



135  
21

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**"PLANEACIÓN CELULAR. "**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**P R E S E N T A :**  
**FRANCOIS XAVIER PERREAU CORONA**

**ASESOR: ING. JUAN GONZÁLEZ VEGA.**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodriguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

" PLANIFICACION CELULAR "

que presenta EL PASANTE: FRANCOIS XAVIER PERREAU CORONA  
con número de cuentas 9457082-9 para obtener el TITULO de:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 06 de ENERO de 1997

PRESIDENTE

ING. FERNANDO GUERRA PARRA

VOCAL

ING. J. UBALDO RAMIREZ URIZAR

SECRETARIO

ING. JUAN GONZALEZ VEGI

PRIMER SUPLENTE

ING. MA. DE LOURDES MALDONADO LOPEZ

SEGUNDO SUPLENTE

ING. AMBELIO VILLALBAZQUEZ ROQUE

***Agradezco de manera general a toda  
persona que de alguna forma colaboró en  
el desarrollo profesional de mi persona.***

## ÍNDICE

CAPITULO I		<b>SINOPSIS DE PLANEACIÓN CELULAR.</b>	
	1.	INTRODUCCIÓN A LA PLANEACIÓN CELULAR.....	2
	1.1.	DEMANDA DE TRÁFICO.....	3
	1.2.	DIGITALIZACIÓN TOPOGRÁFICA.....	3
	1.3.	PREDICCIÓN DE PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA.....	3
	1.4.	INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	4
	1.4.1.	INVESTIGACIÓN DEL SITIO SELECCIONADO.....	4
	1.4.2.	INVESTIGACIÓN DE PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA EN EL SITIO SELECCIONADO.....	4
	1.4.3.	ESTUDIO DE INTERFERENCIA POR SITIO.....	5
	1.5.	FORMA BÁSICA DE UNA RED CELULAR.....	5
	1.6.	ENTONACIÓN Y DESEMPEÑO DEL SISTEMA.....	6

CAPITULO II		<b>INTRODUCCIÓN AL SISTEMA CMS 88.</b>	
	2.1.	GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA CMS 88.....	7
	2.2.	CONFORMACIÓN DE LA BANDA AMPS Y DE LA BANDA ETACS....	8
	2.3.	POTENCIA DE TRANSMISIÓN DE LAS ESTACIONES MÓVILES....	9
	2.4.	GENERALIDAD SOBRE LA ESTACIÓN DE RADIO BASE (RBS)....	10
	2.4.1.	EL GRUPO DE UNIDADES DE CANALES DE RADIO.....	10
	2.4.1.1	EL CANAL DE VOZ.....	11
	2.4.1.2	EL CANAL DE CONTROL.....	11
	2.4.1.3	EL RECEPTOR DE INTENSIDAD DE SEÑAL.....	11
	2.4.1.4	EL PROBADOR DE CANAL.....	12
	2.4.2.	LA UNIDAD DE INTERFACE ENTRE EL MSC Y LOS CANALES....	12
	2.4.2.1	POU.....	12
	2.4.2.2	MUX.....	12
	2.4.2.3	IOIM.....	12
	2.4.2.4	EMRP.....	13
	2.4.2.5	STR.....	13
	2.4.2.6	MDIO.....	13
	2.4.3.	EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y DE RECTIFICACIÓN DE ENERGÍA.....	14
	2.4.3.1	LUCES DE OBSTRUCCIÓN.....	14
	2.4.3.2	ALUMBRADO INTERNO Y TOMAS DE CORRIENTE.....	14
	2.4.3.3.	DETECTOR DE FASE.....	15
	2.4.3.4.	AIRES ACONDICIONADOS.....	15
	2.4.3.5.	RECTIFICADORES.....	15
	2.4.3.6.	CLASIFICACIÓN DE TENSIONES.....	17
	2.4.3.7.	DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	17
	2.4.4.1.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	18
	2.4.4.2.	SISTEMA DE RECEPCIÓN.....	19

<b>CAPITULO III</b>	<b>PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA EN BASE A LA ANTENA.</b>		
	3.	TIPO BÁSICO DE ANTENAS.....	20
	3.1.	ANTENAS OMNIDIRECCIONALES.....	20
	3.2.	ANTENAS UNIDIRECCIONALES.....	21
	3.3.	ANTENAS BIDIRECCIONALES.....	23
	3.4.	INCLINACIÓN DE ANTENAS.....	24
	3.4.1.	EJEMPLO N° 1.....	26
	3.4.2.	EJEMPLO N° 2.....	27
	3.4.3.	EJEMPLO N° 3.....	29
	3.4.4.	EJEMPLO N° 4.....	31
	3.5.	CÉLULAS OVERLAID Y UNDERLAID.....	33
	3.5.1.	CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN.....	34

<b>CAPITULO IV</b>	<b>ESTADÍSTICAS SOBRE EL TRÁFICO ESTIMADO.</b>		
	4.1.	CUANTIFICACIÓN DEL TRÁFICO GENERADO.....	35
	4.2.	DEFINICIÓN DE TRÁFICO.....	35
	4.2.1.	TEORÍA DE POISSON.....	36
	4.2.2.	TEORÍA DE ERLANG C.....	36
	4.2.3.	TEORÍA DE ERLANG B.....	36
	4.3.	EJEMPLO.....	37
	4.4.	GRADO DE SERVICIO.....	37
	4.5.	CAPACIDAD DE TRÁFICO POR TRONCAL.....	37
	4.6.	EFICIENCIA DE LA TRONCAL.....	38
	4.6.1.	EJEMPLO.....	38
	4.7.	DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED CELULAR.....	39
	4.8.	TABLAS DE ERLANG B.....	40

<b>CAPITULO V</b>	<b>CÁLCULO DE PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA.</b>		
	5.1.	CONCEPTO DE GANANCIA Y DE PÉRDIDA EN UN SISTEMA.....	43
	5.1.1.	EJEMPLO.....	44
	5.1.2.	EJEMPLO.....	44
	5.2.	SUMA DE GANANCIAS Y DE PÉRDIDAS.....	44
	5.3.	NIVEL DE POTENCIA Y NIVEL DE VOLTAJE.....	45
	5.3.1.	EXPRESIONES REFERIDAS A UNA POTENCIA.....	45
	5.3.2.	EXPRESIONES REFERIDAS A UN VOLTAJE.....	45
	5.3.3.	EJEMPLO.....	46
	5.4.	TABLAS DE LAZY DOG.....	46
	5.5.	PREDICCIONES DE PROPAGACIÓN.....	47
	5.5.1.1.	PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE.....	47
	5.5.1.2.	PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA EN SUPERFICIE PLANA CONDUCTIVA.....	48
	5.5.1.3.	DIFRACCIÓN POR OBSTÁCULOS DE BORDES AGUDOS.....	49
	5.5.2.	TEOREMA DE OKUMURA.....	51
	5.5.2.1.	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TERRENOS MONTAÑOSOS.....	52
	5.5.2.2.	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA CADENA MONTAÑOSA AISLADA.....	54
	5.5.2.3.	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA UNA TRAYECTORIA MIXTA DE TIERRA Y MAR.....	55

<b>CAPITULO V</b>		<b><u>CONTINUACION.</u></b>	
	5.8.	COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS.....	56
	5.6.1.	PROPAGACIÓN DE ONDA EN ESPACIO LIBRE.....	56
	5.6.2.	PROPAGACIÓN DE ONDA DE RADIO SOBRE TIERRA PLANA CONDUCTIVA.....	56
	5.6.3.	PROPAGACIÓN DE ONDA A PARTIR DEL MODELO DE OKUMURA.....	56
	5.6.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	56
	5.7.	FORMULA BÁSICA DE HATA.....	57

<b>CAPITULO VI</b>		<b><u>PRINCIPIO Y DISEÑO DE UNA RED CELULAR.</u></b>	
	6.1.	RELACIÓN SEÑAL A RUIDO Y SEÑAL A INTERFERENCIA.....	59
	6.2.	DISTANCIA DE REUTILIZACIÓN EN BASE A LA RELACIÓN C/I.....	60
	6.3.	CAPACIDAD DE TRÁFICO CON UN C/I ADECUADO.....	65
	6.4.	SUBDIVISIÓN CELULAR DE UNA RED CELULAR.....	65
	6.4.1.	EVOLUCIÓN DE UNA RED CELULAR.....	66
	6.5.	REGIÓN DE TRANSICIÓN.....	68
	6.6.	CAPACIDAD FINAL DE TRÁFICO.....	69
	6.7.	ASIGNACIÓN CELULAR.....	69
	6.7.1.	DISTRIBUCIÓN DE CANALES POR CÉLULA.....	71
	6.7.2.	FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN Y DE RECEPCIÓN POR CANAL.....	72

<b>CAPITULO VII</b>		<b><u>MÉTODOS DE COMPROBACIÓN EN LA PLANEACIÓN CELULAR.</u></b>	
	7.1.	ANTECEDENTES DEL SISTEMA CELULAR.....	77
	7.2.	MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y DE MEDICIÓN.....	77
	7.3.	PAQUETE DE PREDICCIÓN "PROPAC".....	78
	7.3.1.	PRED, PAQUETE DE PREDICCIÓN.....	79
	7.3.1.1.	MODELO DE PROPAGACIÓN.....	80
	7.3.2.	TOP, PAQUETE DE TOPOGRAFÍA.....	80
	7.3.2.1.	DIGITALIZACIÓN DE MAPAS.....	81
	7.3.2.2.	CODIFICACIÓN DE USO DE SUELO.....	81
	7.3.2.3.	BASE DE DATOS SOBRE LOS ANTECEDENTES DEL MAPA.....	81
	7.3.3.	SURV, PAQUETE DE INVESTIGACIÓN.....	81
	7.4.	EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN DE RADIO.....	82
	7.5.	PLANEACIÓN CELULAR.....	83
	7.5.1.	PROCEDIMIENTO DE CONTROL EN LA PLANEACIÓN CELULAR.....	83
	7.5.1.1.	ELECCIÓN DEL SISTEMA: FASE 1 Y 2.....	83
	7.5.1.2.	ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO GENERADO: FASE 3.....	83
	7.5.1.3.	DATOS GEOGRÁFICOS: FASE 4.....	85
	7.5.1.4.	PLANEACIÓN CELULAR NOMINAL: FASE 5.....	85
	7.5.1.5.	PREDICIONES DE COBERTURA: FASE 6.....	85
	7.5.1.6.	ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS POR CÉLULA: FASE 7.....	85
	7.5.1.7.	PREDICCIÓN DE LA RELACIÓN C/I: FASE 8.....	85
	7.5.1.8.	ESTUDIO DE LA RBS EN CAMPO: FASE 9.....	86
	7.5.1.9.	COMPROBACIÓN DE PREDICIONES EN BASE A ESTUDIOS DE CAMPO: FASE 10.....	86
	7.5.2.0.	INSTRUMENTACIÓN Y MODULACIÓN DEL SISTEMA: FASE 11.....	86

<b>CAPITULO</b>		<b>GLOSARIO Y REFERENCIAS</b>	
<b>VIII</b>			
	<b>8.1.</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>87</b>
	<b>8.2.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>95</b>

## INTRODUCCIÓN

La finalidad de la planeación celular es la de organizar, dentro de una red de servicio, el reuso del "patrón 7/21", patrón que consta de 21 grupos básicos de radio frecuencias distribuidos entre siete estaciones de radio base. Existen otros tipos de patrones como el 3/9 o el 4/12 pero estos no son tan comunes como el inicialmente mencionado.

Para que esta organización pueda ser llevada a cabo, es necesario hacer un estudio preliminar de ciertos factores como:

1. La selección del emplazamiento de las estaciones de radio base (RBS).
2. El tipo de antena que se usara y que definirá la forma de propagación de la célula.
3. La cantidad de radio transmisores (o canales de voz) en base a una demanda estimada.
4. La potencia por célula con sus respectivos parámetros de software en base a cálculos teóricos.
5. Finalmente la distribución más adecuada del reuso de radio frecuencia.

Por otra parte, será necesario comprobar la funcionalidad del sistema haciendo un simulacro del mismo a través de un paquete de software que toma en consideración tanto los factores anteriormente mencionados como la topografía de la región en donde se piensa establecer el sistema. En base a los resultados obtenidos por este procedimiento, las estimaciones erróneas son corregidas y verificadas nuevamente hasta encontrar los resultados teóricos deseados.

Estas consideraciones son indispensables en la realización inicial de una "planeación celular nominal" pero lo son aún más cuando se requiere de una ampliación o de una expansión futura dentro de la red: La red inicial debe de planearse de manera que pueda soportar futuras modificaciones en su funcionamiento, de otra manera la empresa de explotación puede sufrir las consecuencias de recurrir a costosas reestructuraciones.

Desde un punto de vista económico, los beneficios de una planeación celular bien ejecutada son muy grandes ya que los ingresos de las empresas de explotación están directamente relacionados con la satisfacción experimentada por parte del usuario (o abonado).

# CAPITULO I

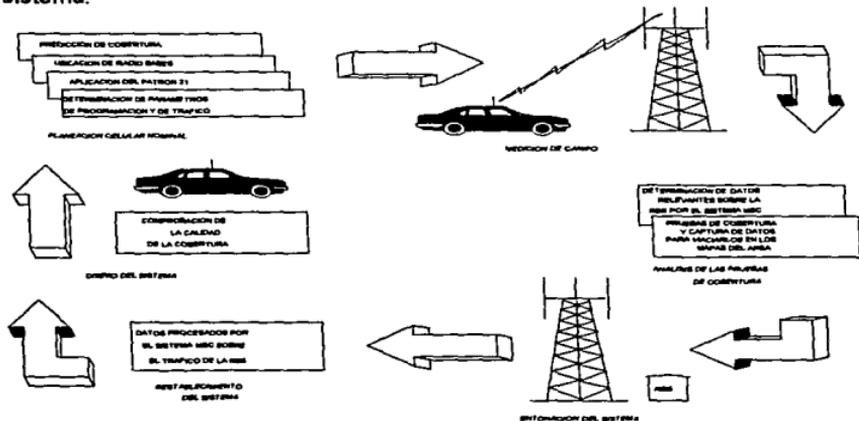
## SINOPSIS DE PLANEACIÓN CELULAR.

### 1. INTRODUCCIÓN A LA PLANEACIÓN CELULAR.

La planeación celular es una tarea repetitiva con una gran parte de pruebas tanto prácticas como correctivas. Las tareas más importantes son las de calcular y las de medir la propagación de radio frecuencia, la de evaluar y cuantificar la densidad del tráfico y la de seleccionar los grupos de frecuencias para cada una de las radio bases con sus respectivos parámetros.

En las grandes zonas urbanas se busca un crecimiento continuo del sistema de manera a hacerlo más denso y con la posibilidad de poder absorber el tráfico creciente. Dentro de este proceso es necesario conservar un índice de interferencias y de saturaciones dentro de un nivel razonablemente bajo.

