(a) **Principio 1:** Enfoque genuino en el cliente

El enfoque principal es dar prioridad al cliente. Las mejoras Seis Sigma se evalúan por el incremento en los niveles de satisfacción y creación de valor para el cliente.

(b) **Principio 2:** Dirección basada en datos y hechos

El proceso Seis Sigma se inicia estableciendo cuales son los parámetros claves a medir, pasando luego a la recolección de los datos para su posterior análisis. De tal forma los problemas pueden ser definidos, analizados y resueltos de una forma más efectiva y permanente, atacando las causas raíces o fundamentales que los originan, y no sus síntomas.

(c) **Principio 3:** Los procesos están donde está la acción

Seis Sigma se concentra en el proceso, así pues dominando ésto se logrará importantes ventajas competitivas para la empresa.

(d) **Principio 4:** Dirección proactiva

Ello significa adoptar hábitos como definir metas ambiciosas y revisarlas frecuentemente, fijar prioridades claras, enfocarse en la prevención de problemas y cuestionarse por qué se hacen las cosas de la manera en que se hacen.

(e) **Principio 5:** Colaboración sin barreras

Debe ponerse especial atención en derribar las barreras que impiden el trabajo en equipo entre los miembros de la organización. Logrando de tal forma mejor comunicación y un mejor flujo en las labores.

(f) **Principio 6:** Busque la perfección

Las compañías que aplican Seis Sigma tienen como meta lograr una calidad cada día más perfecta, estando dispuestas a aceptar y manejar reveses ocasionales.

3.7.- Diferencias entre calidad total Vs calidad Seis Sigma

¿Qué hace diferente a Seis Sigma de la Calidad Tradicional? Están soportadas por prácticamente las mismas herramientas y métodos conocidos por los practicantes de la Calidad Total, TQM, etc. Las diferencias quizás residen en la forma de aplicar estas herramientas y su integración con los propósitos y objetivos de la organización, como un todo. La integración y participación de todos los niveles y funciones dentro de la organización es factor clave, respaldado por un sólido compromiso por parte de la alta Gerencia y una actitud proactiva, organizada y sistemática en busca de la

satisfacción tanto de las necesidades y objetivos de los clientes, como de las necesidades y objetivos de la propia organización.

En la tabla 13 [7], se resumen algunas de las diferencias más notables entre la forma tradicional de enfocar la Calidad en las organizaciones y la forma de enfocarla a través de la estrategia de Seis Sigma:

Tabla 13. Calidad Tradicional Vs Calidad Seis Sigma

CALIDAD TRADICIONAL	SEIS SIGMA
Está centralizada. Su estructura es rígida y de enfoque reactivo.	Está descentralizada en una estructura constituida para la detección y solución de los problemas. Su enfoque es proactivo.
Generalmente no hay una aplicación estructurada de las herramientas de mejora.	Se hace uso estructurado de las herramientas de mejora y de las técnicas estadísticas para la solución de los problemas.
No se tiene soporte en la aplicación de las herramientas de mejora. Generalmente su uso es localizado y aislado.	Se provee toda una estructura de apoyo y capacitación al personal, para el empleo de las herramientas de mejora.
La toma de decisiones se efectúa sobre la base de presentimientos y datos vagos.	La toma de decisiones se basa en datos precisos y objetivos: "Sólo en Dios creo, los demás traigan datos".
Se aplican remedios provisionales o parches. Sólo se corrige en vez de prevenir.	Se va a la causa raíz para implementar soluciones sólidas y efectivas y así prevenir la recurrencia de los problemas.
No se establecen planes estructurados de formación y capacitación para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas.	Se establecen planes de entrenamiento estructurados para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas.
Se enfoca solamente en la inspección	Se enfoca hacia el control de las

para la detección de los defectos (variables clave de salida del proceso). Post-Mortem.	variables clave de entrada al proceso, las cuales generan la salida o producto deseado del proceso.
--------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS SEIS SIGMA Y TRAFICO EFECTIVO EN CDMA

4.1.- Primera fase: Definición y Medición.

En ésta fase del proyecto, se procedió a recopilar todos los datos disponibles que permitieran medir de manera confiable y certera el tráfico efectivo de la red CDMA para así determinar el estado actual y la meta a lograr, que es un punto esencial y básico para la metodología Seis Sigma.

Como primera actividad, se determinó la variable de medición con mayor histórico y con posibilidades de permitir calcular la capacidad del proceso (nivel Seis Sigma) de una manera confiable. Las variables más representativas y utilizadas comúnmente para medir el tráfico efectivo de una red CDMA son el porcentaje de tráfico efectivo (%TE), que no es más que la relación entre el tráfico en relevo suave o secundario y el tráfico total cursado por el sistema. Se dispone de un histórico y un sistema de medición de éstas variables a través de las estadísticas proporcionadas por la central CDMA a través de contadores y las mismas pueden ser obtenidas a nivel de central o por celda.

Por razones de simplicidad y cercanía para realizar pruebas, se eligió una de las centrales ubicadas en la ciudad de Caracas cuyo valor de %TE era el más bajo del sistema a nivel nacional, medido en la hora pico de tráfico de la central la cual se corresponde al período entre 11:00 AM y 12:00 m. El valor promedio de %TE de la central se ubica en 69% aproximadamente, tal como se observa en la figura 14.

De acuerdo al proveedor del sistema CDMA, el valor recomendado de %TE para una red CDMA oscila entre 70% y 72%. En tal sentido, luego de un estudio y comparación con otras centrales del sistema se fijó como objetivo del proyecto el

aumento de 5 puntos en el porcentaje de tráfico efectivo de la central CDMA ubicada en Caracas.

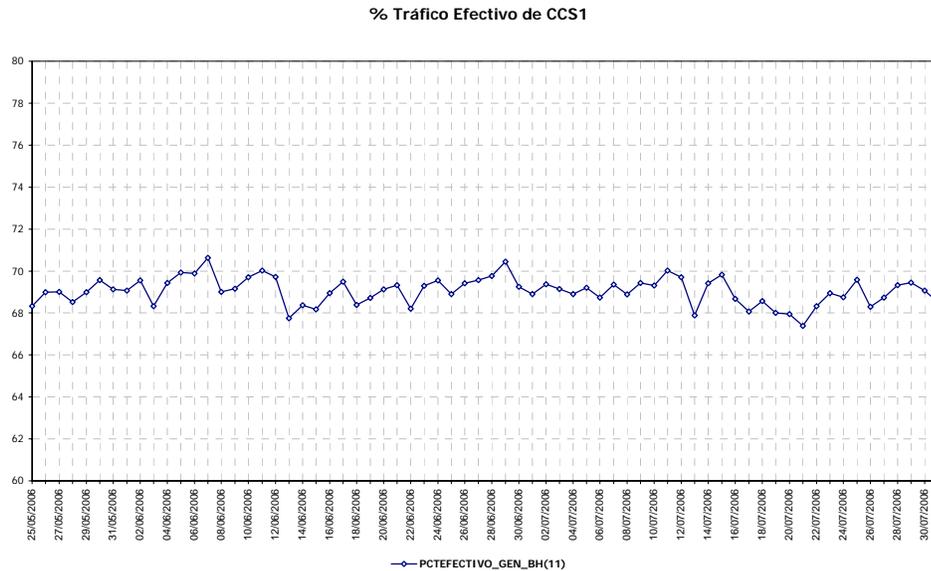


Figura 14. Histórico de %TE de la central 1

Dado que el objetivo que se persigue detrás de este proyecto es el aumento de la eficiencia y la capacidad de la red CDMA, si tomamos en cuenta que esta central cursa en promedio un tráfico aproximado de 5.700 erlangs efectivos y 8.200 erlangs totales en la hora pico de lunes a viernes, resultando en un aproximado de 69.5% de %TE, si se logra una mejora a 74%, los erlangs totales de la central serían 7.700, es decir, aproximadamente 500 erlangs de diferencia que se pueden añadir a la capacidad de la central.

4.1.1- Capacidad del Proceso.

En esta subetapa de la metodología Seis Sigma se calcula la capacidad del proceso a mejorar y esta capacidad se define como “lo mejor que un proceso, bajo control puede rendir bajo condiciones normales” [5]. En cualquier proceso es

importante cuantificar la variabilidad natural del proceso, para analizarla y evaluar si cumple con los requisitos o especificaciones del cliente. Esta variable permite determinar la naturaleza del problema causado por la variación (C_p) y el centramiento (C_{pk}) del proceso. De esta manera el valor de C_p indica el estado del proceso en función de la variabilidad del mismo respecto a los límites máximos y mínimos indicados por el cliente, mientras que el valor C_{pk} indica el estado del proceso en función del desplazamiento del mismo respecto al objetivo indicado por el cliente.

Con la ayuda de la herramienta Minitab, se introducen los datos expuestos en la figura 14, se fija el objetivo de %TE en 74 % con una variación de $\pm 1\%$ y se obtiene el gráfico presentado en la figura 15.

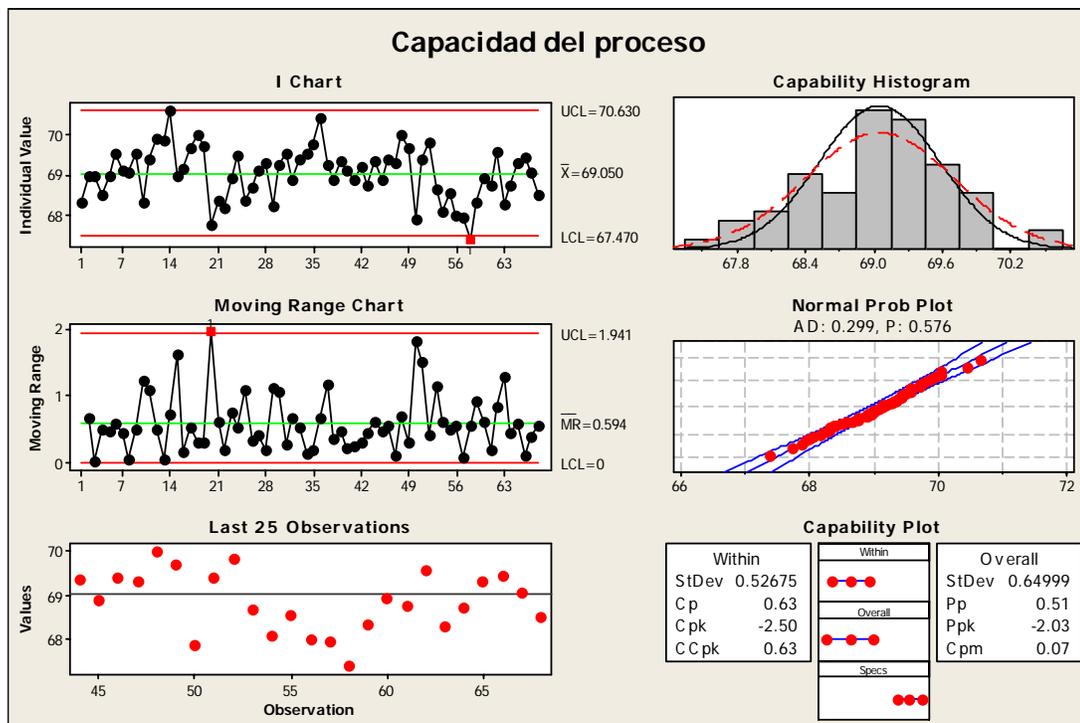


Figura 15. Capacidad del proceso, tráfico en efectivo.

En la figura 15 se pueden observar los siguientes resultados:

- (a) Cp del proceso = 0.63
- (b) Cpk del proceso = -2.50

El nivel sigma se calcula a partir de la ecuación 5:

$$\text{Nivel Sigma} = Cp * 3 \quad (5)$$

$$\text{Nivel Sigma} = 0.63 * 3 = 1.89$$

El principal aspecto a tomar en cuenta es que el proceso, es decir, el %TE se encuentra desplazado (ver valor de Cpk) con respecto a los requerimientos establecidos por el objetivo planteado (%TE = 74% +/- 1%), y es aquí en donde se enfocarán los mayores esfuerzos en este proyecto. El histórico indica que el valor promedio del proceso es 69.5% y que el nivel Sigma asociado es de apenas 1.89 con una oportunidad de mejora considerable.

4.1.2.- Diagrama de Causa-Efecto o Espina de Pescado.

Como resultado de una investigación en los departamentos involucrados, se discutieron las posibles causas que podrían originar el bajo %TE en la central en estudio y se realizó un diagrama de Causa y Efecto para así identificar los principales contribuyentes para el alto tráfico secundario en la región de Caracas y así focalizar y centralizar los esfuerzos. Los resultados se muestran en la figura 16.

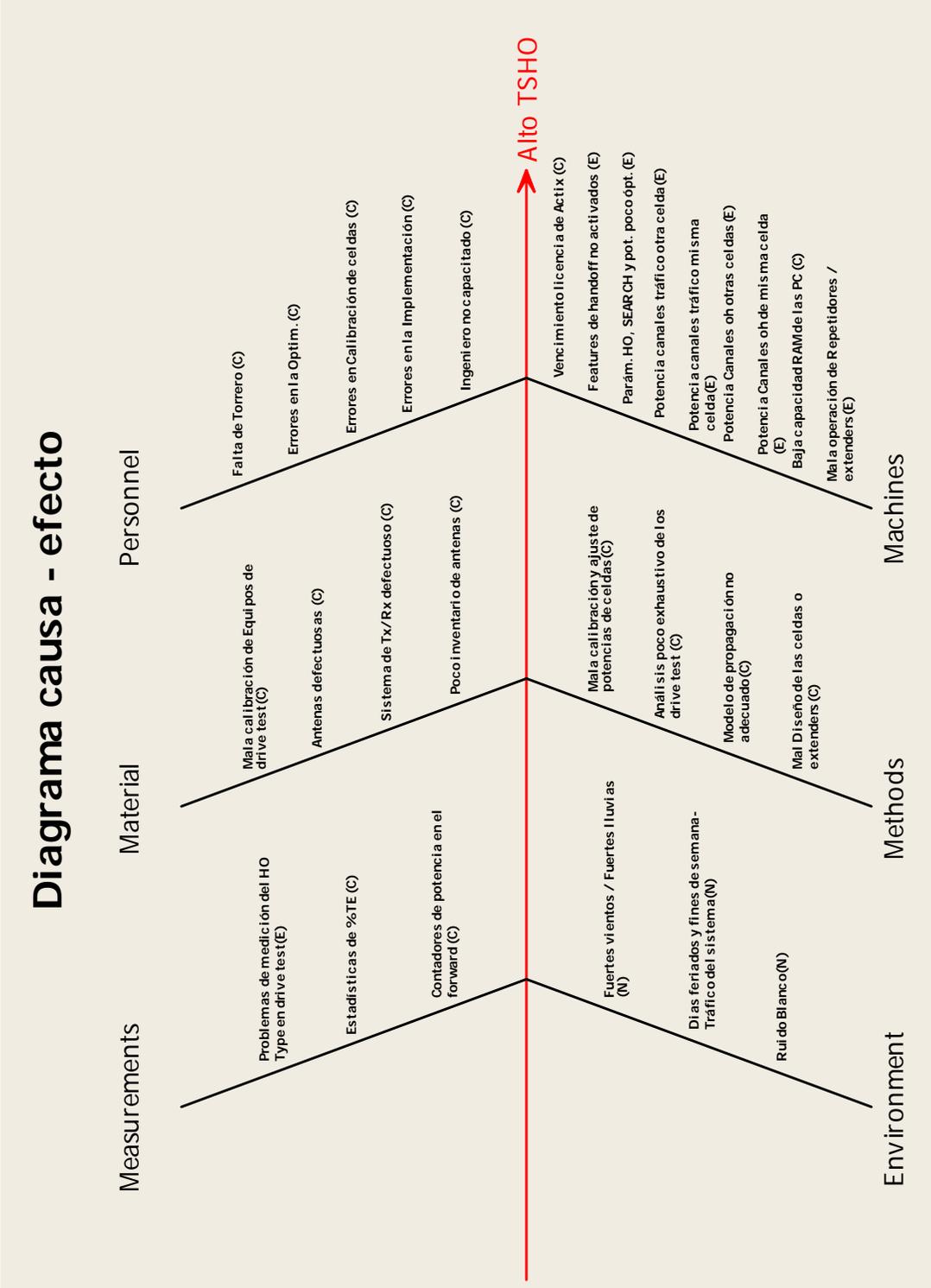


Figura 16. Diagrama de Causa-Efecto o espina de pescado

El diagrama de Causa y Efecto se hace para ordenar información. Una causa es la suma de varias o muchas pequeñas causas concurrentes. Finalmente se utiliza para determinar si se ha identificado correctamente las causas del problema [5].

Paralelamente con la espina de pescado, se fue llenando la FMEA o Módulo de Fallas Potenciales y Análisis de Efectos, que no es más que una técnica analítica utilizada como medio para asegurar que, dentro de lo posible, los modos potenciales de fallas, y sus causas asociadas, hayan sido considerados y analizados [5]. La FMEA tiene la finalidad de realizar un "ranking" de las principales causas del proceso listadas en el Diagrama de Causa y Efecto que tienen valor agregado para el proceso, y dejando por fuera las entradas que no agregan valor.

De acuerdo al resultado de la FMEA y por orden de importancia, las principales causas que más afectan al %TE del sistema CDMA se presentan a continuación:

- (a) Modelo de propagación no adecuado.
- (b) Parámetros de diseño y optimización.
- (c) Mala calibración y ajuste de potencia de celdas.
- (d) Funcionalidades de relevos suaves no activados.

4.1.3.- Diagrama de Pareto.

Como próximo paso, se realizó un diagrama de Pareto de tráfico secundario y %TE de celdas basado en la hora pico de la central (11:00 am a 12:00 m). El resultado de este diagrama se presenta en las figuras 17 y 18.

De estos diagramas, se identifican y establecen lo que serán los grupos de celdas preliminares de trabajo, es decir, donde existen mayores oportunidades de mejora y en donde se enfocarían los esfuerzos. De esta manera los grupos de celdas que más contribuyen en tráfico secundario a la central CDMA quedan de la siguiente manera:

(a) Grupo 1: Veracruz, Yarey, El Rosal, Tráfico Chacao, Laino, Estacionamiento CCCT, Las Mercedes y El Tolón.

(b) Grupo 2: Torre Lincoln, Av. Fco. Solano, Sabana Grande y Las Palmas

(c) Grupo 3: Petare, Urbina Sur, Urbina Norte y El Llanito.

(d) Grupo 4: Los Cortijos, Boleita Sur, Colgate, La California, Horizonte y Boleita.

(e) Grupo 5: Castellana Sur, Adriática, Altamira Sur y Mata de Coco.

Seguidamente, se realizó un cálculo sencillo para determinar cuanto tráfico secundario en crudo con data de 24 horas se debe dejar de cursar en la central, de manera de aumentar el TE de 68% a 74%:

$$(a) \%TE@CCS1 = 567.394 / (567.394+268.689) *100 = 68\%$$

$$(b) TSecundario@74\% \text{ de TE} = (567.394/0.74) - 567.394 = 199.355$$

(c) TSecundario a eliminar = 268.689 - 199.395 = 69.334 --> Hay que disminuir un 26% del TSecundario de CCS1.

(d) # de celdas que producen 26% de TSHO Crudo en CCS1 = los primeros 82 sectores llevándolos a 74% de TE.

(e). Basándonos en los grupos de celdas:

$$\text{TOTAL TSecundario@74\% de TE en los Cluster} = 33.557.$$

Esto equivale a llevar de 68% a 70.7% el %TE en CCS1. Es decir, solamente con aumentar el %TE en los grupos de celdas de prueba no garantiza lograr la meta,

por lo que se debe buscar aumentar el %TE de todas las celdas de la central, mediante la activación de una funcionalidad general o algo similar.

La manera tradicional de mejorar la eficiencia de una red CDMA es a través de la optimización a nivel de campo en Radio Frecuencia que involucra cambios de antenas para utilizar las que más se adecuen a la zona de cobertura, ajustes en la orientación e inclinación de las mismas para reducir el solapamiento y ajustes de potencia de acuerdo a los resultados de las pruebas en campo. Todas estas actividades involucran altos costos de equipos y mano de obra y sería imposible aplicar esta alternativa en este proyecto ya que va en contra de la filosofía Seis Sigma. Por otro lado, el tiempo que tomaría sería muy largo dado que tal como se observó en el análisis anterior, se requerirían de cambios y ajustes en todas las celdas de la central para poder llegar al objetivo planteado.

4.2.- Segunda Fase: Análisis

En esta fase se analizó el histórico del % TE presentado en la figura 14, se realizaron las pruebas de hipótesis y el análisis de correlación entre las variables de entrada seleccionadas de la primera fase, y la variable de respuesta del proceso.

4.2.1.- Correlación

La correlación es una técnica mediante el cual se puede cuantificar la fuerza de la asociación entre una variable de salida y una variable de entrada por medio del coeficiente de correlación.

La correlación de variables es una herramienta muy utilizada en la metodología Seis Sigma, sin embargo en este proyecto no pudo ser aplicada para buscar correlación entre nuestra variable de respuesta (%TE) y nuestras variables de

entrada (parámetros de relevo, potencia y calibración de celdas, etc.) debido a que éstas variables no son datos continuos sino atributos, por lo que se procedió a trabajar con pruebas de Hipótesis para cada una de las variables de entrada.