A continuación en la Figura # 1.0.0.0. se muestra un ciclo típico de una planeación celular tanto para una planeación celular nominal como para una ampliación continua del sistema:



**FIGURA # 1.0.0.0.: CICLO TÍPICO DE UNA PLANEACIÓN CELULAR.**

## **1.1. DEMANDA DE TRÁFICO.**

Para llevar a cabo la estructuración de una planeación celular inicial o nominal es necesario calcular y determinar la demanda de tráfico potencial de la región en estudio.

La demanda de tráfico, es decir, la cantidad de abonados que pertenecerán al sistema y el tráfico que será generado, serán el fundamento para todo diseño de la red celular. Desde un punto de vista geográfico esta demanda de tráfico puede ser calculada en base a los siguientes datos:

1. Distribución de la población.
2. Distribución del uso de automóviles.
3. Nivel de ingreso por zona.
4. Datos sobre el uso de suelo.
5. Estadísticas sobre el uso de teléfonos fijos.

## **1.2. DIGITALIZACIÓN TOPOGRÁFICA.**

Los mapas topográficos son una fuente básica para la planeación celular debido a que es posible determinar a través de ellos el tipo de uso de suelo, el tipo de vegetación y las elevaciones topográficas del terreno. Estos factores son determinantes en el estudio de patrones de propagación. Por esta razón se requiere de un procedimiento para extraer datos de cualquier tipo de mapa. Este procedimiento consiste en producir una base de datos digitalizada del mapa en cuestión con la finalidad de poder ser utilizada en las predicciones de propagación de radio frecuencia.

## **1.3 PREDICCIÓN DE PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA.**

Una de las herramientas más importantes en la predicción de propagación de radio frecuencia a sido el paquete de software denominado "PROPAC" el cual significa "PROPAGATION PACKAGE". Este paquete tiene la versatilidad de digitalizar la región en estudio para poder reflejar una estimación del comportamiento del sistema con un margen de error de predicción "típica" de  $\pm 2.5$  dB.

Por otra parte para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos es necesario tomar mediciones de intensidad y compararlas con las predicciones para lo cual es indispensable contar con equipos como el "REGUS" que significa "REGISTRATION UNIT FOR SURVEYS" o el "RSAT" que significa "REAL-TIME SYSTEM ANALYSIS TOOL" que miden la intensidad de campo en dBm en puntos definidos.

Con respecto al margen de error de estos equipos, se encontrara que su definición es muy confiable y que en comparación con los resultados obtenidos por el PROPAC debe existir una diferencia mínima. En caso contrario será necesario analizar la causa por la cual existe una discrepancia entre los resultados. Para llevar a cabo este tipo de

estudios comparativos es necesario hacer una investigación de campo del sitio previamente analizado por el PROPAC.

#### **1.4. INVESTIGACIÓN DE CAMPO.**

La investigación de campo tiene como finalidad, la de analizar las condiciones en donde se ubicarán las estaciones de radio base (RBS) futuras, el medir la propagación de radio frecuencia de cada uno de estos sitios y finalmente la de hacer un estudio de campo a nivel de interferencias cuando existe reuso de frecuencias. Por lo tanto se puede determinar que este procedimiento consta de tres fases para acreditar un sitio como apto para instalar una RBS:

##### **1.4.1. INVESTIGACIÓN DEL SITIO SELECCIONADO.**

Quando se tienen seleccionados los futuros emplazamientos es requisito acudir a ellos para tomar en consideración los siguientes factores:

1. La influencia que tendrá la futura célula en la estructura celular nominal del sistema.
2. La capacidad de tráfico que se estima y la cual determinara la cantidad de canales de voz y del tipo de antena que se usarán.
3. La facilidad de acceso al sitio.
4. La existencia de energía eléctrica.
5. La posibilidad de acoplar la RBS al sistema central de transmisión de telefonía móvil (MSC) a través de medios de comunicación como lo son la fibra óptica, la microondas, o el cable coaxial.
6. El relieve geográfico de la zona en estudio y sus influencias en la propagación de radio frecuencia.

##### **1.4.2. INVESTIGACIÓN DE PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA EN EL SITIO SELECCIONADO.**

Para llevar a cabo una investigación de ese tipo es necesario instalar transmisores de prueba en los sitios seleccionados. Posteriormente con vehículos equipados con módulos de medición de intensidad de campo como el "REGUS" o el "RSAT", se determinara la propagación definida por los transmisores de prueba. Tanto el "REGUS" como el "RSAT" son equipos que tienen la capacidad de medir la intensidad de campo de un canal determinado. Sin embargo difieren en algunos aspectos:

El REGUS tiene la capacidad de monitorear de 1 a 21 frecuencias simultáneamente tanto en la banda AMPS de 869 a 894 MHz como en la banda ETACS de 917a 950 MHz. En México el ancho de banda otorgada para el uso de la telefonía celular esta dividida en dos bandas que son la banda "A" de 870.030 a 879.990 MHz y la banda "B" de 880.020 a 889.980 MHz6 que básicamente corresponde a la banda AMPS.

Durante las mediciones de intensidad de campo, el equipo REGUS registra también la distancia recorrida con el auxilio de pulsos digitales procedentes de un odómetro en una de las ruedas del vehículo.

El equipo RSAT tiene la capacidad de monitorear simultáneamente hasta 3 diferentes frecuencias tanto en la banda A como en la banda B. Por otra parte, este equipo no cuenta con odómetro para registrar la trayectoria tomada para el estudio de campo, por lo que tiene que basarse en mapas topográficos de la región en estudio.

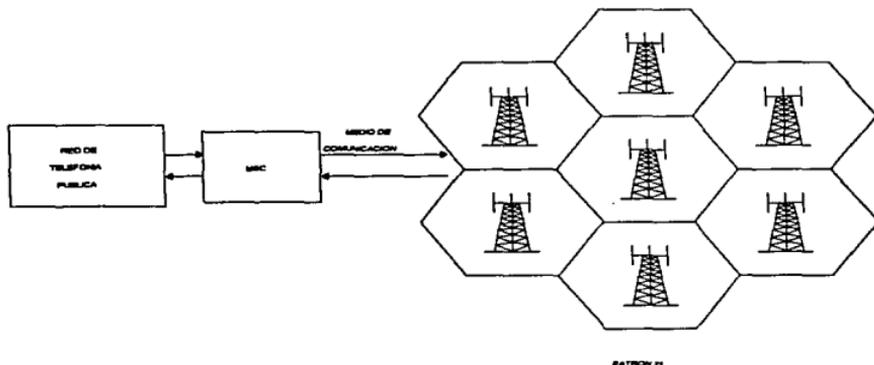
### 1.4.3. ESTUDIO DE INTERFERENCIA POR SITIO.

Para cada sitio y sobre todo en donde la cantidad de radio transmisores es más densa, es recomendable determinar el espectro de radio frecuencia al igual que un análisis subsecuente del nivel de interferencia.

Si los resultados de las investigaciones no presentan ningún inconveniente la ubicación de la RBS es aceptada de manera definitiva. Sin embargo en el caso de que el sitio no cumpla con todos los requisitos preestablecidos, se buscará algún otro lugar dentro de la región y se someterá nuevamente a las investigaciones anteriormente mencionadas.

### 1.5. FORMA BÁSICA DE UNA RED CELULAR:

La Figura # 1.5.0.0. muestra una estructura básica de una red de telefonía celular:



**FIGURA # 1.5.0.0.: DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UNA RED CELULAR.**

Esta estructura está compuesta por tres grupos principales que son:

1. **MSC: Mobile service switching center** o central de comunicación de telefonía móvil; es la interface entre la red móvil y otras redes públicas conmutadas u otras centrales MSC de la misma red móvil. También se le conoce como MTX o MTSO.
2. **RBS: Estación de radio base**; así se le denomina al equipo de radio que se emplaza en un mismo lugar y que es asignado a una o a varias células.
3. **Red de transmisión**: Es el medio de transmisión entre la MSC y las RBS's. Este medio puede ser tanto un sistema de microondas como de fibra óptica o también una línea física como el cable coaxial.

### **1.6. ENTONACIÓN Y DESEMPEÑO DEL SISTEMA.**

La entonación es una función que se aplica después de que el sistema ha sido puesto en servicio por lo menos durante un par de meses y de ser usado con fines comercial. Después de haber llevar a cabo un análisis extenso de los datos de tráfico producido por el sistema, se establecen medidas que deberán ser adoptadas para que la globalidad del sistema se acople a la distribución real de la demanda. Las medidas que se adoptarán en este proceso son:

1. El ajuste de parámetro para desviar el tráfico de una célula congestionada hacia una célula vecina con una baja carga de tráfico.
2. El cambiar los parámetros de comunicación con la finalidad de optimizar la capacidad de manejo de tráfico del sistema.
3. El aumentar la cantidad de canales de radio de las células congestionadas y/o reducir el número de canales de radio en las células con menor tráfico del esperado.
4. El nivel de calidad del servicio celular es determinado en base a la cuantificación de los parámetros señal a ruido y señal a interferencia abreviados como "C/N" y "C/I" respectivamente. Estos dos parámetros deben de cumplir con ciertas condiciones para que el desempeño del sistema sea el adecuado a todo lo largo del área de cobertura. La medición de los parámetros C/N y C/I se vuelve mucho más indispensable cuando se involucra el reuso de frecuencia, es decir cuando se repite el patrón 7/21 ( o cualquier otro patrón ). La determinación de éstos dos parámetros es significativa siempre y cuando se involucre a todo el sistema como un conjunto y no como coberturas aisladas.

## **CAPITULO II**

### **INTRODUCCION AL SISTEMA CMS 88.**

#### **2.1. GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA CMS 88.**

El sistema CMS 88 está diseñado para que funcione de manera totalmente automático y bajo los requerimientos de la norma EIA/TIA 553 al igual que la norma UK-TACS.

Este sistema fue puesto en operación de manera comercial desde marzo de 1984 y hoy en día es el más difundido mundialmente dado su diseño modular que es lo suficientemente compacto para acoplarse a cualquier necesidad y sistema.

La arquitectura del sistema CMS 88 se compone de 3 principales grupos los cuales son la unidad móvil (MS), la estación de radio base (RBS) y la central de conmutación de telefonía móvil (MSC) siendo este último el núcleo del sistema y la interface hacia la Red de Telefonía Pública Conmutada denominada como PSTN o la Red Digital Integral conocida también como RDI.

La finalidad de la MSC es la de manejar el tráfico generado por los abonados entre la red móvil y otras redes conmutadas u otras MSC's por medio de funciones Inter-Centrales y de un Roaming Automático. Su capacidad máxima de tráfico generado es de 65000 abonados aproximadamente.

Otra función de la MSC es la de recopilar la suficiente información sobre las condiciones del tráfico para establecer una planeación en base a la creciente demanda de tráfico y de la entonación del sistema.

La MSC a parte de proporcionar al abonado los mismos beneficios que la PSTN, también cuenta con la ventaja de incorporar nuevas funciones y facilidades al sistema tanto al servicio del abonado como en el monitoreo del sistema.

Los principios bajo los cuales fue diseñado el sistema CMS 88 son los siguientes:

1. Bajo en su Costo dada su flexibilidad para acoplarse a cualquier tamaño y configuración deseada.
2. Múltiples servicios para el abonado en el sistema celular procurando mantenerlos dentro de un nivel de calidad.
3. Flexibilidad en adaptarse gradualmente al ritmo creciente que presente la demanda de tráfico.
4. Versatilidad en el manejo de toda clase de teléfono móvil.

## 2.2. CONFORMACIÓN DE LA BANDA AMPS Y DE LA BANDA ETACS.

El sistema AMPS tiene un ancho de banda tanto en transmisión como en recepción de 25 MHz de los cuales 20 MHz están destinados tanto para la banda A como para la banda B. A su vez estas 2 bandas se encuentran subdivididas por canales numerados que cuenta tanto con una frecuencia de transmisión como con una frecuencia de recepción. La separación entre canales consecutivos es de 30 KHz dando así una cantidad de 666 canales. La separación entre la frecuencia de transmisión y la de recepción por canal es de 45 MHz.

Los 5 MHz restantes corresponden a los canales ubicados entre el 667 al 799 y del 991 al 1023 correspondientes a las bandas extendidas A', A" y B' conocidos como "Wrap-Around" como se muestra en la Tabla # 2.2.0.1.

SISTEMA	ANCHO DE BANDA	CANTIDA DE CANALES	RANGO DE LOS CANALES	FRECUENCIA DE RECEPCIÓN [MHz]	FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN [MHz]
NO SE USA	-	1	( 990 )	( 824.010 )	( 869.010 )
A"	1 MHz	33	991 1023	824.040 825.000	869.040 870.000
A	10 MHz	333	1 333	825.030 834.990	870.030 879.990
B	10 MHz	333	334 666	835.020 844.980	880.020 889.980
A'	1.5 MHz	50	667 716	845.010 846.480	890.010 891.480
B'	2.5 MHz	83	717 799	846.510 848.970	891.510 893.970

TABLA # 2.2.0.1.: CONFORMACIÓN DE LA BANDA AMPS.

El sistema ETACS tiene un ancho de banda de 33 MHz tanto en transmisión como en recepción. La separación entre los canales consecutivos es de 25 KHz dando así una cantidad de 1320 canales, mientras que la separación entre la frecuencia de transmisión y la de recepción es de 45 MHz, como se muestra en la Tabla # 2.2.0.2.

SISTEMA	ANCHO DE BANDA	CANTIDA D DE CANALES	RANGO DE LOS CANALES	FRECUENCIA DE R <sub>t</sub> DE LA RBS [MHz]	FRECUENCIA DE T <sub>t</sub> DE LA RBS [MHz]
ETACS	17.975 MHz	719	1329 2047	872.0125 889.9625	917.0125 934.9625
	15.025	601	0 600	889.9875 904.9875	934.9875 949.9875

TABLA # 2.2.0.2.: CONFORMACIÓN DE LA BANDA ETACS

### 2.3. POTENCIA DE TRANSMISIÓN DE LAS ESTACIONES MÓVILES.

Existen tres sistemas básicos de estaciones móviles (MS), los cuales están catalogados dependiendo de la manera en que esta conformada su instalación como a continuación se define:

1. Una estación móvil montada en un vehículo en la cual la antena está físicamente ubicada en la parte externa del vehículo corresponde a una instalación o a una estación del tipo SCM-1. También puede corresponder a una estación del tipo SCM-2 si puede ser transportada como se ilustra en el siguiente caso.
2. Una estación que puede ser transportada de manera manual y en la cual la antena no esta físicamente fija al equipo que contiene el microteléfono, a este tipo de instalación se le conoce como una estación SCM-2.
3. Una estación manual portátil en el cual la antena puede estar físicamente fija a la parte del equipo que contiene el microteléfono, corresponde a una estación SCM-3 ó a una estación SCM-4

En el sistema AMPS existen sólo 3 tipos de SCM mientras que en el sistema ETACS existen 4 tipos de SCM. El nivel de la SCM va en acorde con el nivel máximo de potencia de transmisión que puede manejar la MS; mientras más potente sea la MS más se acerca al tipo de SCM-1 que cuenta con ocho diferentes niveles de potencia de salida. Un MS debe de tener la capacidad de reducir su energía de salida en etapas de 4 dB conforme se vaya acercando a la RBS con la cual se encuentre enlazado. En caso contrario, la potencia de salida aumentara en etapas de 4 dB conforme se vaya alejando de la RBS.