4.2.2.- Pruebas de Hipótesis.

Una hipótesis es una suposición o inferencia sobre un valor desconocido. La prueba de hipótesis es el proceso de tomar un problema práctico y traducirlo en un problema estadístico, con el análisis estadístico lo que se busca es minimizar la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones.

Hay numerosas hipótesis que se pueden probar y estas corresponden a valores de un parámetro en una única muestra o a la comparación de parámetros de dos o más muestras.

Para realizar una prueba de hipótesis se hacen algunas inferencias o supuestos con sentido acerca de la población.

Hipótesis Nula (H_0): Planteamiento de la hipótesis.

(a) Con bases a datos muestrales la H_0 se rechaza o no se rechaza, nunca se puede aceptar la H_0 como verdadera

(b) El no rechazo de la H_0 solamente significa que la evidencia muestral no es lo suficientemente fuerte como para llevarla a su rechazo

(c) Una conclusión en base a un rechazo de la H_0 es mas significativa que una que termine en una decisión de no rechazo.

Hipótesis Alternativa (H_a): Establece lo contrario que H_0

En base a los datos recopilados y las variables de entradas del proceso de tráfico efectivo en la red CDMA, se realizaron pruebas en los grupos de celdas predeterminados, implementando funcionalidades no activadas, cambios en los parámetros de relevo, cambios de potencia, etc., durante un periodo de tiempo, de manera de observar el efecto sobre el resultado final, %TE, para luego estadísticamente mediante las pruebas de hipótesis, demostrar la relación entre las entradas y la salida.

A continuación las pruebas realizadas en los distintos grupos de celdas.

(a) Pruebas con atenuación de potencia en los canales de control y señalización en el grupo de celdas 4:

Hipótesis Nula: la potencia de los canales de control y señalización no influyen el %TE de la red CDMA

Para esta prueba de hipótesis se aplicó una atenuación de 2 dB de potencia a los canales de control y señalización de las celdas con menor %TE del grupo 4 con la finalidad de recortar la cobertura de las mismas y disminuir el solapamiento con las celdas vecinas. Este cambio se aplicó durante 5 días continuos de lunes a viernes y se tomaron valores por hora desde las 8:00 AM hasta las 10:00 PM por un período de 10 días, 5 antes del cambio y 5 luego del cambio.

Al observar las gráficas de la Figura 19 y verificar el resultado del valor P que arroja la herramienta Minitab, se observa que P es menor que 0.05 y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alternativa.

El %TE se ve afectado positivamente por la atenuación en la potencia en los canales de control y señalización.

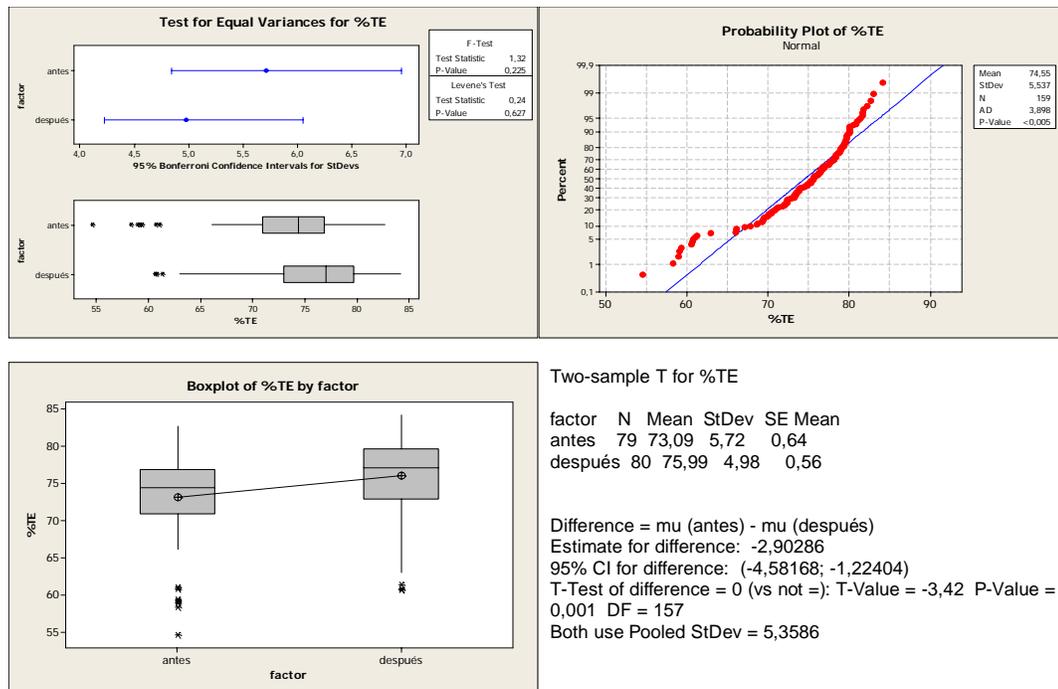


Figura 19. Prueba de hipótesis en %TE con atenuación de potencia del canal piloto

(b) Pruebas de variación de los parámetros de t_{add} y t_{drop} en el grupo de celdas 1:

Hipótesis Nula: la variación de los parámetros de t_{add} y t_{drop} no influyen en el %TE de la red CDMA:

Para esta prueba de hipótesis se cambiaron los valores de T_{ADD} y T_{DROP} de todas las celdas pertenecientes al grupo 1. Las recomendaciones del proveedor para estos parámetros es de -13 dB y -15 dB respectivamente, por lo que se aplicó una disminución a los mismos en 1 dB quedando así el valor de $T_{ADD}=-12$ dB y $T_{DROP}=-14$ dB. La variación de 1 dB únicamente se debe a que el proveedor no recomienda valores de estos parámetros por debajo de estos umbrales dado que se ha observado en campo degradación de la calidad de voz durante las llamadas en CDMA. Este cambio tiene como objetivo restringir la entrada de pilotos al conjunto activo y facilitar la salida de los mismos. Este cambio se aplicó durante 5 días

continuos de lunes a viernes y se tomaron valores por hora desde las 8:00 AM hasta las 10:00 PM por un período de 10 días, 5 antes del cambio y 5 luego del cambio.

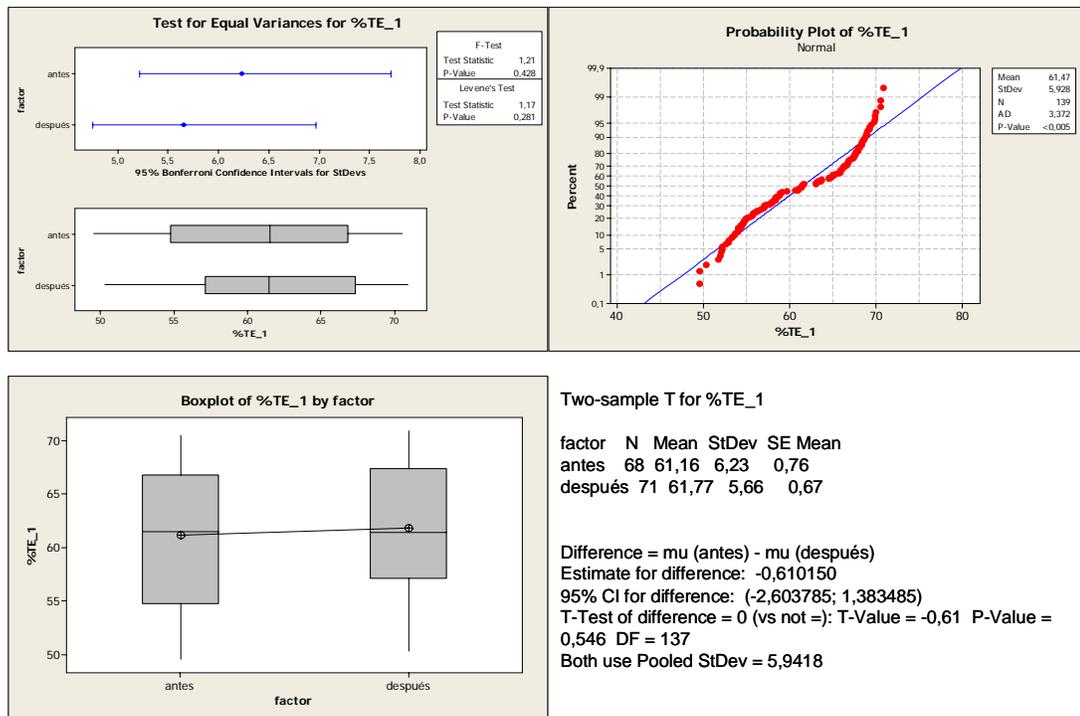


Figura 20. Prueba de hipótesis en %TE con disminución de valores de Tadd y Tdrop.

Al observar las gráficas de la figura 20 y verificar que el resultado de P es de 0.546, es decir, mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que nos indica que la variación de los parámetros de T_ADD y T_DROP no influyen en el %TE de la red CDMA. Se debe recordar que el no rechazo de la H_0 solamente significa que la evidencia muestral no es lo suficientemente fuerte como para llevarla a su rechazo.

(c) Prueba de activación de la funcionalidad de Relevó Suave Mejorado (CDMA Soft-Handoff Parameter Enhancement) en el grupo de celdas 3:

Hipótesis nula: la funcionalidad de Relevó Suave Mejorado no influye en el %TE de la red CDMA.

Para esta prueba de hipótesis se activó la funcionalidad de Relevó Suave Mejorado para todas las celdas del grupo 3. Este cambio tiene como objetivo la elección de los mejores valores de T_ADD y T_DROD en aquellas zonas de solapamiento donde las celdas presentan diferencias en los mismos. Con este cambio se busca mejorar y optimizar los valores de relevó suave en las zonas de solapamiento. Este cambio se aplicó durante 5 días continuos de lunes a viernes y se tomaron valores por hora desde las 8:00 AM hasta las 10:00 PM por un período de 10 días, 5 antes del cambio y 5 luego del cambio.