Este nivel de potencia del MS es monitoreado y comandado vía radio frecuencia por la RBS para mantenerlo dentro de un margen de recepción preestablecido.

En la Tabla # 2.3.0.1. y en la Tabla # 2.3.0.2. se muestran los diferentes niveles de potencias en dBm dependiendo del tipo de SCM

NIVEL DE POTENCIA DE LA ESTACIÓN MÓVIL [PL]	CÓDIGO DE ATENUACIÓN MÓVIL [MAC]	POTENCIA DE SALIDA DE LA ESTACIÓN MÓVIL EN dBm.		
		MÓVIL I	POTENCIAS DE LA ESTACIÓN II	CLASE III
0	000	34.5	30.5	26.5
1	001	30.5	30.5	26.5
2	010	26.5	26.5	26.5
3	011	22.5	22.5	22.5
4	100	18.5	18.5	18.5
5	101	14.5	14.5	14.5
6	110	10.5	10.5	10.5
7	111	6.5	6.5	6.5

TABLA # 2.3.0.1.: POTENCIA DE SALIDA DE LA MS EN AMPS.

NIVEL DE POTENCIA DE LA ESTACIÓN MÓVIL [PL]	CÓDIGO DE ATENUACIÓN MÓVIL [MAC]	POTENCIA DE SALIDA DE LA ESTACIÓN MÓVIL EN dBm			
		MÓVIL SCM-1	ESTACIÓN SCM-2	POTENCIA SCM-3	CLASE SCM-4
0	000	38.5*	34.5	30.5	26.5
1	001	30.5	30.5	30.5	26.5
2	010	26.5	26.5	26.5	26.5
3	011	22.5	22.5	22.5	22.5
4	100	18.5	18.5	18.5	18.5
5	101	14.5	14.5	14.5	14.5
6	110	10.5	10.5	10.5	10.5
7	111	6.5	6.5	6.5	6.5

\* Solo en este caso la etapa de reducción es de 8 dB.

**TABLA # 2.3.0.2.: POTENCIA DE SALIDA DE LA MS EN ETACS.**

## **2.4. GENERALIDAD SOBRE LA ESTACIÓN DE RADIO BASE (RBS).**

Las Estaciones de radio Base tienen como finalidad la de manejar y la de supervisar tanto la conexión de radio frecuencia cuando existe una llamada en proceso con las estaciones móviles, como también, el enlace entre éstas y el MSC.

Una RBS está básicamente compuesta por cuatro bloques principales que son:

1. El grupo de unidades de Canales de Radio.
2. La unidad de interface entre los Canales de Radio y el MSC.
3. El sistema de distribución y rectificación de energía.
4. El conjunto de unidades de transmisión y de recepción.

### **2.4.1. EL GRUPO DE UNIDADES DE CANALES DE RADIO.**

Este conjunto de unidades de radio se ocupa de establecer y de monitorear las llamadas que se encuentran en proceso y por otra parte, también pueden determinar e identificar las nuevas estaciones móviles que se estén integrando al sistema.

Básicamente son cuatro diferentes tipos de módulos que son instalados en gabinetes acondicionados según las necesidades y capacidades que se requieran. Estos módulos son los siguientes:

1. El canal de voz (V.C.)
2. El canal de control (C.C.)
3. El receptor de intensidad de señal (S.R.)
4. El probador de canal

#### **2.4.1.1. EL CANAL DE VOZ.**

El canal de voz es un transceptor el cual esta compuesto por un transmisor, un receptor y una unidad de control, la cual tiene como función la de supervisar la calidad del enlace ajustando su potencia de salida durante una llamada en proceso con una estación móvil.

#### **2.4.1.2. EL CANAL DE CONTROL.**

El canal de control es físicamente idéntico al canal de voz salvo que su software con el que esta programado, difiere totalmente al de ese último.

Este módulo establece un enlace de comunicación entre la estación móvil y la RBS mientras que la estación móvil se encuentra libre. Durante este tiempo, el canal de control determina cuantos y cuales estaciones móviles libres se encuentran en su área de cobertura. También detecta y determina las nuevas estaciones móviles que se estén accediendo al sistema. Esta función es sumamente útil en cuanto al tiempo de respuesta del MSC al estar "voceando" dentro de su sistema de RBS a una MS en particular.

Por otra parte el canal de control cuenta con un sistema de respaldo el cual activa un canal de voz definido llamado "Canal de Control Redundante", transfiriéndole su "software" cuando este detecta algún problema en su funcionamiento. Todo este procedimiento es controlado por el MSC.

#### **2.4.1.3 . EL RECEPTOR DE INTENSIDAD DE SEÑAL.**

El receptor de intensidad de señal cuenta con su propio programa y este difiere físicamente al V.C. y al C.C. Este módulo consiste de un receptor y de una unidad de control con la cual mide la potencia de la señal recibida de las estaciones móviles. Posteriormente estas mediciones son proporcionadas al MSC para su análisis. Los resultados obtenidos son determinantes para llevar a cabo una transferencia de una llamada en proceso a una célula más conveniente para mantener una calidad de habla adecuada en el enlace establecido. A esta transferencia se le conoce como "Hand-off".

El Hand-off se produce cuando una estación móvil cuya llamada en proceso presenta un nivel de señal insuficiente y el cual no puede ser compensada ni con la incrementación de la potencia de salida del propio MS. En ese momento el MSC determina que célula vecina tiene un mejor nivel de señal para transferir la llamada en proceso a dicha célula siempre y cuando esta no este congestionada.

Cuando el receptor de intensidad de señal presenta una falla en su funcionamiento el MSC lo detecta y activa un canal de voz determinado, conocido como "Receptor de Intensidad de Señal Redundante" para suplirlo cargándolo con su software a pesar de que sean físicamente diferentes.

#### **2.4.1.4. EL PROBADOR DE CANAL.**

El probador de Canal permite al operador realizar pruebas funcionales al canal de control, al canal de voz y al receptor de intensidad de señal. Los resultados de la prueba son enviados al MSC a través de un enlace digital PCM de primer orden de 2 Mb/s. Solo existe un probador de canal por RBS independientemente de que ésta sea sectorial, bidireccional u omnidireccional. Es factible conectarle hasta un máximo de nueve antenas transmisoras y tres pares de antenas receptoras.

#### **2.4.2. LA UNIDAD DE INTERFACE ENTRE EL MSC Y LOS CANALES.**

La unidad de interface está formada por un conjunto de módulos ubicados en un sólo gabinete y conocido como ERI. Estos módulos son los siguientes:

1. POU (Power Unit)
2. MUX (Equipo Multiplexor)
3. IOIM (Input Output Interface Module)
4. EMRP (Extensión Module Regional Processor)
5. STR (Signalling Terminal Regional)
6. MDIO (Message Distributor Input Output)

##### **2.4.2.1. POU.**

El "Power Unit" es un convertidor de corriente directa de una capacidad de 200 Watts y que alimenta a todos los módulos anteriormente mencionados. Por lo general cada gabinete ERI está equipado con 2 convertidores. Estos POU's son necesarios debido a que los rectificadores de los RBS's proporcionan un voltaje rectificado de + 24 V C.D. y el equipo del ERI trabaja con - 48 V C.D.

##### **2.4.2.2. MUX.**

Es un multiplexor el cual convierte 30 canales de voz en un canal de señalización común de 2,048 Mb/s para flujo de PCM. Un magazin MUX extra es colocado en el bastidor por si es necesario usar más de 30 canales de voz. En este caso es necesario instalar un STC en la central y un STR en el bastidor ERI para contar con un enlace extra.

##### **2.4.2.3. IOIM.**

Es una unidad de supervisión que cuenta con diferentes elementos como por ejemplo las alarmas. Por otra parte también permite el acceso al sistema de la RBS a través de una terminal tanto para monitorear el estado de su dispositivo como para programarlos.

Las alarmas externas tienen la finalidad de supervisar el sitio y son automáticamente enviadas hacia el MSC. Es posible conectar hasta 32 alarmas externas en el IOIM, entre las cuales las más comunes son:

1. Detector de humo.
2. Alta temperatura en el contenedor.
3. Contacto de puesta.
4. Falla de fusible en los rectificadores.
5. Baja de voltaje en los rectificadores.
6. Falla en los rectificadores.
7. Falla principal en los rectificadores.
8. Corto circuito en los rectificadores.
9. Alimentación principal de corriente alterna (C.A.)
10. Alarma principal del sistema de alumbrado.
11. Luces de obstrucción de la torre.
12. Alarma para bastidor de PCM.

#### **2.4.2.4. EMRP.**

El procesor Regional del Módulo de Extensión tiene la finalidad de controlar a los diferentes canales de la estación base por medio del envío de señales de información hacia cierto canal. Al mismo tiempo supervisa los canales para verificar cual de ellos tiene un mensaje que mandar.

Una vez que se haya decidido el número de V.C. requeridos en una RBS en particular, resulta fácil determinar el número requerido de EMRP's en la estación base. Un EMRP tiene la capacidad de manejar 8 C.C., 8 S.R., 2 C.T. y 32 V.C.. El EMRP por lo general está respaldado por un EMRP redundante por si surge alguna falla en el EMRP en servicio.

#### **2.4.2.5. STR.**

La unidad STR forma parte del enlace de control entre el procesador central en el MSC y los EMRP's. Esta unidad tiene la función y la capacidad de monitorear hasta 32 EMRP's. Generalmente la cantidad de STR está en función de la cantidad de los multiplexores. Por cada MUX existe un STR.

#### **2.4.2.6. MDIO**

Este magazín provee una interface de señalización entre los canales de la Estación Base y el EMRP. Dependiendo de la configuración de la RBS y la cantidad de V.C., el bastidor se equipará con uno o con 2 magazines MDIO. Cada magazín está equipado con 2 tarjetas de una capacidad de 16 canales.

El multiplexor en el bastidor ERI tiene la capacidad de multiplexar el enlace PCM de 2.048 Mb/s en 30 canales analógicos correspondientes a los 30 módulos de voz de la RBS. También el multiplexor tiene la versatilidad de multiplexar en sentido inverso a los 30 canales en el enlace PCM.

Dentro de este flujo de información se encuentra contenido información de señalización enviada por la central. En la RBS, ésta señalización es extraída por el MUX y envía al Procesador Regional del Módulo de Extensión (EMRP) a través de un STR localizado en el ERI.

El EMRP tiene como finalidad la de controlar los diferentes canales de la RBS a través del MDIO que le sirve de interface entre ellos.

Si un canal ha recibido un mensaje que es necesario enviar al MS, este pasa primero por el MDIO para llegar al EMRP. Enseguida el STR supervisa el MUX: para posteriormente llegar al MSC a través de un enlace digital.

#### **2.4.3. EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y DE RECTIFICACIÓN DE ENERGÍA.**

Los RBS's son alimentados externamente por un suministro de energía trifásico y rematado en un gabinete conocido como BAF. En dicho gabinete se cuenta con un interruptor trifásico de barras de 50 Amp. el cual alimenta a un centro de carga de 16 elementos. Este centro de carga controla la alimentación de diferentes dispositivos que son:

1. Las luces de obstrucción de la torre.
2. El alumbrado interno del contenedor en conjunto al dispositivo de encendido de emergencia.
3. La alimentación de las tomas polarizadas de corriente del contenedor.
4. La unidad detectora de fase.
5. La alimentación de los aires acondicionados.
6. La alimentación de los diferentes rectificadores.

Todos estos dispositivos cuentan con una tierra física común la cual se encuentra interconectada al Neutro proporcionado con el suministro de energía externo.

##### **2.4.3.1. LUCES DE OBSTRUCCIÓN.**

Las luces de obstrucción se encuentran ubicadas en la parte alta de la torre en donde se localizan las antenas del sistema y tienen la finalidad de prevenir a las aeronaves de la existencia y altura de la estructura de la torre. Su encendido es controlado de manera automática a través de un sistema de fotoceldas.

##### **2.4.3.2. ALUMBRADO INTERNO Y TOMAS DE CORRIENTE.**

Se cuenta con un sistema de alumbrado el cual es respaldado por un sistema de alumbrado de emergencia. Cuando el suministro de energía externo es interrumpido el sistema de alumbrado de emergencia es activado y alimentado por el banco de batería de soporte de 24 V c.d. Las tomas de corriente no tienen soporte de energía al momento de una interrupción.

### 2.4.3.3. DETECTOR DE FASE.

Una de las finalidades del detector de fase es la de verificar si el orden fasorial del suministro de energía es el correcto.

Por otra parte cuando el suministro de energía es interrumpido el detector de fase genera una alarma que es enviada al MSC a través del MDIO del ERI.

### 2.4.3.4. AIRES ACONDICIONADOS.

se cuenta para cada contenedor con un sistema de enfriamiento conformado por 2 aires acondicionados de 220 V c.a. de una capacidad de 40 m<sup>2</sup>. Para balancear el sistema trifásico, el primer aire acondicionado es alimentado con la fase 1 y 2 mientras que el segundo aire acondicionado con la fase 2 y 3.

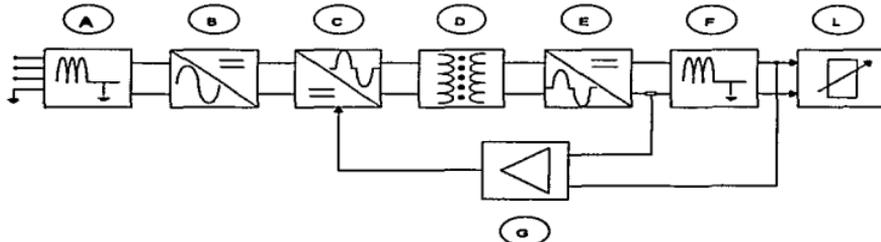
Otra ventaja funcional de distribuir las cargas del sistema de enfriamiento de esta manera, es la de contar con un 66.66% de que por lo menos uno de los dos aires acondicionados siga funcionando si llegara a fallar la fase 1 o 3. El 33.33% restante correspondería en el caso de que fallara la fase N° 2.

### 2.4.3.5. RECTIFICADORES.

Cada RBS cuenta con un sistema de rectificadores de 230 V c.a. a 24 V c.d. los cuales suministran energía tanto al equipo de comunicación como al sistema de baterías de respaldo el cual entra en funcionamiento en cuanto surge una interrupción total del suministro de energía.

Los rectificadores son equipos modulares que se van integrando al sistema según vaya creciendo la demanda de equipos en la RBS. La cantidad máxima de rectificadores por RBS es de 6 módulos, 2 por gabinete.

A continuación en la Figura # 2.4.3.5. se muestra a bloques, la composición interna de uno de estos rectificador.



**FIGURA # 2.4.3.5.: DIAGRAMA A BLOQUES DE UN RECTIFICADOR.**

El bloque A es alimentado con una caída de tensión de 230 V c.a. y aterrizado con una tierra física común a todo el equipo de la RBS. Esta caída de tensión es procesada a través de un filtro supresor de armónicas y enviada directamente al bloque B, el cual consiste en un puente rectificador seguido por un preregulador.

La caída de tensión de corriente directa proveniente del bloque B es convertido a una voltaje de corriente alterna de 40 KHz en el inversor del bloque C, también es donde el voltaje y la regulación de la corriente del rectificador es controlado por pulsos anchos de control provenientes del bloque G.

El transformador del paso D baja el voltaje de alta frecuencia y es rectificado en el bloque E. El voltaje rectificado es saturado a la salida del filtro F en cuanto se le aplica una carga L.

El bloque G es un circuito de control que supervisa tanto el nivel de voltaje como el nivel de corriente consumido por la carga L. Estas variaciones del nivel son procesadas en el bloque C y compensadas de manera instantánea de manera a satisfacer la demanda de potencia de la carga.

Sin embargo si el circuito de supervisión detecta una sobre carga mayor a los 35 V c.d., el rectificador de manera automática deja de funcionar por un lapso de tiempo definido. Si en ese tiempo la sobrecarga sigue siendo superior a los 35 V c.d. el rectificador permanecerá desactivado y generara una alarma de sobre carga que sera enviada a la central MTX.

En el caso de un corto circuito en la salida del rectificador automáticamente se desactivará y sólo se volverá a activar en cuanto el corto circuito sea eliminado. Durante este lapso de tiempo una alarma de corto circuito es generada.

Finalmente cuando el monitor maestro del rectificador detecta que el nivel de alimentación es inferior a los 170 V c.a. este último desactivara el rectificador y sólo será reactivado de manera automática en cuanto el nivel de alimentación alcance los 180 V c.a.

Se cuenta con un sistema de respaldo en caso de alguna falla eléctrica que consta de uno a dos bancos de baterías. Cada banco de baterías esta conformado por 12 baterías conectadas en serie. Cada banco está conectado en paralelo en la salida del sistema de rectificadores tantos para ser cargados como para proporcionar energía en caso de que los rectificadores no tengan la capacidad de hacerlo.

### 2.4.3.6. CLASIFICACIÓN DE TENSIONES.

A continuación en la Tabla # 2.4.3.6. se muestran las variaciones de voltaje de las baterías según en el estado de operación que se encuentre el rectificador.

CONDICIONES DE OPERACIÓN	NIVEL DE VOLTAJE POR BANCO	NIVEL DE VOLTAJE POR BATERIA
VOLTAJE FLOTANTE	27. V c.d.	2.25 V c.d.
VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO	26.8 V c.d.	2.23 V c.d.
VOLTAJE DE CARGA	28.2 V c.d.	2.35 V c.d.

**TABLA # 2.4.3.6.**

#### **VOLTAJE FLOTANTE:**

Es cuando el nivel de voltaje entregado por el banco de baterías es igual al que es entregado por el sistema de rectificadores. Generalmente este voltaje se alcanza cuando no existe ninguna carga que alimentar.

#### **VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO:**

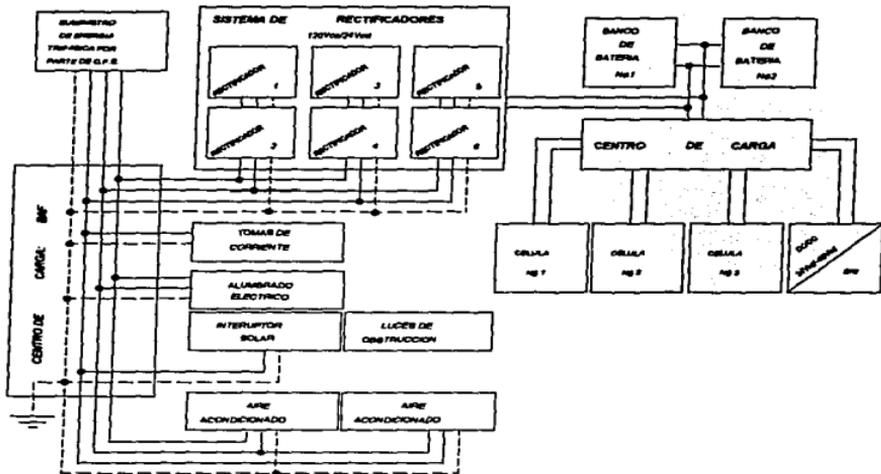
Es el voltaje que normalmente es entregado por el sistema de rectificadores y por el sistema de bancos de batería en conjunto al responder a la carga requerida cuando el sistema de telefonía celular es puesto en funcionamiento.

#### **VOLTAJE DE CARGA:**

Es el voltaje que proporciona el sistema de rectificadores a los bancos de baterías para recargarlos después de que estos sufrieron una descarga por alguna falla eléctrica.

### 2.4.3.7. DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.

En la Figura # 2.4.3.7. se muestra a bloques la distribución eléctrica de una Radio Base típica.



**FIGURA # 2.4.3.7.: DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE UNA RBS TÍPICA.**

El sistema de rectificación cuenta con un centro de carga que controla la alimentación de los gabinetes de las células A, B y C al igual que la alimentación del convertidor de +24 V c.d./-48 V c.d. del gabinete ERI.

#### **2.4.4.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**

El sistema de transmisión está compuesto por 4 combinadores por célula. Cada combinador tiene la capacidad de conjuntar 4 diferentes frecuencias de transmisión provenientes de 4 canales de voz. Los combinadores están interconectados por un Star-Net que los conecta a través de un cable denominado "Feeder", a una antena de transmisión. Existe un sistema de supervisión conocido como PMU, Power Monitoring Unit, entre el Star-Net y el Feeder de la antena. El PMU tiene como finalidad la de monitorear tanto la potencia de salida como la potencia reflejada del sistema de transmisión. Si la potencia reflejada es exageradamente alta, se genera una alarma que a través del ERI es enviada al MSC.

#### **2.4.4.2. SISTEMA DE RECEPCIÓN.**

El sistema de recepción esta compuesto por dos antenas de recepción las cuales están interconectados cada una a un amplificador pasivo denominado multicoupler a través de un Feeder.

Cada multicoupler tiene la capacidad de conectarse a 48 canales de recepción y a dos S.R.'s. La señal de recepción es distribuida a través de un módulo conocido como Power Splitter. En caso de que falle un multicoupler o algún elemento de la rama A de recepción, la rama B seguirá proporcionando la señal recibida a los canales de recepción conectados. A su vez se generaría una alarma que a través del ERI llegaría al MSC.

## CAPITULO III

### PROPAGACION DE RADIO FRECUENCIA EN BASE A LA ANTENA.

#### 3. TIPO BÁSICO DE ANTENAS.

En la arquitectura de los paneles celulares, la selección de antenas es fundamental dado a que en parte estas son las que definen la forma de propagación de radio frecuencia.

Prácticamente en los sistemas celulares se cuenta con tres diferentes tipos de antenas que son:

1. - Las antenas Omnidireccionales conocidas como Colineales
2. - Las antenas Unidireccionales o Sectoriales
3. - Las antenas Bidireccionales.

Existen casos especiales en donde se requiere una combinación de antenas Unidireccionales conocido como:

4. - Sistema de Antenas "Underlaid" y "Overlaid"

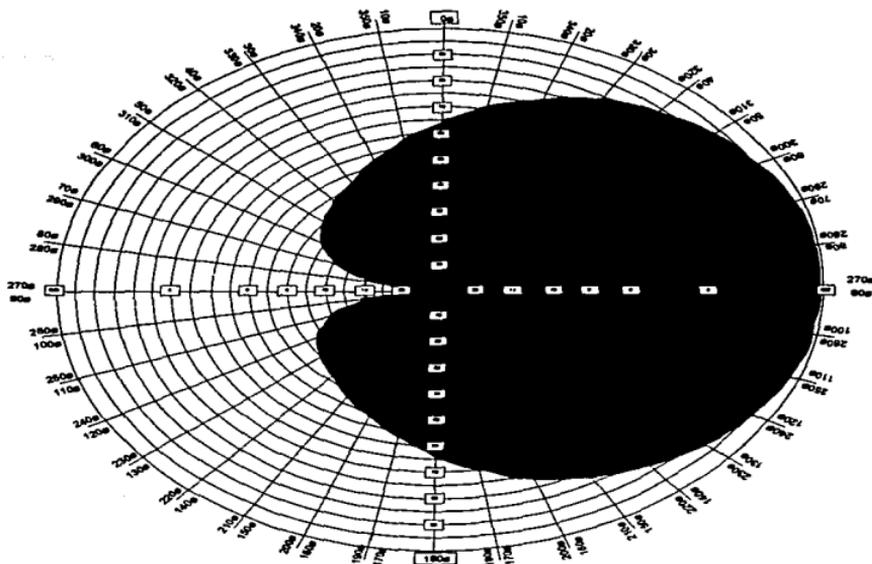
#### 3.1. ANTENAS OMNIDIRECCIONALES.

Las antenas Omnidireccionales tienen un patrón de radiación uniforme en un plano horizontal como se muestra en la Figura # 3.1.0.0.

La potencia radiada en una antena omnidireccional es proporcional al número de dipolos (o elementos) alimentados de manera correcta para obtener la potencia y la fase correcta en cada uno de los elementos dipolos.

Este tipo de antena recibe también el nombre de antena colineal. Los estándares típicos de ganancia para las antenas colineales son 0, 3, 6 y 9 dB. la ganancia de una antena es principalmente limitada a su tamaño físico; mientras mayor sea su tamaño, mayor es su ganancia. Por ejemplo una antena colineal de 9 dB de ganancia y de un rango de frecuencia de 800 a 900 MHz tiene un tamaño de tres metros. Su forma física es la de un cilindro de 4" de diámetros la cual es instalada verticalmente.

Este tipo de antenas son frecuentemente usadas cuando por primera vez es instalada una red celular en una nueva área. La ventaja de usar este tipo de antenas en una área virgen es que es posible dar servicio a una gran extensión con una potencia máxima por Canal de Voz y con un mínimo de RBS's. La desventaja de aplicar este tipo de método es que la capacidad de servicio a la larga se vuelve insuficiente como vaya creciendo el tráfico de abonados en la región.

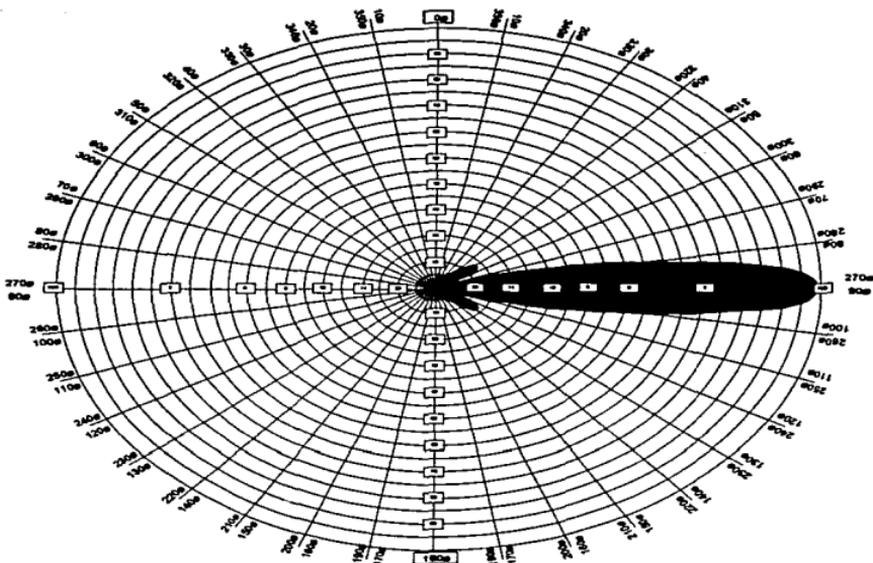


**FIGURA # 3.1.0.0. PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA OMNIDIRECCIONAL EN EL PLANO HORIZONTAL.**

### **3.2. ANTENAS UNIDIRECCIONALES.**

Las antenas unidireccionales, también conocidas como antenas sectoriales, tienen un patrón de radiación horizontal no uniforme como se muestra en la Figura # 3.2.0.0. La potencia radiada se concentra en una dirección. Los medios para controlar el ángulo de apertura de radiación de una antena de este tipo se hace a través de una combinación de reflectores.

Cuando en una red celular se requiere integrar uno o más RBS's para responder a la creciente demanda de servicio generada por los abonados, se lleva a cabo un análisis de saturación de servicio para determinar las regiones en donde se ubicaran las futuras RBS's. En caso de existir RBS's con antenas omnidireccionales, estas serán convertidas a RBS's con antenas sectoriales y con una área de programación de radio frecuencia menor a la que se tenía anteriormente para dar cabida a las nuevas RBS's sectoriales.



**FIGURA # 3.2.6.6. PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA UNIDIRECCIONAL EN EL PLANO HORIZONTAL.**

Como existe un número limitado de frecuencia es necesario recurrir a RBS's con células sectoriales con el fin de aplicar un plan de reuso de frecuencias. Este método está diseñado de manera que no puede existir interferencia entre frecuencias idénticas ubicadas en diferente RBS's. Para ello se cuenta con diferente métodos de ajuste que a continuación se harán mención.

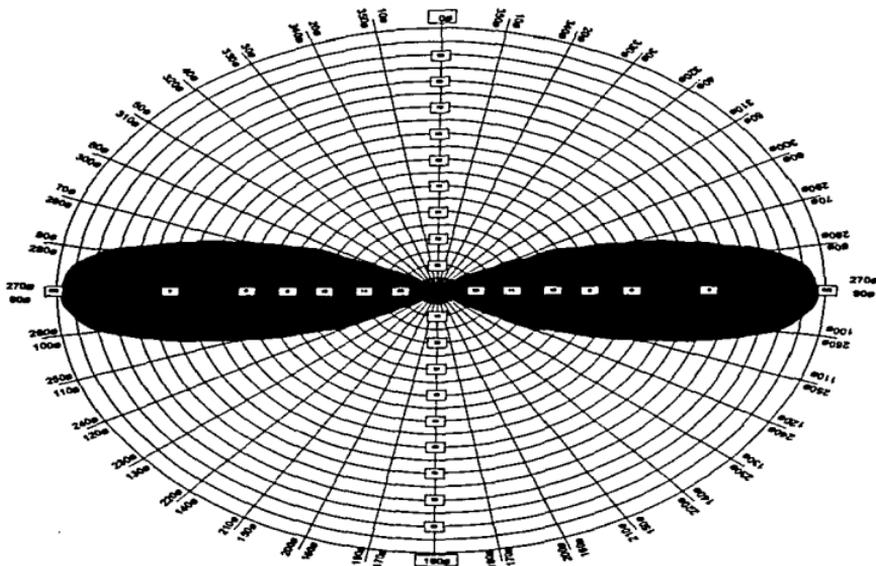
Primeramente se debe reducir la potencia de transmisión de cada una de las RBS's que se encuentren involucradas en la expansión de la red y si no son suficientes estos ajustes será necesario inclinar las antenas de transmisión de cada una de ellas para delimitar más el área de propagación de radio frecuencia de las RBS's involucradas.