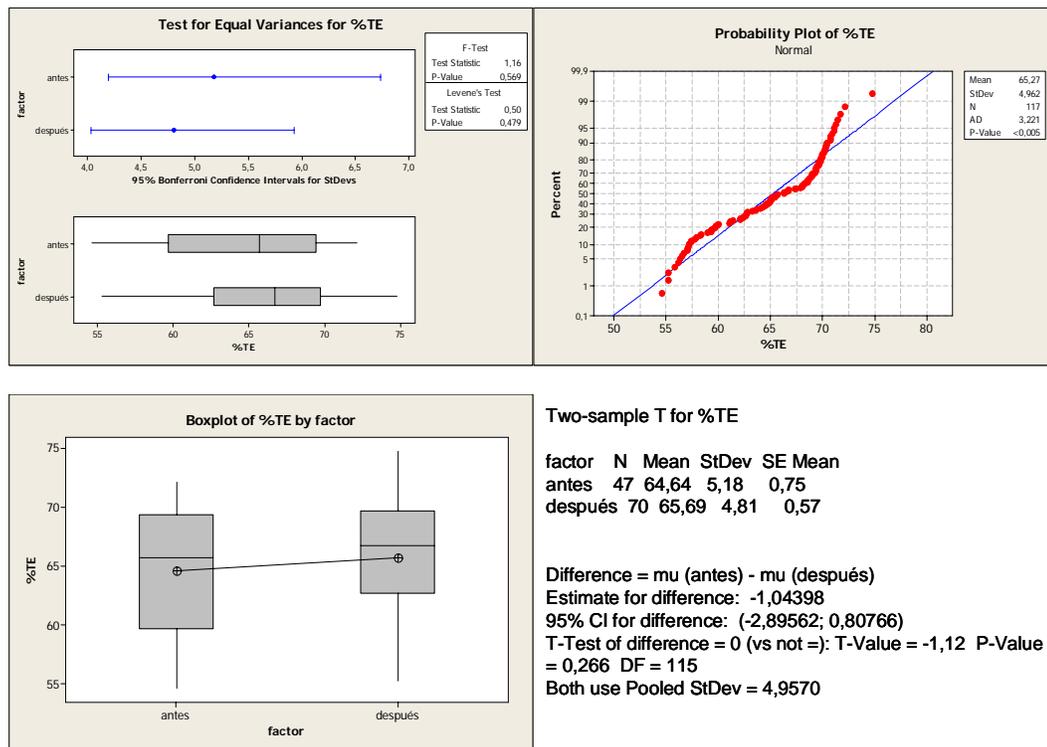


Figura 21. Prueba de hipótesis en %TE con activación de relevó suave mejorado.

Al observar las gráficas de la figura 21 y verificar que el resultado de P es de 0.266, es decir, mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que nos indica que la funcionalidad de Relevó Suave Mejorado no influye en el %TE de la red CDMA. Se debe recordar que el no rechazo de la H_0 solamente significa que la evidencia

muestral no es lo suficientemente fuerte como para llevarla a su rechazo. En esta prueba es importante resaltar que en varios sectores de determinadas celdas se observó un aumento considerable del %TE, pero no lo suficiente para ser representativos en los datos del grupo de celdas por ser de bajo tráfico.

(d) Prueba de activación de la funcionalidad de re Relevo Suave para IS-95B en el grupo de celdas 2:

Hipótesis nula: la funcionalidad de Relevo Suave para IS-95B no influye en el %TE de la red CDMA.

Para esta prueba de hipótesis se activo la funcionalidad de Relevo Suave para IS-95B en todas las celdas del grupo 2 con valores iniciales recomendados por el fabricante y de acuerdo a la experiencia observada en campo y la operación de la funcionalidad. Este cambio tiene como objetivo optimizar de forma dinámica los valores de T_ADD y T_DROD en aquellas zonas de solapamiento. Con este cambio se busca reducir la inclusión de pilotos en el conjunto activo y facilitar la salida de los mismos cuando por niveles de señal y calidad de la misma no son necesarios. Este cambio se aplicó durante 3 días continuos de lunes a viernes y se tomaron valores por hora desde las 9:00 AM hasta las 10:00 PM por un período de 6 días, 3 antes del cambio y 3 luego del cambio. Por recomendaciones del proveedor, el análisis se realizó también en las estadísticas de llamadas caídas ya que esta funcionalidad puede tener un efecto negativo en las mismas.

Al observar las gráficas de la figura 22 y verificar que el resultado de P es de 0.000, es decir, menor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que nos indica que la funcionalidad de Relevo Suave para IS-95B no influye en las llamadas caídas de la red CDMA. Tal como se observa en los resultados, existe un cambio significativo en la mejora de %TE de la red CDMA con esta prueba de hipótesis, sin embargo hay que analizar las estadísticas para las llamadas caídas.

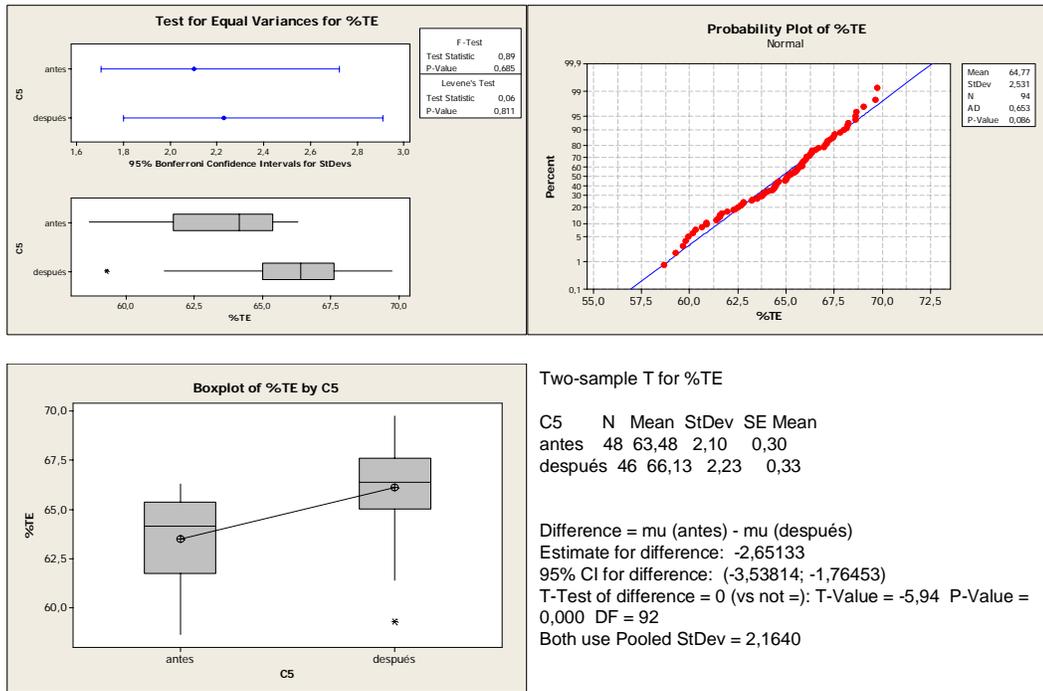


Figura 22. Prueba de hipótesis en %TE con activación de relevo suave para IS-95B.

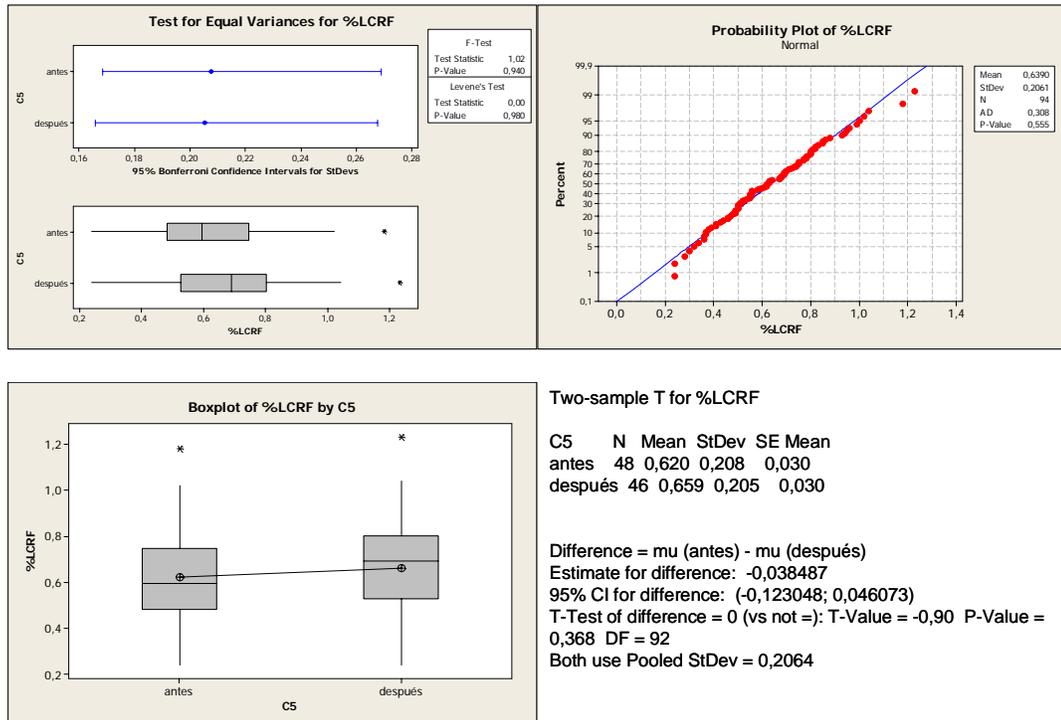


Figura 23. Prueba de hipótesis en llamadas caídas con activación de relevo suave para IS-95B.

Al observar la gráfica y verificar que el resultado de P es de 0.368, es decir, mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que nos indica que la funcionalidad de Relevó Suave para IS-95B no influye en las llamadas caídas de la red CDMA. Se debe recordar que el no rechazo de la H_0 solamente significa que la evidencia muestral no es lo suficientemente fuerte como para llevarla a su rechazo. En esta prueba es importante resaltar que en varios sectores de determinadas celdas se observó un leve aumento del % de llamadas caídas, pero no lo suficiente para ser representativos en los datos del grupo de celdas.

4.3.- Tercera Fase: Mejora e Implementación

En esta fase, los esfuerzos se concentran en realizar un Diseño de Experimentos (DOE) con las variables de entrada (causas) cuyo impacto positivo en el %TE hayan sido comprobado mediante las pruebas de hipótesis realizadas durante la etapa anterior.

4.3.1.- Potencia en los canales de control y señalización:

El resultado de la prueba de hipótesis arrojó una mejora significativa en el %TE de la red. Sin embargo una reducción masiva y no controlada en la potencia de los canales de control y señalización se puede traducir en una pérdida de cobertura, especialmente en ambientes internos, donde no es sencillo detectar tal degradación y habría que realizar un análisis para cada una de las celdas y evaluar la cobertura en campo.

Dado que la manipulación de los parámetros de potencia de los canales de control y señalización y su respectivo control se escapan de los objetivos de la metodología Seis Sigma, no se aplicará ningún cambio.

4.3.2.- Parámetros de T_ADD y T_DROP

En la prueba de hipótesis correspondiente a la variación de los parámetros de T_ADD y T_DROP se observó que no hay una mejora significativa en el %TE de la red CDMA. Este resultado pudo haber sido influenciado por la poca variación que se aplicó a los valores de T_ADD y T_DROP, sin embargo se ha observado en campo que configurar unos niveles más bajos a -12 y -14 dB respectivamente causa degradación de la calidad de la voz y aumenta las llamadas caídas por lo que se descartó por completo esta prueba para la fase de experimentación.