### 3.3. ANTENAS BIDIRECCIONALES.

Las antenas bidireccionales no tienen un patrón de radiación uniforme en el plano horizontal. La potencia radiada se concentra en dos direcciones opuestas generalmente de la misma magnitud como se muestra en la Figura # 3.3.0.0.

Este tipo de antenas son principalmente ubicadas a lo largo de carreteras y autopistas para proveer un servicio continuo a las estaciones móviles. La potencia radiada por cada canal de voz en este tipo de RBS's tiende entre 35 a 50 Watts por V.C. para obtener un patrón de radiación máximo.

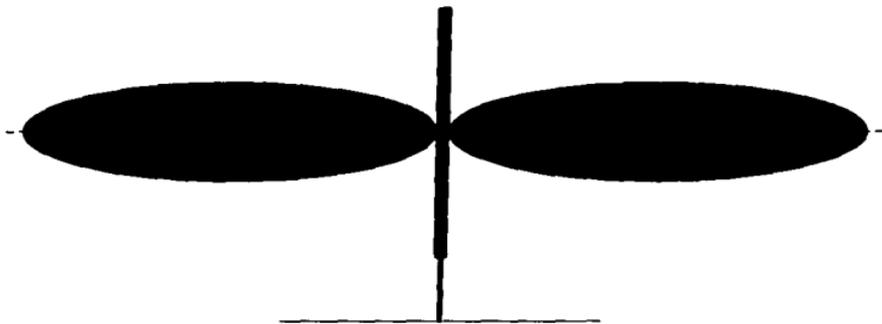
La ventaja que se tiene al contar con un servicio celular a lo largo de una carretera o de una autopista es que siempre se cuenta con una gama de servicios como grúas, mecánicos y más, en caso de alguna emergencia.



**FIGURA # 3.3.0.0. PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA BIDIRECCIONAL EN EL PLANO HORIZONTAL.**

### 3.4. INCLINACIÓN DE ANTENAS.

El punto donde el haz es máximo en una antena montada de manera vertical se ubica a lo largo de una línea imaginaria en el plano horizontal a la mitad de la antena como se muestra en la Figura # 3.4.0.1.



**FIGURA # 3.4.0.1. PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA OMNIDIRECCIONAL SIN INCLINACIÓN EN EL PLANO VERTICAL.**

De acuerdo con esta figura, lo más adecuado sería instalar la antena al nivel del piso para aprovechar el haz máximo de programación de radio frecuencia de la antena. Sin embargo esta solución no es práctica dado al alto riesgo de que el haz se encuentre con obstáculos en su trayectoria.

Por lo tanto para resolver dicha problemática, los fabricantes de antenas inclinan el haz eléctricamente proporcionando así un efecto de radiación, llamado "relleno nulo".

No obstante desde un punto de vista mecánico resultaría más práctico inclinar la antena pero es necesario tomar ciertas consideraciones que en la Figura # 3.4.0.2. se encuentran resumidas.

Para explicar el funcionamiento de la Figura # 3.4.0.2, se mostraran algunos ejemplos básicos que ilustraran su funcionamiento.

GAIN REDUCTION

[ dB ]

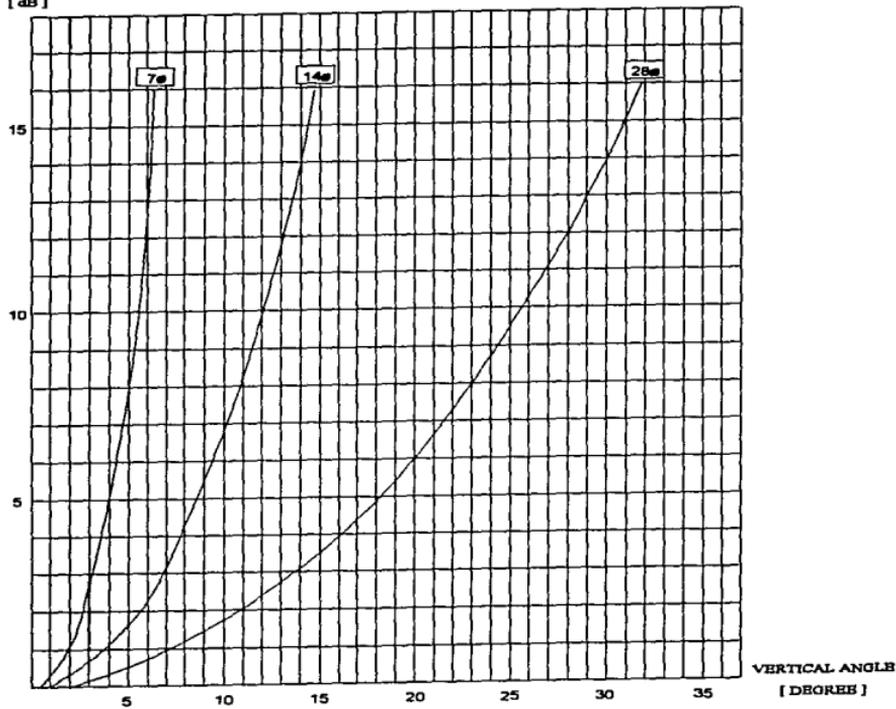


FIGURA # 3.4.0.2. DIAGRAMA DE REDUCCIÓN DE GANANCIA.

### 3.4.1. EJEMPLO N° 1.

Supóngase que una antena direccional con un ancho de haz de  $7^\circ$  se encuentra montada a 200 metros de altura con respecto al nivel del piso como se muestra en la Figura # 3.4.1.0. Inicialmente esta antena no se encuentra inclinada.

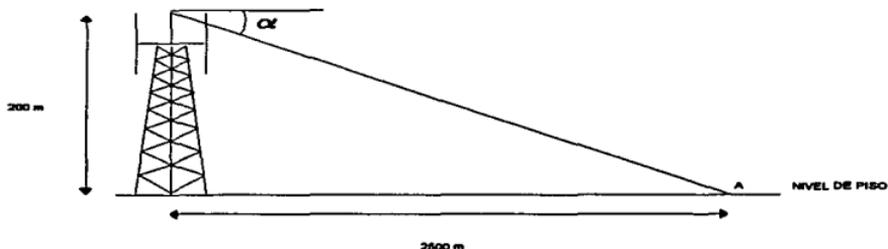


FIGURA # 3.4.1.0. EJEMPLO N° 1.

El nivel de reducción de ganancia en el punto A será:

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{h}{d} = \text{tg}^{-1} \frac{200\text{ m}}{2500\text{ m}} = 4.57^\circ$$

Donde:

- $\alpha$  : Es el ángulo que se forma entre el apuntamiento de la antena y el punto seleccionado.
- h: Es la altura entre la altura máxima de la antena y el nivel de piso .
- d: Es la distancia entre la base de la antena y el punto seleccionado.

En base a la Figura # 3.4.0.2. se seleccionara la curva correspondiente a un ancho de haz de  $7^\circ$  y se hará coincidir con el valor del ángulo  $\alpha$  de  $4.57^\circ$  para determinar su resolución de ganancia. En este caso su reducción de ganancia fue de 7 dB.

### 3.4.2. EJEMPLO N° 2.

Usando el mismo tipo de antena que en el ejemplo anterior, se determinara la reducción de ganancia tanto en el punto A como en el punto B, primeramente como se muestra en la Figura # 3.4.2.0. y posteriormente como se muestra en la Figura # 3.4.2.1.

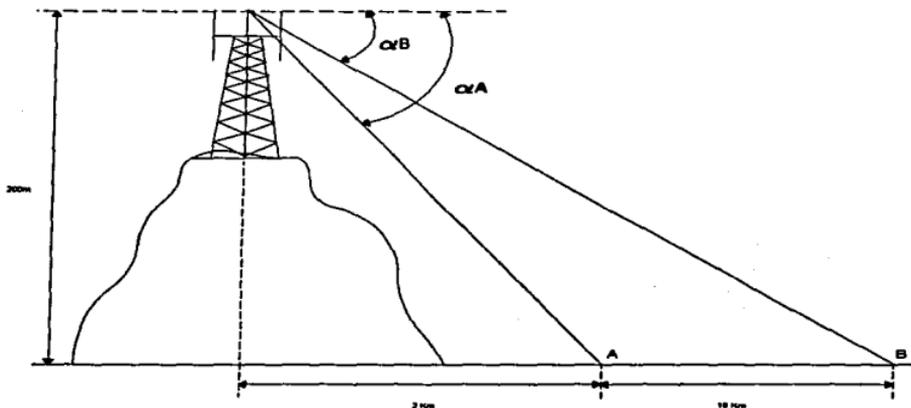


FIGURA # 3.4.2.0. EJEMPLO N° 2

- Sin inclinar la antena, la reducción de ganancia para los puntos A y B son los siguientes:

$$\alpha_A = \text{tg}^{-1} \frac{200}{200} = 5.71^\circ \quad \alpha_B = \text{tg}^{-1} \frac{200}{20000} = 0.57^\circ$$

En base a la Figura # 3.4.0.2. la reducción de ganancia para el punto A es de 10.5 dB y para el punto B es de 0.2 dB.

- Si la antena es inclinada y orientada hacia el punto A como se muestra en la Figura # 3.4.2.1. encontramos que no existe reducción de ganancia en dicho punto como se demuestra en los siguientes cálculos.

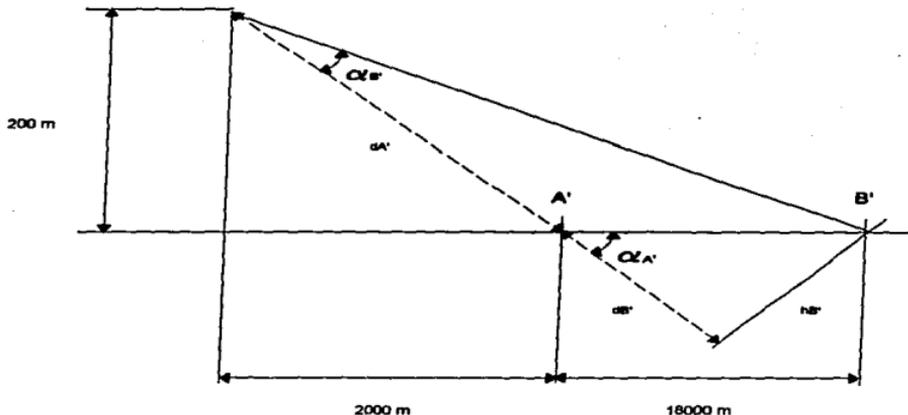


FIGURA # 3.4.2.1.: INCLINACIÓN DE ANTENA

$$d_{A'+B'} = d_{A'} + d_{B'} = \sqrt{200^2 + 2000^2} + \frac{1800}{\cos \alpha_A} = 20099.75 \text{ m}$$

$$h_{B'} = d_{B'} \cdot \text{sen } \alpha_A = 18089.78 \text{ sen } 5.71^\circ = 18000 \text{ m}$$

$$\alpha_{B'} = \text{tg}^{-1} \frac{h_{B'}}{d_{A'+B'}} = \text{tg}^{-1} \frac{18000}{20099.75} = 5.81^\circ$$

$$\alpha_{A'} = \text{tg}^{-1} \frac{h_{A'}}{d_{A'}} = \text{tg}^{-1} \frac{0}{\sqrt{200^2 + 2000^2}} = 0^\circ$$

En base a la Figura # 3.4.2.1. la reducción de ganancia en el punto A es de 0 dB ya que la trayectoria de propagación de la antena se encuentra en línea de vista con dicho punto mientras que en el punto B la reducción de ganancia es de 8 dB.

Por lo general se aconseja la inclinación de la antena como una solución a los problemas de interferencia. Sin embargo no siempre es conveniente cambiar las condiciones de inclinación en un sistema de rejillas celulares uniformes sin antes realizar un análisis previo, como se muestra en los siguientes casos de interferencia.

### 3.4.3. EJEMPLO N° 3.

En la Figura # 3.4.3.0. se situaron tres RBS's idénticas de manera uniforme las cuales están constituidas por 3 grupos de frecuencia cada una, dentro de un patrón regular de 4/12 y el tipo de antenas utilizadas tienen un ancho de haz de 14 grados.

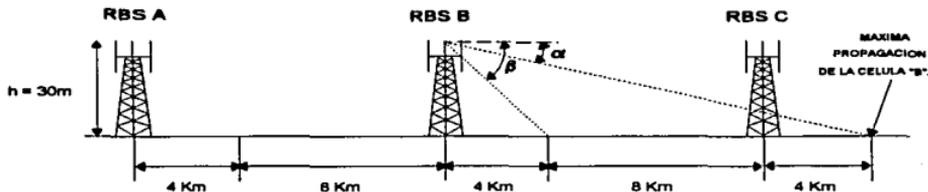


FIGURA # 3.4.3.0. EJEMPLO N° 3.

Supongamos que existe un problema de C/I (carrier / Interference) en la célula de la RBS "C" ocasionado por una interferencia originada desde la célula de la RBS "B". Calculamos la reducción de ganancia en el punto máximo de la célula de la RBS "C" y de la célula de la RBS "B" desde la antena de la RBS "B".

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{30}{16000} = 0.11^\circ \quad \beta = \text{tg}^{-1} \frac{30}{4000} = 0.43^\circ$$

Por lo tanto en base a la Figura # 3.4.0.2. la reducción de ganancia es 0 dB y de 0.2 dB respectivamente.

Por razones de simetría se puede afirmar que la reducción de ganancia en el máximo de propagación de la RBS "C", ejercida por su propia antena es de 0.2 dB. Comparando esta reducción que es mayor a la de 0 dB ejercida por la antena de la RBS "B" se denota que esta última propagación es el punto máximo de C y que es mejor que la que produce su propia antena. Por lo tanto se produce un fenómeno de interferencia conocido como C/I que en el capítulo VI se explicara más a detalle. Este mismo fenómeno se presenta para la propagación máxima de B con respecto a la antena instalada en la RBS "A".

Supóngase que se requiere variar el C/I en el punto máximo de propagación en C con una reducción de ganancia de 6.5 dB. Esta reducción debe ser lograda con la inclinación de la antena en la RBS "B". Para nuestro caso se necesita una inclinación aproximadamente de 10 grados.

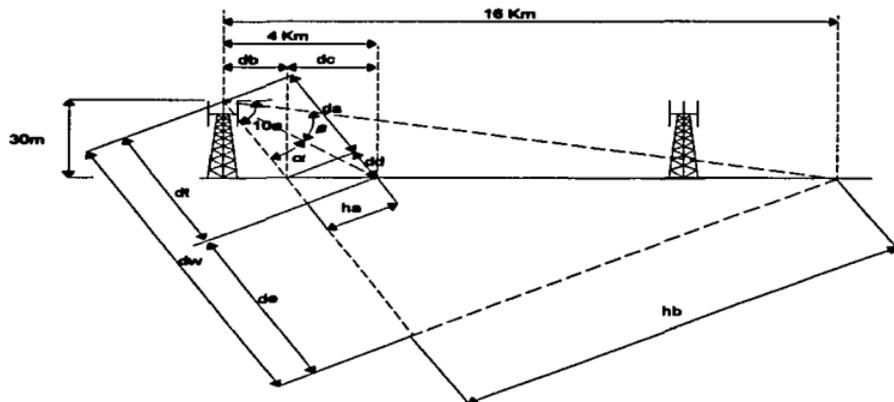


FIGURA # 3.4.3.1. EJEMPLO PARA MEJORAR EL C/I.

$$d_s = \frac{30}{\sin 10^\circ} = 172.76^\circ$$

$$d_s = 3829.86 \cos 10^\circ = 3771.68m$$

$$d_b = 172.76^\circ \cos 10^\circ = 170.14m$$

$$d_t = 172.76 + 3771.68 = 4002.62m$$

$$d_c = 4000 - 170.14 = 3829.86m$$

$$h_s = d_c \sin 10^\circ = 3829.86 \sin 10^\circ = 665.05m$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{h_s}{d_t} = \text{tg}^{-1} \frac{665.05}{4002.62} = 9.43^\circ$$

En base a la Figura # 3.4.0.2., la reducción de ganancia en la propagación máxima de la RBS "B" es de 6 dB.

Cálculo de la reducción de ganancia para el punto máximo de propagación de la RBS "C":

$$d_s = (16000 - d_b) \cos 10^\circ = 15589.37m$$

$$d_w = d_s + d_a = 15589.37 + 172.76 = 15762.13m$$

$$h_b = (16000 - d_b) \sin 10^\circ = 2748.83m$$

Por lo tanto:

$$\beta = \text{tg}^{-1} \frac{h_b}{d_w} = \text{tg}^{-1} \frac{2748.83}{15762.13} = 9.89^\circ$$

En base a la Figura # 3.4.0.2., la reducción de ganancia en la propagación máxima de la RBS "C" con respecto a la célula de "B" es de 6.5 dB

A partir de estos resultados probablemente se produzcan problemas de C/I en la célula de la RBS "B" ocasionados por la propagación de la RBS "A". Por lo tanto la inclinación de la antena no es aconsejable.

#### 3.4.4. EJEMPLO N° 4

En la Figura # 3.4.4.0. se muestra una situación similar al del ejemplo anterior salvo que el tipo de antenas utilizadas tienen un ancho de haz de 7 grados.

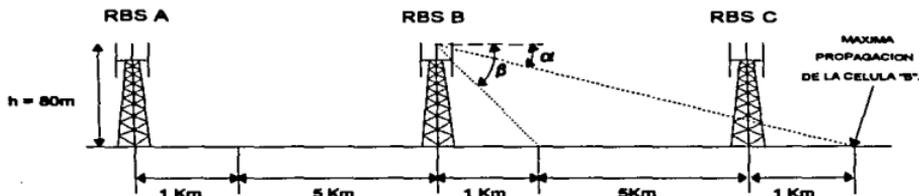


FIGURA # 3.4.4.0.: EJEMPLO N° 4.

Las reducciones de ganancias en la propagación máxima de la RBS "B" y de la RBS "C" desde la antena B son:

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{80}{7000} = 0.65^\circ \quad \beta = \text{tg}^{-1} \frac{80}{1000} = 4.57^\circ$$

En base a la Figura # 3.4.0.2. las reducciones de ganancia son de 6 dB para la propagación máxima de B y de 0.2 dB para C.

Para variar el C/I a 5 dB en la célula C, se requiere de un ángulo de inclinación de 4.57 grados en la célula B. Para obtener este resultado es necesario dirigir el haz máximo en el borde de la célula B lo que mejorara la proporción de C/I tanto en la célula B como en la célula C.

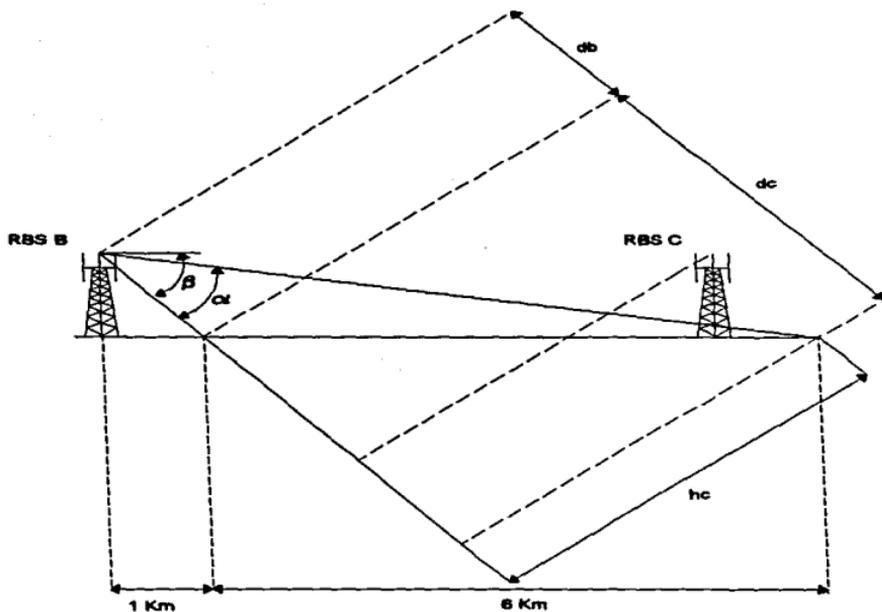


FIGURA # 3.4.4.1.: EJEMPLO N°4.

Determinación del ángulo  $\alpha$  :

$$d_{b+c} = d_b + d_c = \frac{1000}{\cos \beta} + 6000 \cos \beta = 6984.09 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{h_c}{d_{b+c}} = \text{tg}^{-1} \frac{478.47}{6984.09} = 3.92^\circ$$

Por lo que la reducción de ganancia es de 5 dB determinado a partir de la Figura # 3.4.0.2.

Estos ejemplos muestran que la inclinación de las antenas pueden ser un poderoso instrumento para controlar tanto la cobertura de una célula como los problemas de C/I siempre y cuando se haya llevado a cabo un análisis cuidadoso de todos los factores del sistema en conjunto.

### **3.5. CÉLULAS OVERLAID Y UNDERLAID**

Cuando se dice que una célula del sistema se encuentra saturada, nos referimos a que en dicha célula ya no existen V.C.'s libres para responder a la demanda de los abonados que generan un alto índice de tráfico. En este caso se recurre a la inserción de una segunda RBS para aligerar el tráfico de la RBS en cuestión. Sin embargo no siempre es posible aumentar el número de V.C. por medio de una nueva RBS por lo que se recurre a un nuevo procedimiento que se conoce como Células "Overlaid" y "Underlaid". La forma de propagación de ambas células es similar, por lo general son sectoriales. No obstante el área de servicio de la célula Overlaid es siempre menor al de la célula Underlaid. Inicialmente la célula que existía era la Underlaid y posteriormente se le "encimo" la célula Overlaid agregándole de esta manera al área en saturación un número determinado V.C.'s que aligerarán el tráfico de la célula Underlaid.

Una célula Overlaid, también conocida como célula "Superior", se define como un conjunto de canales de voz (V.C.) distribuidos dentro de una área de servicio la cual se encuentra a su vez dentro de otra área de servicio conocida como célula Underlaid, también conocida como célula "Inferior".

Otra característica de la célula Overlaid es que ésta no cuenta ni con un canal de control (C.C.) ni con un receptor de intensidad de señal (S.R.) propio debido a que comparte tanto la antena de transmisión como las antenas de recepción de la célula Underlaid que ya cuenta con un C.C. y un S.R.. Cualquier acceso o Hand-off hacia la célula Overlaid desde la célula Underlaid o viceversa, es controlada por el C.C. y el S.R. de ésta última. El S.R. es quien mide la intensidad de la señal originada por el abonado y a su vez ésta es procesada y clasificada por el MSC quien determinara si se requiere de un Hand-off ya sea desde la célula inferior hacia la célula Superior o viceversa.

La razón principal por la cual se hace uso de las células "Overlaid & Underlaid" es la de incrementar la capacidad de manejo de tráfico sin tener que construir nuevos sitios. Los sitios ideales para aplicar este tipo de sistemas es en las zonas céntricas de las ciudades y en los sitios cercanos a caminos y carreteras en donde el tráfico automovilístico es muy denso.

Ya vimos que el área de propagación de la célula Underlaid es siempre mayor al de la célula Overlaid. Para mantener ésta relación, el nivel de potencia de transmisión de los canales de voz (V.C.) en la célula Superior debe ser atenuado de manera proporcional al "factor de reducción" que es determinado en base a la relación de propagación de radio frecuencias mostrada a continuación:

$$Fr = 10\text{Log}(\text{distancia})^{-4}$$

$$Fr = 40\text{Log}(\text{distancia})$$

Donde: Fr = Factor de reducción.

### 3.5.1. CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN.

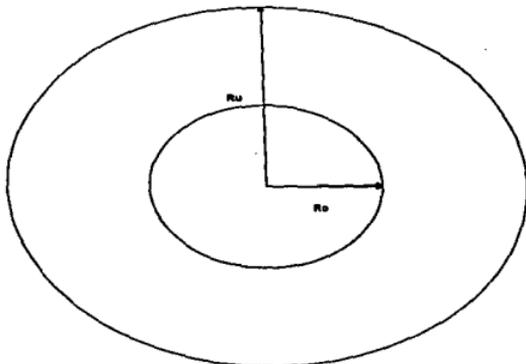


FIGURA #3.5.1.0.: CÉLULA UNDERLAID & OVERLAID.

Donde:

Ru = Radio de la Célula Underlaid

Ro = Radio de la Célula Overlaid

Rr = Radio de Reducción del Sistema

En base a la relación de propagación encontramos que el factor de reducción de la célula superior es:

$$Rr = \frac{Ru}{Ro}$$

$$Fr = 10\text{Log}(Rr)^{-4}$$

$$Fr = 40\text{Log} Rr = [dB]$$

## **CAPITULO IV**

### **ESTADÍSTICAS SOBRE EL TRÁFICO ESTIMADO.**

#### **4.1. CUANTIFICACIÓN DEL TRÁFICO GENERADO.**

La capacidad de respuesta de un sistema celular ante una demanda variable y creciente de abonados esta directamente relacionado con la cantidad de canales de voz disponibles en el sistema de determinada zona.

Es importante saber evaluar la cantidad de tráfico que se pueda generar en las diferentes áreas del sistema para determinar, en el diseño inicial del sistema, la cantidad de V.C.'s que se requerirán por célula y por área. Los criterios que se toman para cuantificar el tráfico posible de determinada zona se basan tanto en la conducta del abonado como en la manera en que el sistema maneja a estos.

Tanto el número máximo de RBS's que se van a instalar como el número de canales de voz que se van a requerir en una nueva red celular están directamente sujetas al área que se pretende dar cobertura y al tráfico que se ha evaluado para dicha área. Sin embargo si la demanda por parte de los abonados crece de tal manera que la capacidad de respuesta del sistema celular se vuelve insuficiente, es necesario incrementar el número de canales de voz en las zonas en donde el tráfico ha saturado al sistema.

Cuando el sistema celular se encuentra en funcionamiento es mucho más práctico calcular la cantidad de tráfico generado por célula ya que se cuenta con una rutina de software en la MSC que calcula las llamadas en proceso que fueron abortadas por saturación en el sistema.

#### **4.2. DEFINICIÓN DE TRÁFICO.**

Un factor decisivo que determinara la cantidad de abonados que compartirán una red móvil, es el de determinar la cantidad de tráfico generado por cada abonado. El tráfico por abonado se define por el número de llamadas efectuadas y por la duración promedio de cada una de ellas en un lapso de una hora.

Se consideran tres teorías diferentes sobre el desarrollo y comportamiento de una llamada en proceso que no logra localizar un canal de voz disponible para establecer un enlace de comunicación a causa de una saturación momentánea del sistema. Estas tendencias son conocidas como las teorías de Poisson, Erlang B y Erlang C.

#### 4.2.1. TEORÍA DE POISSON.

La teoría de Poisson considera que las llamadas en proceso esperan un tiempo indefinido hasta conseguir un canal de voz libre para poder establecer la llamada deseada.

#### 4.2.2. TEORÍA DE ERLANG C.

La teoría de Erlang C considera que las llamadas en proceso no esperan más que un tiempo promedio de ocupación. Si un canal de voz llegase a estar disponible antes de que termine el tiempo de ocupación la llamada se establece y el canal será usado mientras que el abonado lo desee.

#### 4.2.3. TEORÍA DE ERLANG B.

La teoría de Erlang B considera que las llamadas en proceso no esperan lo suficiente la liberación de algún canal de voz para establecer el enlace de comunicación y lo abandonan inmediatamente sin establecer posteriormente otro intento.

La teoría de Erlang B es la más adecuada para determinar la cantidad de canales de voz adecuada por célula, debido a que es la más crítica en cuanto al alto porcentaje de llamadas en proceso sin éxito. Por lo tanto la fórmula de bloqueo Erlang B se adoptara como norma.

La fórmula de bloqueo Erlang es directamente proporcional al producto  $n \times T$  y representa el tiempo por hora que un abonado promedio utiliza el sistema. Como el tráfico puede variar según la hora en que un abonado desee establecer una llamada, la red celular está dimensionada para responder a la hora con más tráfico, conocida también como hora pico.

Fórmula del bloqueo Erlang B por abonado:

$$A = \frac{n \times T}{3600} = [\text{Erlang}]$$

Donde "A" representa el tráfico generado por uno o varios usuarios en un sistema. El tráfico es medido en Erlang en un sistema. El tráfico es medido en Erlang en honor al teórico matemático Danés Agner Krarup Erlang (1878-1929). Por otra parte "T" representa el tiempo promedio de conversación en segundos y finalmente "n" es el número de llamados por abonado durante la hora pico.

### 4.3. EJEMPLO.

Un ejemplo típico de un cliente puede aparecer de la siguiente manera:

tiempo de conservación promedio: 120 seg.  
Número de llamados por abonado: 1  
Número de abonados: 1000

Por lo tanto:

$$A = \frac{n \times T}{3600} = \frac{1 \times 120}{3600} = 33 \times 10^{-3} \text{ [Erlang]}$$

En el caso de los 1000 abonados la densidad de tráfico generada es determinado de la siguiente manera:

$$A \times 1000 = 33 \text{ [Erlang]}$$

Esta es la cifra básica para el cálculo del número de canales requeridos por una red celular.