4.3.3.- Relevamiento Suave Mejorado

Con la aplicación de esta funcionalidad, se observó en la prueba de hipótesis que no hay una mejora considerable en el %TE de la red CDMA (mejora menor a 1%). Sin embargo, determinados sectores de varias celdas mostraron, individualmente, una mejora considerable del %TE. Luego de realizar un análisis más detallado, se pudo verificar que la mejora se consigue únicamente en aquellas zonas de solapamiento de cobertura entre 2 o 3 sectores cuyos valores de T_ADD y T_DROP difieren considerablemente (2 dB de diferencia). Dado que el proveedor no presenta ninguna restricción en la activación de esta funcionalidad y no se observa una afectación en las llamadas caídas ni otra variable de calidad que pueda afectar el servicio al cliente, se decide aplicar la activación de esta funcionalidad en todas las celdas de la central.

El Relevamiento Suave Mejorado es una funcionalidad que se puede configurar como activa o no. En tal sentido, bajo el concepto de la mitología Seis Sigma, no es una variable con la que se puede experimentar sino que se conoce su influencia sobre el resultado esperado y se decide activar la funcionalidad y su resultado se observará al final de la fase de experimentación cuando se apliquen todos los cambios a implementar.

4.3.4.- Relevamiento Suave para IS-95B

Según la prueba de hipótesis para esta prueba, los resultados son bastante satisfactorios y se observa una mejora considerable en el %TE de la red CDMA (mayor a 3%). Dado que en esta funcionalidad interactúan hasta 5 factores y los mismos pueden ser configurados independientemente, es necesario aplicar una prueba denominada Diseño de Experimento contemplada en la metodología Seis Sigma que permitirá elegir los valores más adecuados para conseguir el resultado esperado.

El DOE se puede definir como un conjunto de técnicas estadísticas usadas para planear experimentos y analizar sus resultados, de manera ordenada y eficiente. Es una estrategia experimental estructurada que permite la evaluación de múltiples variables del proceso en cuanto a su capacidad de influir sobre las características de un proceso o producto.

DOE se emplea para determinar que factores son importantes para establecer la estabilidad de un proceso y encontrar el mejor conjunto de condiciones operativas.

Para la aplicación del experimento se eligió el grupo de celdas 1 por razones de volumen de tráfico y cercanía para realizar pequeñas pruebas en campo.

Tal como se dijo anteriormente, esta funcionalidad consta de 5 parámetros que pueden ser establecidos en valores dentro de un rango determinado como se indica a continuación:

- (a) Soft Slope (0 → 7.875dB, 0.125)
- (b) Add Intercept (-16 → 15.5dB, 0.5)
- (c) Drop intercept (-16 → 15.5dB, 0.5)
- (d) Tadd B (-31.5 → 0, 0.5)

(e) Tdrop B (-31.5 → 0, 0.5)

Para el diseño del DOE, se analizó el funcionamiento del Relevo Suave para IS-95B y se construyó la tabla presentada en la tabla 24:

Tabla 24. Variación de parámetros en relevo suave para IS-95B

Combined Eclo	Add Inter	Drop Inter	Soft slope	Dynamic add	Dynamic drop	Add Inter	Drop Inter	Soft slope
-13,0	2,0	0,0	1,500	-17,5	-19,5	2,0	0,0	1,500
						Pasos Soft Slope		
						4		
						Add Inter	Drop Inter	Soft slope
						2,0	0,0	1,750
						Pasos Soft Slope		
						2		
-12,5	2,0	0,0	1,500	-16,8	-18,8			
-12,0	2,0	0,0	1,500	-16,0	-18,0			
-11,5	2,0	0,0	1,500	-15,3	-17,3			
-11,0	2,0	0,0	1,500	-14,5	-16,5			
-10,5	2,0	0,0	1,500	-13,8	-15,8			
-10,0	2,0	0,0	1,500	-13,0	-15,0			
-9,5	2,0	0,0	1,500	-12,3	-14,3			
-9,0	2,0	0,0	1,500	-11,5	-13,5			
-8,5	2,0	0,0	1,500	-10,8	-12,8			
-8,0	2,0	0,0	1,500	-10,0	-12,0			
-7,5	2,0	0,0	1,500	-9,3	-11,3			
-7,0	2,0	0,0	1,500	-8,5	-10,5			
-6,5	2,0	0,0	1,500	-7,8	-9,8			
-6,0	2,0	0,0	1,500	-7,0	-9,0			
-5,5	2,0	0,0	1,500	-6,3	-8,3			
-5,0	2,0	0,0	1,500	-5,5	-7,5			
-4,5	2,0	0,0	1,500	-4,8	-6,8			
-4,0	2,0	0,0	1,500	-4,0	-6,0			
-3,5	2,0	0,0	1,500	-3,3	-5,3			
-3,0	2,0	0,0	1,500	-2,5	-4,5			
Tadd B	Tdrop B	Add Inter	Drop Inter	Soft slope	Q add	Q drop		
-12,0	-14,0	2,0	0,0	1,500	-9,3	-9,3		
-14,5	-16,5	2,0	0,0	1,750	-9,4	-9,4		
Tadd	Tdrop	Soft	Dyna add	Dyna drop	Qadd	Qdrop	Combined Eclo	Combined Eclo
-12,0	-14,0	1,500	-12,0	-14,0	-9,3	-9,3	-9,3	-9,3
-12,0	-14,0	1,750	-12,0	-14,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0
-12,0	-16,5	1,500	-12,0	-16,5	-9,3	-11,0	-9,3	-11,0
-12,0	-16,5	1,750	-12,0	-16,5	-8,0	-9,4	-8,0	-9,4
-14,5	-14,0	1,500	-14,5	-14,0	-11,0	-9,3	-11,0	-9,3
-14,5	-14,0	1,750	-14,5	-14,0	-9,4	-8,0	-9,4	-8,0
-14,5	-16,5	1,500	-14,5	-16,5	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0
-14,5	-16,5	1,750	-14,5	-16,5	-9,4	-9,4	-9,4	-9,4
					-9,4	-9,4		

Por la naturaleza de la funcionalidad, los factores que más repercusión tienen sobre el resultado final son el Soft Slope, el TaddB y el TDropB, lo que permitió fijar los parámetros de Add Intercept en 2 dB y Drop Intercept en 0 dB, valores recomendados por el proveedor. Esto permite construir un DOE 2^k fraccional, compuesto de 3 factores en vez de 5, a saber: Soft Slope, TaddB y TdropB, cada uno con 2 niveles.

4.3.4.1.- Diseño de Experimento 1 (DOE 1)

Los valores seleccionados para los parámetros de Tadd_B, Tdrop_B y Soft Slope para el DOE 1 se resumen en la tabla 25:

Tabla 25. Parámetros aplicados al DOE1

	Tadd_B	Tdrop_B	Soft Slope
Prueba 1	-12	-14	1.5
Prueba 2	-12	-14	1.75
Prueba 3	-12	-16.5	1.5
Prueba 4	-12	-16.5	1.75
Prueba 5	-14.5	-14	1.5
Prueba 6	-14.5	-14	1.75
Prueba 7	-14.5	-16.5	1.5
Prueba 8	-14.5	-16-5	1.75

El experimento consta de 8 pruebas (2^3), por lo que se programó realizar 2 pruebas por día de manera de terminar el primer experimento en (4 días). Se analizaron las estadísticas de tráfico de las celdas del grupo 1 y se observó que las horas más homogéneas, en cuanto a tráfico se refiere, son las correspondientes a las 2 pm, 3 pm, 4 pm y 5 pm. En base a esto, se determinó que se realizaría la primera prueba del día de 2pm a 4pm, y la segunda de 4pm a 6pm, desactivando todas las funcionalidades a ésta última hora. Los valores de Tadd_B y Tdrop_B fueron escogidos tomando en cuenta que los valores más comunes en CDMA para T_ADD y T_DROP son cercanos a -12 y -14 respectivamente.

En este momento es importante destacar que las pruebas 5 y 6, donde el valor de Tadd_B es mayor o igual que el valor de Tdrop_B, no pueden aplicarse por limitaciones de operación de la funcionalidad la cual establece que esta condición está excluida de la aplicación de la misma. Para efecto del DOE, esto no afecta el resultado debido a que el número total de pruebas factibles es mayor $2^k/2$ y es cuando

se denomina DOE fraccional. Esto se aplica comúnmente en casos donde el valor de k es elevado y es prácticamente imposible realizar todas las pruebas.

Los resultados del DOE 1 se presentan a través de la serie de gráficos siguientes:

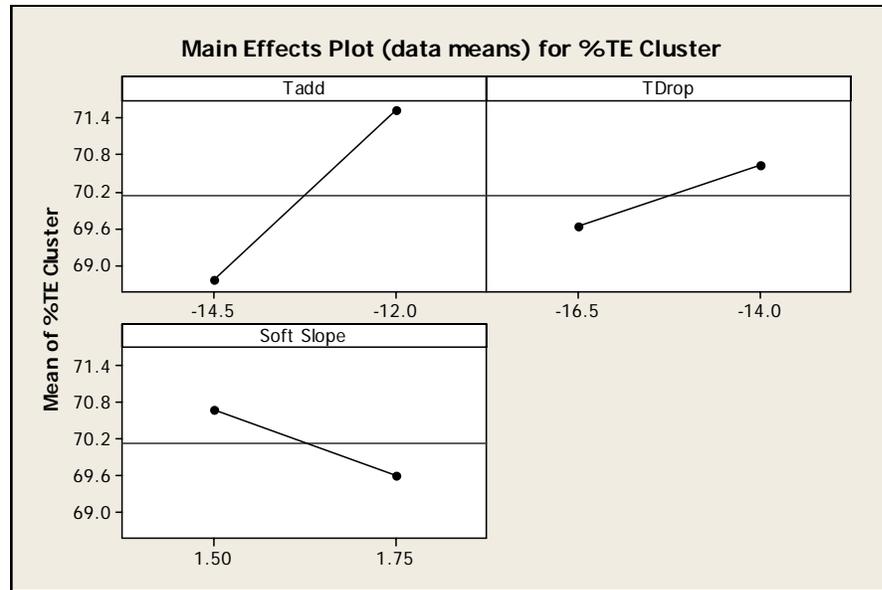


Figura 26. Gráfico de efectos principales del DOE1 para %TE

A partir del Gráfico de Efectos Principales (Main Effects Plot) para el DOE 1 mostrado en la figura 26, se pudo verificar el efecto de cada uno de los parámetros sobre la variables de salida %TE. En el caso del Tadd_B, a mayor valor (-12.0), el %TE aumenta a 71.4%, al igual que sucede con el Tdrop_B, a mayor valor (-14.0), el %TE se ve afectado positivamente. Diferente es el caso del Soft Slope, el cual tiene una correlación negativa, a mayor valor (1.75), el %TE disminuye a valores de 69.6%.