### 4.4. GRADO DE SERVICIO.

En base a los resultados del ejemplo anterior, si un abonado genera  $33 \times 10^{-3}$  Erlang, esto significa que el usuario en cuestión está haciendo uso de un canal de voz durante un tiempo promedio del 3.3% del tiempo pico, es decir 2 min. Si los 30 abonados generan la misma intensidad de tráfico, el canal de voz sería usado al 100% de su capacidad. En este caso el índice de congestión del canal sería demasiado alto, por lo general el grado aceptable de servicio (GOS) se encuentra ubicado entre un 2 y 5%. Esta cifra define la probabilidad aceptable de congestión del sistema.

Para reducir la congestión de tráfico por canal, es necesario distribuir el tráfico generado entre más canales de voz, por lo que es necesario calcular el número exacto de canales para absorber la demanda de servicio dentro de los parámetros especificados por el grado de servicio, GOS.

### 4.5. CAPACIDAD DE TRÁFICO POR TRONCAL.

Una troncal en el sistema celular tiene una capacidad de 33 canales de voz. Un abonado móvil puede usar cualesquiera de estos canales siempre y cuando por lo menos uno de estos se encuentre libre en el momento de querer establecer un enlace telefónico. Regresando al ejemplo # 4.3.1, la densidad de tráfico que generan los 1000 abonados es de 33 Erlang. Como una troncal existen 33 canales de voz, a cada uno le

corresponde una densidad de tráfico del 1 Erlang. Esto significa que todos los canales de la troncal se encuentran saturados a un 100% de su capacidad.

Si fijamos el grado de servicio en un 2%, la capacidad de la troncal para los 1000 abonados se vuelve insuficiente. La capacidad de este troncal, bajo estas condiciones es determinada a partir de la tabla # 4.8.1. y la tabla # 4.8.2.

Esta tabla esta conformada por una columna "n" que representa el número de canales con los que se cuentan y un renglón "E" que representa la probabilidad de pérdida en el sistema. Para nuestro caso A = 33 y E = 0.02 lo que nos conduce a una capacidad de tráfico de 24.626 Erlang en base a la Tabla # 4.8.1.

Como cada abonado genera una densidad de tráfico de  $33 \times 10^{-3}$  Erlang, el número máximo de usuarios en la troncal será de:

$$\# \text{ de Abonados} = \left| \frac{24.626 \text{ Erlang}}{33 \times 10^{-3} \text{ Erlang}} \right| = |745.45| = 745$$

$$\# \text{ de Abonados} = 745$$

#### 4.6. EFICIENCIA DE LA TRONCAL.

En el ejemplo # 4.5. se determinó que a partir de las tablas de probabilidad de pérdidas la capacidad de la troncal es de 24.626 Erlang. Para que la troncal tenga un grado de eficiencia del 2% solo basta efectuar la siguiente operación.

$$24.626 \times 0.98 = 24.133 \text{ Erlang}$$

Para determinar el porcentaje de uso en cada canal es necesario dividir el valor de la eficiencia de la troncal entre el número de canales que se usarán. Para nuestro caso, el porcentaje de uso por canal es de:

$$\frac{24.133 \text{ Erlang} \times 100}{33 \text{ Canales}} = 73.132\%$$

Cada canal de la troncal es usado en un 73.132% de su capacidad.

##### 4.6.1. EJEMPLO.

A continuación se hace un estudio sobre la eficiencia de diferentes tamaños de troncales para un grado de servicio GOS de 2%  
En base a la tabla #4.8.1. y la tabla # 4.8.2. se determinaron las eficiencias para una troncal de 5, 10, 20, 30, 40 y 50 canales.

NÚMERO DE CANALES	GOS 2% (DE TABLAS)	EFICIENCIA DE LA TRONCAL	PORCENTAJE DE USO DEL CANAL
5	1.8571	1.624	32.479%
10	5.0840	4.982	49.823%
20	13.182	12.918	64.592%
30	21.932	21.493	71.645%
40	30.997	30.377	75.943%
50	40.255	39.450	78.900%

Para una troncal de 50 canales, el uso de canal es aproximadamente 2.5 veces mejor que para una troncal de 5 canales. Por lo que se puede concluir que mientras mayor sea el número de canales por troncal, mayor es su eficiencia.

#### 4.7. DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED CELULAR.

Para ilustrar el dimensionamiento de una red celular es necesario cuantificar el número adecuado de canales de una célula que ofrece un grado de eficiencia de 33 Erlang con un GOS del 2% para 1000 abonados.

Por lo tanto la capacidad de la célula es:

$$33 \text{ Erlang} \div 0.98 = 33.673 \text{ Erlang}$$

Si  $E=0.02$  y la capacidad de la célula es de 33.673 Erlang tenemos que el número de canales en base a la tabla # 4.8.1. es de 43 canales por célula.

Por otra parte, supongamos que se desea dar servicio a 1000 abonados dentro de una área mayor que solo puede ser cubierta con 5 células y cuyo grado de eficiencia es de 33 Erlang con un GOS del 2%

Nuestro problema inicial es la de conocer la distribución de los 1000 abonados, sin embargo para simplificar nuestro caso, vamos a suponer la siguiente distribución lo que nos producirá los siguientes resultados.

CÉLULA	DISTRIBUCIÓN DE ABONADOS [%]	EFICIENCIA POR CÉLULA [ERLANG]	CAPACIDAD POR CÉLULA [ERLANG]	# DE CANALES POR CÉLULA
A	40%	13.20	12.936	20
B	25%	8.25	8.085	14
C	15%	4.95	4.851	20
D	10%	3.30	3.234	8
E	10%	3.30	3.234	8
<b>TOTAL POR SISTEMA</b>	100%	33.00	32.340	60

Comparando los 2 sistemas que se presentan se puede notar que independientemente que se tengan el mismo grado de eficiencia y de GOS, la cantidad de canales aumenta al distribuir el tráfico entre más células.

En nuestro caso inicial, se requirió de 47 canales para una sólo célula mientras que para 5 células la cantidad de canales aumento a 60 canales.

#### 4.8. TABLAS DE ERLANG B.

A continuación en las Tablas # 4.8.1. y 4.8.2. se muestran las probabilidades de pérdida que generaría un rango de 1 a 100 canales para diferentes GOS.

**LOSS PROBABILITY (E)**

n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.04	.05	.1	.2	.4	n
1	0.00708	0.00806	0.00908	0.01010	0.02041	0.0383	0.06263	0.1111	0.20000	0.66667	1	1
2	0.12800	0.13532	0.14416	0.15288	0.22347	0.28185	0.36132	0.58643	1.0000	2.0000	2	2
3	0.39884	0.41787	0.43711	0.45848	0.60221	0.71513	0.86840	1.2708	1.8299	3.4796	3	3
4	0.77728	0.81029	0.84088	0.86942	1.0823	1.2886	1.5246	2.0484	2.8452	5.0210	4	4
5	1.2662	1.2910	1.3223	1.3608	1.6571	1.8762	2.2196	2.9614	4.0104	6.9686	5	5
6	1.7831	1.8083	1.8410	1.9000	2.2789	2.5431	2.9803	3.7884	5.1088	8.1807	6	6
7	2.3148	2.3620	2.4437	2.5009	2.9364	3.2487	3.7378	4.6682	6.2302	9.7989	7	7
8	2.9123	2.9802	3.0818	3.1276	3.6271	3.9888	4.6430	5.6971	7.3822	11.4119	8	8
9	3.5386	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7478	5.5702	6.8464	8.5217	13.0459	9	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2167	7.5106	9.6660	14.6777	10	10
11	4.8637	4.9709	5.0681	5.1598	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.867	16.314	11	11
12	5.5643	5.6708	5.7604	5.8780	6.6147	7.1410	7.9801	9.4740	12.036	17.964	12	12
13	6.2907	6.3983	6.5011	6.6072	7.4015	7.9687	8.9348	10.470	13.222	19.598	13	13
14	6.9811	7.1154	7.2382	7.3617	8.2003	8.8035	9.7286	11.473	14.413	21.243	14	14
15	7.7136	7.8688	7.9874	8.1080	9.0068	9.6800	10.633	12.484	15.608	22.991	15	15
16	8.4879	8.6682	8.7474	8.8780	9.8284	10.506	11.544	13.500	16.807	24.541	16	16
17	9.2118	9.3714	9.5144	9.6516	10.698	11.388	12.461	14.522	18.010	26.182	17	17
18	9.8781	10.145	10.298	10.437	11.481	12.238	13.386	15.546	19.216	27.844	18	18
19	10.47	10.822	11.062	11.283	12.333	13.115	14.318	16.679	20.424	29.488	19	19
20	11.026	11.708	11.876	12.031	13.182	13.987	15.248	17.613	21.638	31.182	20	20
21	12.312	12.803	12.677	12.838	14.036	14.886	16.188	18.651	22.848	32.908	21	21
22	13.108	13.303	13.484	13.651	14.888	15.778	17.132	19.882	24.064	34.464	22	22
23	13.904	14.110	14.287	14.451	15.781	16.670	18.080	20.737	25.281	36.121	23	23
24	14.708	14.822	15.116	15.286	16.631	17.577	19.031	21.764	26.498	37.778	24	24
25	15.519	15.738	15.938	16.128	17.506	18.483	19.888	22.833	27.720	39.437	25	25
26	16.334	16.561	16.788	16.958	18.383	19.382	20.843	23.888	28.94	41.086	26	26
27	17.153	17.387	17.601	17.787	19.285	20.306	21.804	24.938	30.164	42.758	27	27
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.190	21.221	22.887	25.986	31.389	44.414	28	28
29	18.806	19.083	19.278	19.487	21.038	22.140	23.833	27.083	32.614	46.074	29	29
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.082	24.802	28.113	33.840	47.738	30	30
31	20.473	20.734	20.972	21.181	22.827	23.987	25.773	29.174	35.087	49.398	31	31
32	21.312	21.580	21.823	22.088	23.720	24.914	26.748	30.237	36.284	51.056	32	32
33	22.158	22.428	22.678	22.898	24.626	25.864	27.721	31.301	37.526	52.718	33	33
34	23.001	23.281	23.538	23.772	25.528	26.778	28.698	32.367	38.754	54.378	34	34
35	23.848	24.138	24.387	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.986	56.041	35	35
36	24.701	24.984	25.281	25.507	27.343	28.647	30.687	34.503	41.216	57.703	36	36
37	25.556	25.854	26.127	26.378	28.264	29.586	31.640	35.572	42.448	59.388	37	37
38	26.413	26.718	26.986	27.252	29.188	30.528	32.624	36.643	43.680	61.028	38	38
39	27.272	27.583	27.887	28.128	30.081	31.488	33.608	37.718	44.913	62.680	39	39
40	28.134	28.451	28.741	28.007	30.987	32.412	34.586	38.787	46.147	64.333	40	40
41	29.000	29.322	29.616	29.888	31.916	33.357	35.584	39.881	47.381	66.016	41	41
42	29.888	30.194	30.484	30.771	32.836	34.206	36.574	40.936	48.618	67.678	42	42
43	30.734	31.088	31.374	31.656	33.788	35.253	37.588	42.011	49.861	69.343	43	43
44	31.608	31.884	32.256	32.643	34.682	36.203	38.587	43.088	51.086	71.008	44	44
45	32.478	32.824	33.140	33.432	35.607	37.168	39.560	44.168	52.322	72.689	45	45
46	33.383	33.706	34.026	34.322	36.534	38.108	40.548	45.243	53.589	74.333	46	46
47	34.230	34.587	34.913	35.216	37.462	39.082	41.540	46.322	54.798	76.007	47	47
48	35.108	35.471	35.803	36.108	38.382	40.018	42.537	47.401	56.033	77.680	48	48
49	35.988	36.387	36.884	37.004	39.323	40.973	43.534	48.481	57.270	79.324	49	49
50	36.870	37.248	37.886	37.801	40.285	41.833	44.533	49.561	58.508	80.988	50	50
n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.04	.1	.2	.4	n	

**LOSS PROBABILITY (E)**

TABLE # 4.8.1.

## LOSS PROBABILITY (E)

n	.007	.008	.009	.010	.02	.03	.04	.05	.1	.2	.4	n
81	37.784	38.124	38.460	38.800	41.169	42.862	44.533	46.144	50.748	52.682	54	81
82	38.638	38.974	39.376	39.700	42.124	43.862	45.533	47.128	50.889	52.817	55	82
83	39.526	39.918	40.273	40.602	43.080	44.813	47.534	49.208	52.224	54.151	56	83
84	40.414	40.810	41.171	41.506	43.987	45.778	48.536	50.311	53.463	55.445	57	84
85	41.303	41.708	42.071	42.408	44.938	46.739	49.538	51.478	54.702	56.710	58	85
86	42.184	42.601	42.972	43.318	46.078	47.703	50.543	52.689	56.042	58.074	59	86
87	43.067	43.488	43.878	44.222	46.816	48.689	51.548	53.744	57.144	59.259	60	87
88	43.950	44.389	44.778	45.130	47.758	49.638	52.543	54.729	58.229	60.369	61	88
89	44.878	45.298	45.688	46.039	48.700	50.502	53.536	55.689	59.311	61.463	62	89
90	45.771	46.198	46.589	46.954	49.544	51.370	54.489	56.600	60.401	62.533	63	90
91	46.669	47.102	47.487	47.861	50.589	52.339	55.373	57.488	72.143	99.297	64	91
92	47.587	48.008	48.400	48.774	51.534	53.309	56.361	58.578	73.244	100.369	65	92
93	48.487	48.910	49.314	49.688	52.491	54.478	57.580	59.689	74.328	102.63	66	93
94	49.388	49.816	50.225	50.623	53.428	55.480	58.589	60.750	75.586	104.23	67	94
95	50.273	50.723	51.137	51.518	54.376	56.421	59.609	61.839	77.108	105.96	68	95
96	51.173	51.631	52.048	52.436	55.326	57.384	60.619	62.927	78.369	107.82	69	96
97	52.077	52.540	52.983	53.389	56.278	58.367	61.530	64.016	79.592	109.29	70	97
98	52.982	53.449	53.877	54.272	57.228	59.341	62.442	65.108	80.824	110.98	71	98
99	53.888	54.361	54.783	55.191	58.177	60.316	63.384	70.188	82.078	112.82	72	99
70	54.793	55.273	55.708	56.112	59.128	61.281	64.367	71.288	83.318	114.28	70	70
71	55.703	56.188	56.626	57.033	60.082	62.267	65.389	72.376	84.561	115.90	71	71
72	56.612	57.098	57.545	57.986	61.036	63.244	66.389	73.467	85.803	117.61	72	72
73	57.522	58.014	58.466	58.979	61.980	64.221	67.708	74.556	87.048	118.28	73	73
74	58.432	58.928	59.384	59.903	62.945	65.188	68.723	75.649	88.289	120.84	74	74
75	59.344	59.848	60.304	60.728	63.900	66.177	69.739	76.741	89.532	122.81	75	75
76	60.266	60.783	61.226	61.683	64.807	67.186	70.783	77.833	90.778	124.27	76	76
77	61.188	61.681	62.148	62.579	65.814	68.136	71.799	78.925	92.018	125.61	77	77
78	62.093	62.600	63.071	63.506	66.771	69.115	72.798	80.018	93.262	127.61	78	78
79	62.998	63.519	63.998	64.434	67.728	70.098	73.803	81.110	94.508	129.27	79	79
80	63.914	64.438	64.918	65.383	68.689	71.077	74.820	82.203	95.750	130.84	80	80
81	64.830	65.360	65.845	66.292	69.647	72.059	75.868	83.297	96.993	132.80	81	81
82	65.747	66.282	66.771	67.222	70.607	73.041	76.959	84.389	98.237	134.27	82	82
83	66.666	67.204	67.697	68.152	71.569	74.074	78.074	85.481	99.481	135.83	83	83
84	67.583	68.128	68.625	69.025	72.529	75.007	79.183	86.574	100.73	137.80	84	84
85	68.503	69.051	69.553	70.016	73.480	75.980	79.912	87.672	101.97	139.26	85	85
86	69.422	69.976	70.481	70.968	74.482	76.974	80.832	88.767	103.21	140.83	86	86
87	70.343	70.901	71.410	71.881	75.418	77.989	81.932	89.861	104.46	142.80	87	87
88	71.264	71.827	72.340	72.816	76.379	78.944	82.872	90.966	105.70	144.26	88	88
89	72.188	72.753	73.271	73.748	77.342	79.929	83.963	92.061	106.96	145.83	89	89
90	73.109	73.680	74.202	74.684	78.308	80.916	85.014	93.148	108.19	147.58	90	90
91	74.032	74.608	75.134	75.620	79.271	81.901	86.036	94.242	109.44	148.26	91	91
92	74.958	75.538	76.068	76.566	80.236	82.989	87.057	95.338	110.68	150.82	92	92
93	75.880	76.466	76.998	77.493	81.201	83.975	88.078	96.434	111.93	152.58	93	93
94	76.806	77.394	77.932	78.430	82.167	84.882	89.101	97.530	113.17	154.26	94	94
95	77.731	78.324	78.866	79.388	83.133	85.880	90.123	98.626	114.42	156.82	95	95
96	78.657	79.256	79.801	80.306	84.100	86.838	91.148	99.722	115.68	159.59	96	96
97	79.584	80.186	80.738	81.246	85.089	87.826	92.189	100.82	116.91	159.26	97	97
98	80.511	81.117	81.672	82.194	86.035	88.915	93.183	101.82	118.15	160.82	98	98
99	81.439	82.080	82.643	83.124	87.003	89.804	94.216	103.01	119.40	162.58	99	99
80	82.367	82.942	83.545	84.084	87.972	90.784	95.240	104.11	120.84	164.26	80	80
n	.007	.008	.009	.010	.02	.03	.04	.05	.1	.2	.4	n