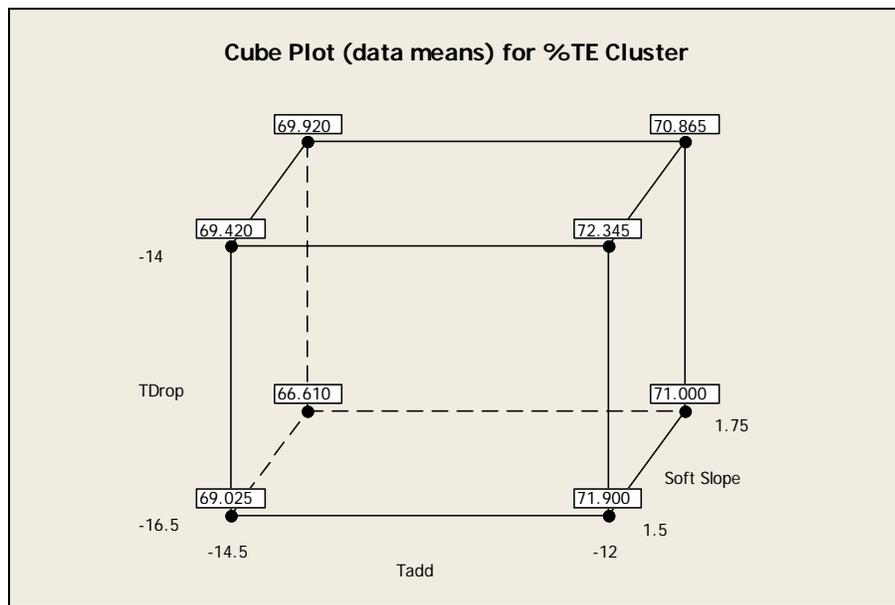


Figura 27. Gráfico del cubo del DOE1 para %TE

Del gráfico del cubo para el %TE del DOE 1 mostrado en la figura 27, se puede identificar cual es la combinación de parámetros que produce el mayor valor de %TE (72.345%), resultando ser la combinación TaddB=-12.0dB, TDropB=-14.0dB, y Soft Slope = 1.5.

En cuanto a las llamadas caídas, el DOE 1 demostró también que el porcentaje de llamadas caídas se ve impactado negativamente a medida que las variables Tadd_B y Soft Slope incrementan su valor. Para el caso del TDrop_B, las llamadas caídas parecieran no afectarse por los valores escogidos para el DOE.

Esto se puede observar en la figura 28 el gráfico de efectos principales para las llamadas caídas del DOE 1.

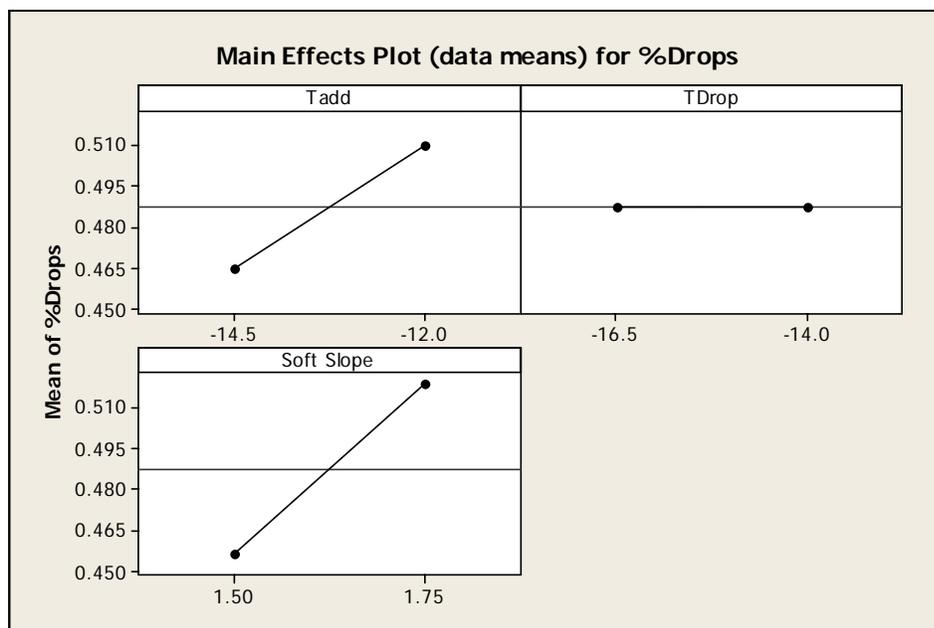


Figura 28. Gráfico de efectos principales del DOE1 para llamadas caídas

4.3.4.2.- Diseño de Experimento 2 (DOE 2)

A partir de los resultados DOE 1 y considerando los efectos principales producidos por las tres variables TaddB, TDropB y Soft Slope, se decide realizar un segundo DOE dado que la mejora en el %TE de la celdas del grupo 1 fue de 3.34 puntos aproximadamente, lo que representa un 66% del objetivo fijado (5% de TE).

El DOE 2 se realiza con los parámetros que se muestran en la tabla 29, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a los resultados obtenidos del DOE 1:

Tabla 29. Parámetros aplicados al DOE2

	Tadd_B	Tdrop_B	Soft Slope
Prueba 1	-10	-12	1.375
Prueba 2	-10	-12	1.5
Prueba 3	-10	-14	1.375
Prueba 4	-10	-14	1.5

Prueba 5	-12	-12	1.375
Prueba 6	-12	-12	1.5
Prueba 7	-12	-14	1.375
Prueba 8	-12	-14	1.5

Al igual que para el caso del DOE1, las pruebas 5 y 6 del DOE2 no pueden ser aplicadas por las mismas razones expuestas anteriormente.

Los resultados de este experimento se ilustran en la figura 30:

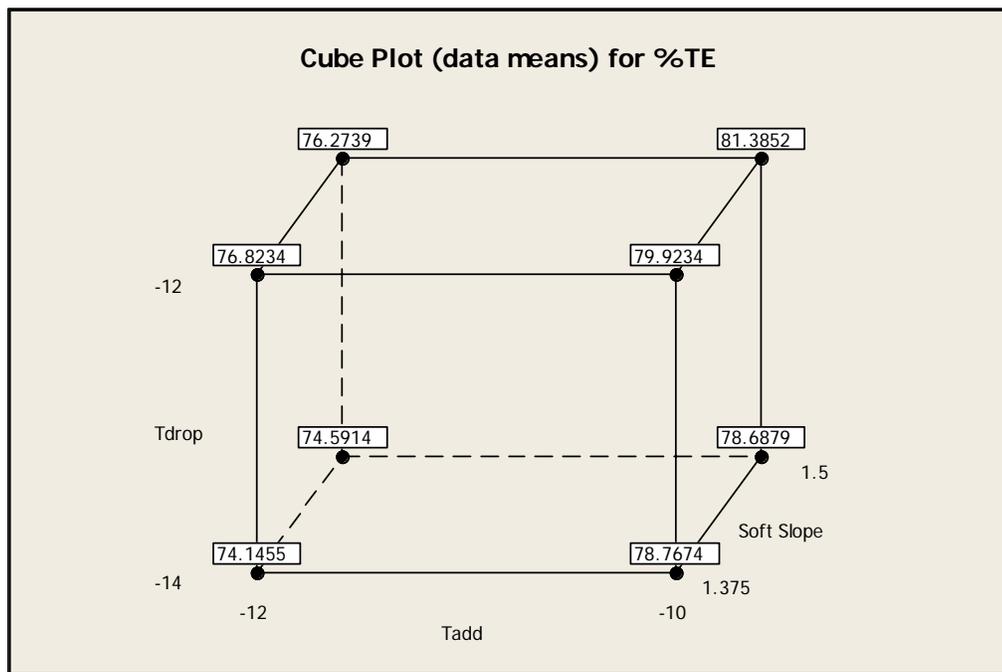


Figura 30. Gráfico del cubo del DOE 2 para %TE

Del gráfico del cubo para el %TE del DOE 2 mostrado en la figura 30, se puede identificar cual es la combinación del DOE 2 que produce el mayor valor de %TE (81.38%), resultando ser la combinación TaddB=-10.0dB, TDropB=-12.0dB, y Soft Slope = 1.5. Sin embargo, y como se puede apreciar en la figura 31, las llamadas caídas también sufrieron un incremento debido a la aplicación de todas las

combinaciones de parámetros para el DOE 2, incrementándose de 0.5% en promedio hasta un 0.9% aproximadamente.

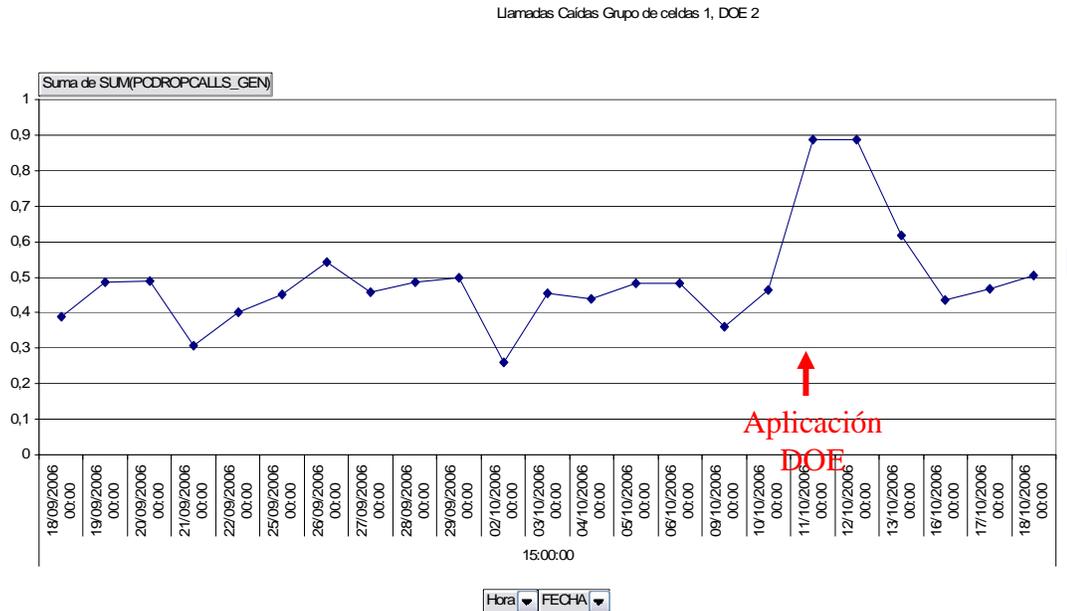


Figura 31. Llamadas caídas Vs aplicación de DOE2

De los resultados obtenidos en el DOE 2, se puede apreciar que se puede obtener una mejora en el %TE de hasta 12.38 %, lo cual está muy por encima de la meta planteada y la afectación a las llamadas caídas es considerable ya que aumentan al doble aproximadamente.

En el gráfico de efectos principales para las llamadas caídas que se muestra en la figura 32, se puede observar la influencia de cada uno de los valores aplicados en el DOE 2 en el aumento de las llamadas caídas.

En la figura 33 se observa el gráfico de Pareto de Efectos Estandarizados (Pareto Chart of the Standarized Effects) aplicado a las llamadas caídas, se puede observar que el parámetro que más afecta a las llamadas caídas es el Soft Slope, seguido del Tadd_B y por último del Tdrop_B.

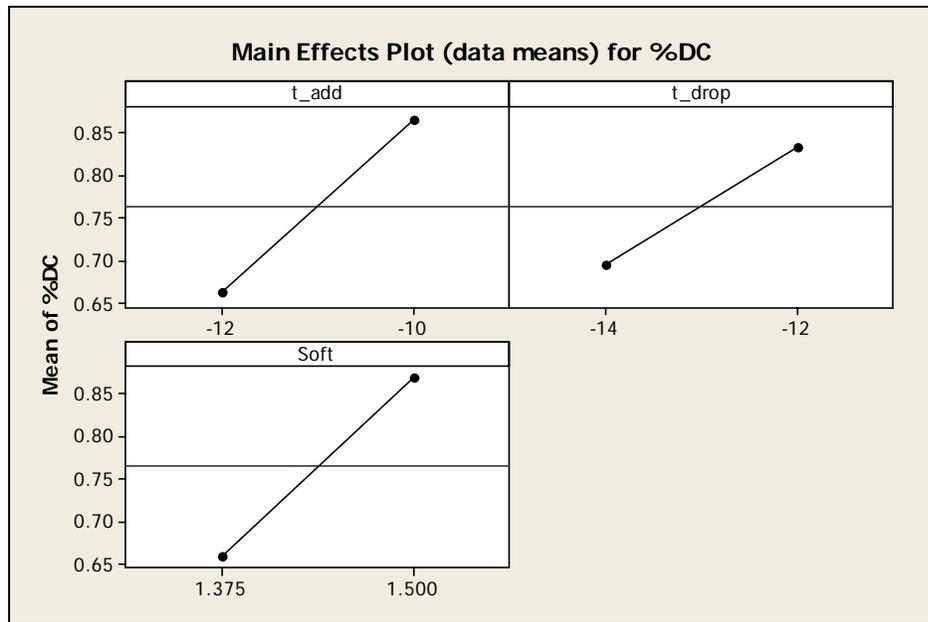


Figura 32. Gráfico de efectos principales del DOE2 para llamadas caídas

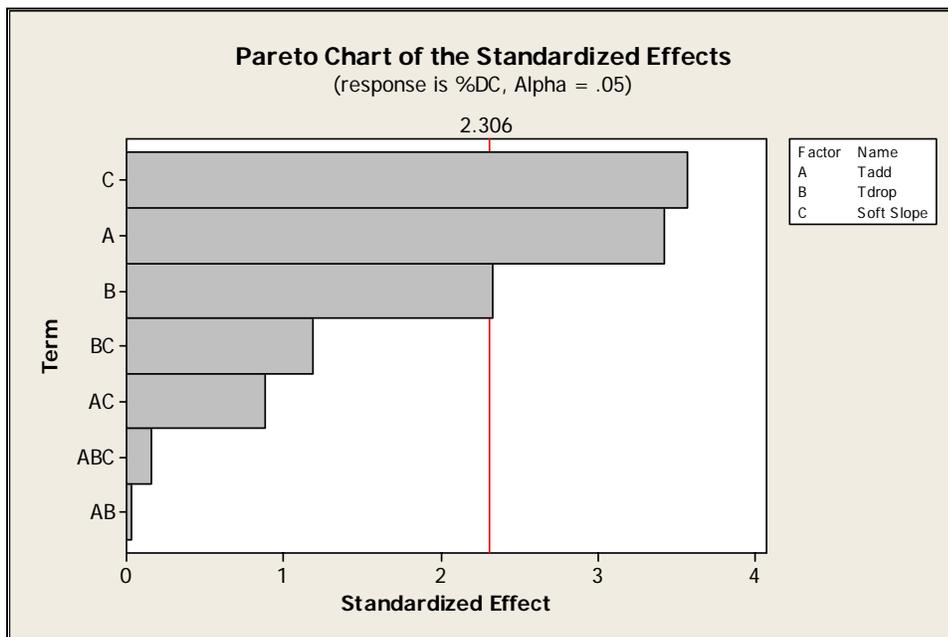


Figura 33. Pareto de Efectos Estandarizados del DOE2 para llamadas caídas

También se puede observar en la figura 33 que no existe una influencia significativa de los cruce de los parámetros en las llamadas caídas. Esto proporciona una ventaja para poder controlar el aumento de las llamadas caídas y lograr una mejora en el %TE.

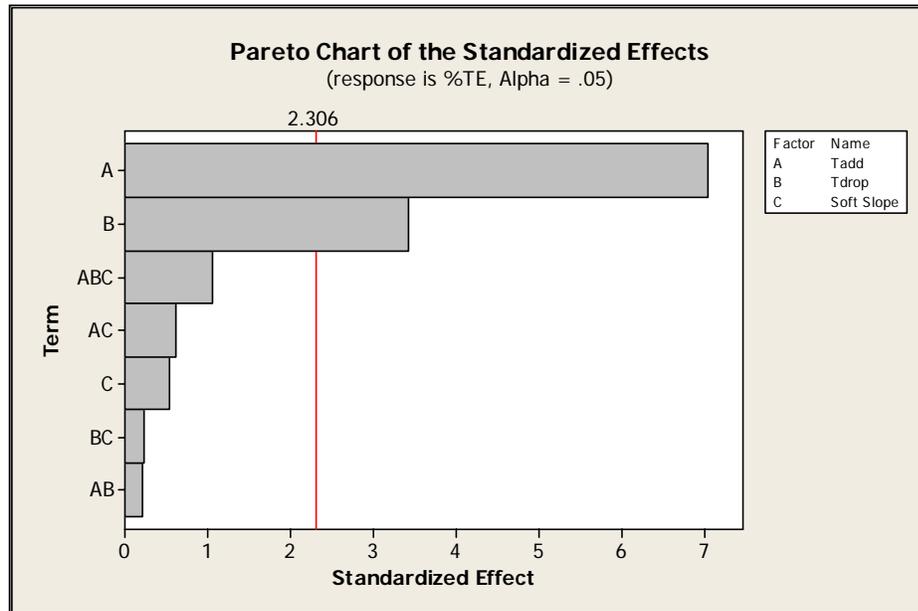


Figura 34. Pareto de Efectos Estandarizados del DOE2 para %TE

En la figura 34, se observa el mismo gráfico para %TE donde se puede observar que tampoco existe una influencia significativa del cruce de los parámetros en el resultado deseado. Los parámetros que más influyen en el %TE son el Tadd_B y el Tdrop_B, mientras que el Soft Slope tiene una influencia mínima o casi nula.

4.3.4.3.- Diseño de Experimento 3 (DOE 3)

A partir de los resultados anteriores, se determinó buscar una combinación de parámetros que proporcionara unos resultados intermedio entre el primero y el segundo diseño realizado de manera de alcanzar la meta de incrementar en 5% el

%TE, sin impactar considerablemente las llamadas caídas. Estos requisitos no se satisfacen con ninguno de los DOE hasta ahora realizados.

El DOE 3 estará enfocado a buscar valores intermedios entre los utilizados en los primeros experimentos. Adicionalmente, dado que el Soft Slope tiene poca influencia en el %TE y una alta influencia en las llamadas caídas, el mismo será fijado en el valor que menos impacto tuvo sobre las llamadas caídas, que de acuerdo a los DOE anteriores, corresponde al valor de 1.375.

Para el DOE 3 se eligen la siguiente combinación de valores de Tadd_B y Tdrop_B que se muestran la tabla 34:

Tabla 34. Parámetros aplicados al DOE3

	Tadd_B	Tdrop_B	Soft Slope
Prueba 1	-11	-13	1.375
Prueba 2	-11	-14	1.375
Prueba 3	-12	-13	1.375
Prueba 4	-12	-14	1.375

Los resultados del DOE3 se pueden observar en las gráficas de las figuras 35 y 36 donde se muestran los gráficos del cubo del DOE3 tanto para el %TE como para las llamadas caídas.

Del gráfico del cubo para el %TE mostrado en la figura 35, se puede identificar cual es la combinación del DOE 3 que produce el mayor valor de %TE (77.405%), resultando ser la combinación TaddB= -11.0dB, TDropB=-14.0dB. Sin embargo, y como se puede apreciar en la figura 36 en la gráfica del cubo para las llamadas caídas, las mismas también sufrieron un incremento debido a la aplicación de éste DOE3, incrementándose de 0.5% en promedio a un 0.685% para la combinación antes señalada.

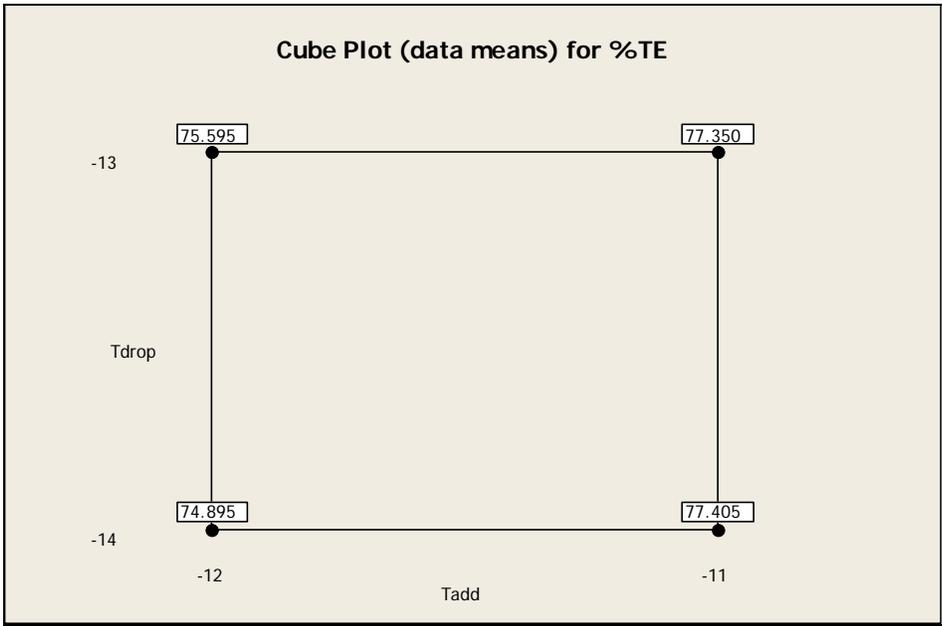


Figura 35. Gráfico del cubo del DOE 3 para %TE

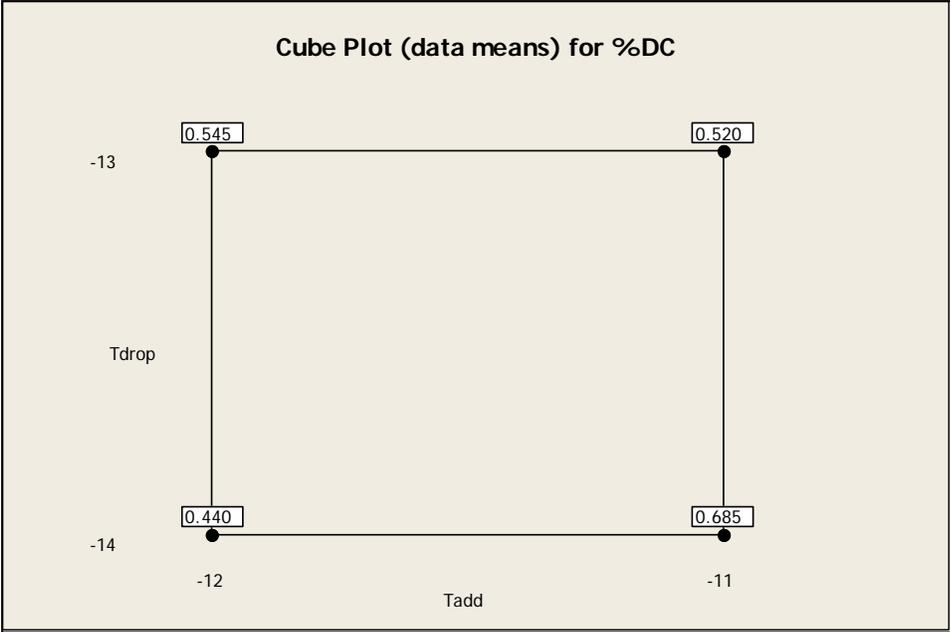


Figura 36. Gráfico del cubo del DOE 3 para llamadas caídas

Realizando un análisis de todos los resultados obtenidos y comparando con la meta a alcanzar, se concluye que la mejor combinación de parámetros corresponde a Tadd_B= -11, Tdrop_B=-13, ya que tiene una influencia mínima en las llamadas caídas (de 0.5% a 0.52%) y se consigue una mejora en el %TE de 8.35% aproximadamente.

4.3.4.4.- Resultados

Una vez realizados todos los diseños de experimentos posibles, se procede a implementar la funcionalidad de Relevos Suave Mejorado a todas las celdas de la central para estudiar los resultados. De la misma manera y en el mismo instante, se activa la funcionalidad de Relevos Suave para IS-95B con los siguientes valores para los distintos parámetros:

- (a) Soft Slope = 1.375 dB
- (b) Add Intercept = 2 dB
- (c) Drop intercept = 0 dB
- (d) Tadd B = -11 dB
- (e) Tdrop B = -13 dB

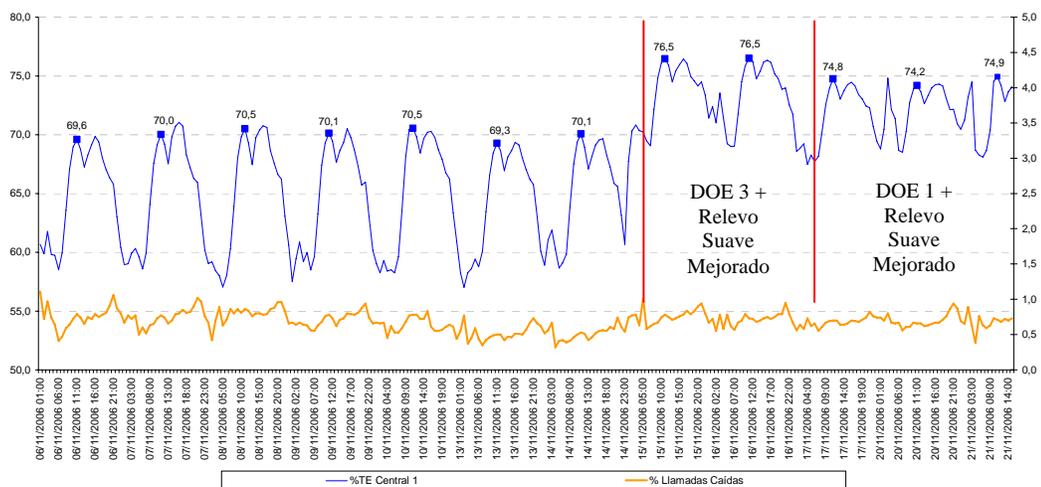


Figura 37. Resultados de %TE con la aplicación de los DOE

En la figura 37 se puede apreciar que con la implementación de las funcionalidades se logra superar el objetivo de %TE fijado inicialmente llegando a valores entre 76 % y 77% para la hora de 11:00 AM a 12:00 PM del sistema. Dado que el resultado alcanzado sobrepasó el umbral requerido y de acuerdo a los resultados de las pruebas entre %TE y llamadas caídas, se decide aplicar los valores de Tadd_B y Tdrop_B obtenidos como satisfactorios para las pruebas del DOE1, manteniendo el mismo nivel para el Soft Slope. De esta manera los parámetros de la funcionalidad de Relevó Suave para IS-95B se configuraron como sigue:

- (a) Soft Slope = 1.375 dB
- (b) Add Intercept = 2 dB
- (c) Drop intercept = 0 dB
- (d) Tadd B = -12 dB
- (e) Tdrop B = -14 dB

Tal como se observa en la figura 37, luego de la implementación de estos valores se obtiene un resultado muy cercano a la meta planteada, alcanzado un valor de %TE para la central CDMA entre 74.2% y 74.9 % para la hora de 11:00 AM a 12:00 PM del sistema.

De esta manera se culmina el proceso de mejora de la metodología Seis Sigma luego de alcanzar la meta inicial y se abren las puertA de una siguiente fase, control y monitoreo de las estadísticas para que el resultado alcanzado se mantenga y perdure en el tiempo. Esta fase no forma parte de este proyecto ya que la misma comienza desde el momento de la implementación de las funcionalidades de relevó suave y no tiene una fecha final definida, generalmente se da como culminada después de un tiempo prudencial, determinado por los especialistas, donde se observe que los valores de %TE se mantengan dentro de los nuevos márgenes establecidos y no existan defectos dentro de los rangos de calidad de Seis Sigma.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de un estudio detallado del proceso de relevo suave en una red de telefonía móvil con la tecnología CDMA, se observó que el tráfico secundario generado por el solapamiento de cobertura entre 2 o más radiobases puede generar un uso ineficiente de los recursos de la red y degradar la calidad que se ofrece a los clientes si no se controla adecuadamente y se mantiene dentro de los niveles recomendados por los proveedores y fabricantes.

La metodología Seis Sigma es una herramienta que busca disminuir los defectos que genera un proceso y facilita el análisis de los parámetros y resultados para buscar mejoras en el proceso. En este proyecto se aplicó esta metodología para mejorar el tráfico efectivo de una red CDMA y se logró aumentar en 5.5 puntos el porcentaje de tráfico efectivo de la red, aumentando de esta manera la eficiencia de la red CDMA y aumentando su capacidad ya que se liberan recursos que pueden ser utilizados por otros usuarios.

La metodología Seis Sigma y sus herramientas asociadas permitieron identificar variables críticas en el sistema, sobre las cuales se enfocaron los mayores esfuerzos para conseguir el resultado deseado a nivel global de la central. En este sentido, se aplicaron y optimizaron algunas funcionalidades de la red relacionadas con el relevo suave en CDMA (Relevo suave mejorado y Relevo Suave para IS-95B). Esto permitió un aumento del tráfico primario en 5 puntos porcentuales.

La metodología Seis Sigma contempla una etapa de control que no está siendo aplicada en este proyecto por razones de tiempo. En tal sentido, se recomienda que para este proceso el control se lleve a cabo con rigurosidad para que el tráfico

efectivo se mantenga en un nivel de $74 \% \pm 1 \%$ y en caso de que se salga de las especificaciones, aplicar los correctivos necesarios.

Por otro lado, durante el desarrollo de este proyecto, se identificaron variables específicas por celda pueden ayudar a mejorar el tráfico efectivo (potencia de celdas, modelos de antenas, altura e inclinación de las mismas, etc.). En este sentido se recomienda a los ingenieros de radio frecuencia hacer un estudio detallado en la red y en las labores de día a día aplicar los correctivos necesarios para mejorar la eficiencia de la red CDMA.

Por último, los resultados obtenidos en este proyecto se aplicaron a una de las centrales CDMA de la red, por lo que se recomienda verificar su posible aplicabilidad todas las centrales de la red para así mejorar la eficiencia de la red a nivel global.

CAPÍTULO 6

MATERIALES DE REFERENCIA

6.1.- Anexos

6.2.- Bibliografía

- 1) Meter S. Pande y Larry OLP, “¿Qué es es Sigma?. McGrae-Hill. Madrid, España 2002.
- 2) Samuel C. Yang. “CDMA RF System Engineering”. Artech House Publishers. Norwood, MA 02062. 1998
- 3) Renny Badra. “Sistemas Celulares Basados en CDMAOne y CDMA2000 1xRTT”. FUNINDES-USB. Caracas, Venezuela 2001.
- 4) Lucent Technologies. “3G-1X RF Design Engineering and Base Station Call Processing”. CL8304. Noviembre 2003.
- 5) Oscar Lobos. “Manual para entrenamiento en la metodología Seis Sigma”. Telcel, Agosto 2004.
- 6) Lucent Technologies. “RF Coverage, Capacity, and Growth Engineering of CDMA Cellular System.” CL3721. Julio 2000.
- 7) <http://www.seissigma.com>. Febrero 2007
- 8) “La metodología Seis Sigma aplicada a las áreas de tecnologías de información”. <http://www.monografias.com/trabajos18/seis-sigma/seis-sigma.shtml#diferen>. Febrero 2007.
- 9) “Seis Sigma – hacia un nuevo paradigma en gestión”. <http://www.monografias.com/trabajos14/seis-sigma/seis-sigma.shtml>. [Febrero 2007](#).

- 10) Arnaldo D. Angulo S. “Análisis de diferentes patrones de pilotos en un sistema MC-CDMA para enlaces descendentes.” Proyecto fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Junio, 2000.