## LOSS PROBABILITY (E)

TABLE # 4.8.2.

## CAPITULO V

### CÁLCULO DE PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA.

#### 5.1 CONCEPTO DE GANANCIA Y DE PÉRDIDA EN UN SISTEMA.

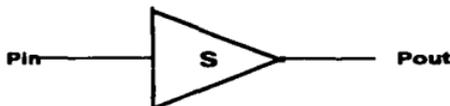
A lo largo de cualquier trayectoria de comunicación existen diferentes dispositivos que "amplifican" y "atenúan" la señal establecida. Los elementos de amplificación y de atención están íntimamente asociados al concepto de ganancia y de pérdida respectivamente.

Para determinar el comportamiento de un sistema solo se requiere conocer el nivel de la señal de entrada y el nivel de la señal de salida.

A partir de la siguiente expresión se puede determinar si un sistema se comporta como un amplificador o como un atenuador.

$$S = 10 \cdot \text{Log} \frac{P_{in}}{P_{out}} \text{ [dB]}$$

Donde:  $P_{in}$  = Potencia de entrada  
 $P_{out}$  = Potencia de salida



Si  $P_{in} > P_{out}$  el sistema se comporta como un atenuador.  
Si  $P_{in} < P_{out}$  el sistema se comporta como un amplificador.

Obsérvese que la expresión anterior fue diseñada para relacionar la potencia de salida con la potencia de entrada. En esta misma expresión es factible relacionar tanto voltajes como corrientes como se muestra a continuación:

Como:

$$P = V^2/R$$

Tenemos que:

$$P_{in} = V_{in}^2/R$$

$$P_{out} = V_{out}^2/R$$

Sustituyendo  $P_{in}$  y  $P_{out}$  en S.

$$S = 10 \cdot \text{Log} \frac{V_{in}^2/R}{V_{out}^2/R}$$

$$S = 10 \cdot \text{Log} \left( \frac{V_{in}}{V_{out}} \right)^2$$

$$S = 20 \cdot \text{Log} \left( \frac{V_{in}}{V_{out}} \right) = [dB]$$

Para el caso de la corriente se cuenta con la relación  $V = R(I)$  de la cual se obtiene la siguiente relación:

$$S = 20 \cdot \text{Log} \left( \frac{I_{in}}{I_{out}} \right) [dB]$$

### 5.1.1. EJEMPLO:

Un amplificador entrega 2 Watts cuando se le suministran 10 mWatts. Calcule la ganancia del amplificador.

$$G = 10 \cdot \text{Log} \frac{2}{10 \times 10^{-3}} = 23 [dB]$$

### 5.1.2 EJEMPLO:

Se le conecta a una fuente de voltaje de 1 V c.d. de salida un atenuador de 6 dB. Calcule el voltaje en la salida del atenuador.

$$A = 20 \cdot \text{Log} \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

$$10^{\text{Log}(V_{in}/V_{out})} = 10^{A/20}$$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{10^{A/20}} = \frac{1V_{cd}}{10^{6/20}} = 0.5V_{cd}$$

## 5.2. SUMA DE GANANCIAS Y DE PÉRDIDAS.

Para determinar si un sistema se comporta como un amplificador o como un atenuador, solo basta sumar las ganancias y restar las pérdidas de todos los dispositivos y si la suma resulta ser positiva esto significa que el sistema se comporta como un amplificador. En caso de que la suma resulte negativa el sistema se comporta como un atenuador.

En el Figura # 5.2.1.0. se representa a bloques las ganancias y las pérdidas de un sistema "S" definidas por una "G" y una "A" respectivamente.

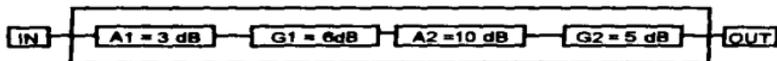


FIGURA # 5.2.1.0

Determine el comportamiento del sistema:

$$S = A_1 + G_1 + A_2 + G_2 = -3dB + 6dB - 10dB + 5dB = -2dB$$

El sistema se comporta como un atenuador.

### 5.3. NIVEL DE POTENCIA Y NIVEL DE VOLTAJE.

La expresión que relaciona una señal de entrada con una señal de salida puede ser referida a una potencia o a un voltaje de salida predeterminado como se ve en las siguientes expresiones:

$$\text{Nivel de Potencia: } L_p = 10 \text{Log} \left( \frac{P}{P_{ref}} \right)$$

$$\text{Nivel de Voltaje: } L_v = 20 \text{Log} \left( \frac{V}{V_{ref}} \right)$$

#### 5.3.1. EXPRESIONES REFERIDAS A UNA POTENCIA.

$$P_{ref} = 1W \quad L_p = 10 \text{Log} \left( \frac{P}{1W} \right) = [dBW]$$

$$P_{ref} = 1mW \quad L_p = 10 \text{Log} \left( \frac{P}{10^{-3}} \right) = [dBm]$$

#### 5.3.2. EXPRESIONES REFERIDAS A UN VOLTAJE.

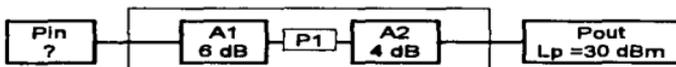
$$\therefore V_{ref} = 775mV \quad L_v = 20 \text{Log} \left( \frac{V}{0.775} \right) = [dBV]$$

$$\therefore V_{ref} = 1mV \quad L_v = 20 \text{Log} \left( \frac{V}{10^{-6}} \right) = [dB\mu V]$$

La razón por la cual se usó como nivel de referencia un voltaje de 775 mV se debe a que cuando este es aplicado a una resistencia de 600 Ohms se obtiene una potencia de disipación de 1 mW. Por lo tanto el nivel de potencia en dBm esta íntimamente ligado al nivel de voltaje en dBu a través de una carga de 600 Ohms.

### 5.3.3. EJEMPLO.

La potencia entregada por un sistema que cuenta con dos atenuadores, es de 30 dBm. Calcule la potencia en el punto P1 y a la entrada del sistema.



$$L_p = 10 \log \frac{P_{out}}{10^{-3}} = 30 \text{ dBm}$$

$$P_{out} = 10^3 (10)^{-3} = 1 \text{ Watt}$$

$$S_2 = 10 \log \frac{P_1}{P_{out}} = 4 \text{ dB}$$

$$P_1 = 10^{2/5} \times (1) = 2.512 \text{ Watts}$$

$$S_1 = 10 \log \frac{P_{in}}{P_1} = 6 \text{ dB}$$

$$P_{in} = 10^{3/5} \times P_1 = 10^{3/5} \cdot (2.512) = 10 \text{ Watts}$$

La relación de Potencia del sistema es de 1/10 con una atenuación de 10 dB. Existen algunos valores que pueden ser determinados directamente de las tablas Lazy Dog.

### 5.4. TABLAS LAZY DOG.

RELACIÓN DE dB POTENCIA		RELACIÓN DE 1 dB POTENCIA	
1/1000	-30	1/8	-9
1/100	-20	1/4	-6
1/10	-10	1/2	-3
Igual	0	Igual	0
x10	+10	X2	+3
X100	+20	X4	+6
X1000	+30	X8	+9

TABLA # 5.4.1.

RELACIÓN DE 1 dB VOLTAJE		RELACIÓN DE 1 dB VOLTAJE	
1/100	-40	1/4	-12
1/10	-20	1/2	6
Igual	0	Igual	0
x10	20	x2	6
x100	+40	x4	+12

TABLA # 5.4.2.

## 5.5. PREDICCIONES DE PROPAGACIÓN:

La dificultad de llevar a cabo una predicción de propagación de ondas confiable en un sistema de telefonía celular se encuentra siempre ligado al tipo de relieve en donde se encuentran ubicadas las estaciones base y al tipo de antena que definirán la forma de propagación.

A partir de estos dos factores si no se realiza un estudio minucioso sobre la distribución de los grupos de frecuencia, del tipo de antena que se esta usando, de su inclinación y de la potencia radiada por esta, es posible encontrarse con problemas de interferencia.

### 5.5.1.1 PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE.

En la Figura # 5.5.1.1, la trayectoria entre la antena y la estación móvil se encuentra libre de obstáculos y de reflexiones de la señal. Es decir que existe una línea de vista entre la antena de la RBS y la antena de la unidad móvil.

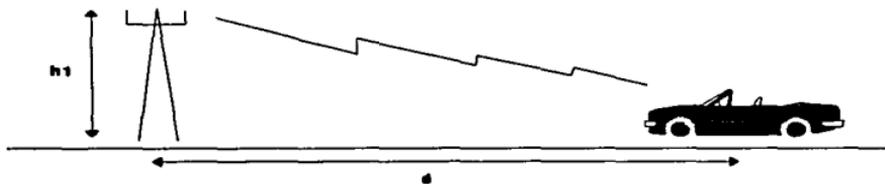


FIGURA 5.5.1.1.: PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE.

Para determinar la pérdida de propagación en antenas isotrópicas solo basta aplicar la siguiente fórmula:

$$L_{bf} = 20 \text{Log} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ [dB]}$$

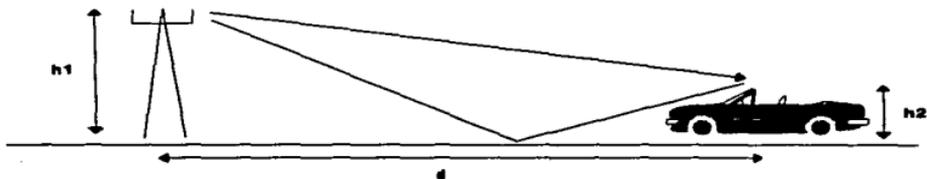
Donde:

- $L_{bf}$  = Pérdidas de transmisión en el espacio libre.
- $d$  = La distancia entre el transmisor y el receptor
- $\lambda = c/f$  = Es la longitud de onda en metros, donde "c" es la velocidad de la luz en el espacio libre en metros por segundo ( $300 \times 10^3$ ) y "f" es la frecuencia en ciclos por segundo.
- $h$  = Es la altura de la antena, en nuestro caso es despreciada.

### 5.5.1.2. PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA EN SUPERFICIE PLANA CONDUCTIVA.

Una segunda alternativa para calcular la pérdida de transmisión en antenas isotrópicas, es el uso de la fórmula para propagación sobre tierra plana conductiva considerando fenómenos de reflexión, como se muestra en la Figura # 5.5.1.2.

$$L = 20 \text{Log}(d^2 / h_1 \cdot h_2)$$



**FIGURA 5.5.1.2.: PROPAGACIÓN DE RADIO FRECUENCIA EN SUPERFICIE PLANA CONDUCTIVA.**

### 5.5.1.3. DIFRACCIÓN POR OBSTÁCULOS DE BORDES AGUDOS.

Otro fenómeno que es común en la propagación de radio frecuencias es la existencia de obstáculos de borde agudo entre el transmisor "Tx" y el receptor "Rx" como se muestra en la Figura # 5.5.1.3.

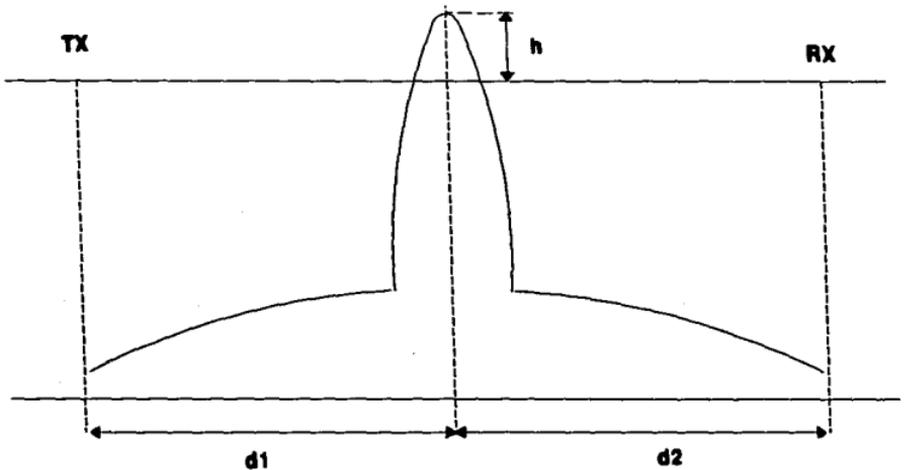
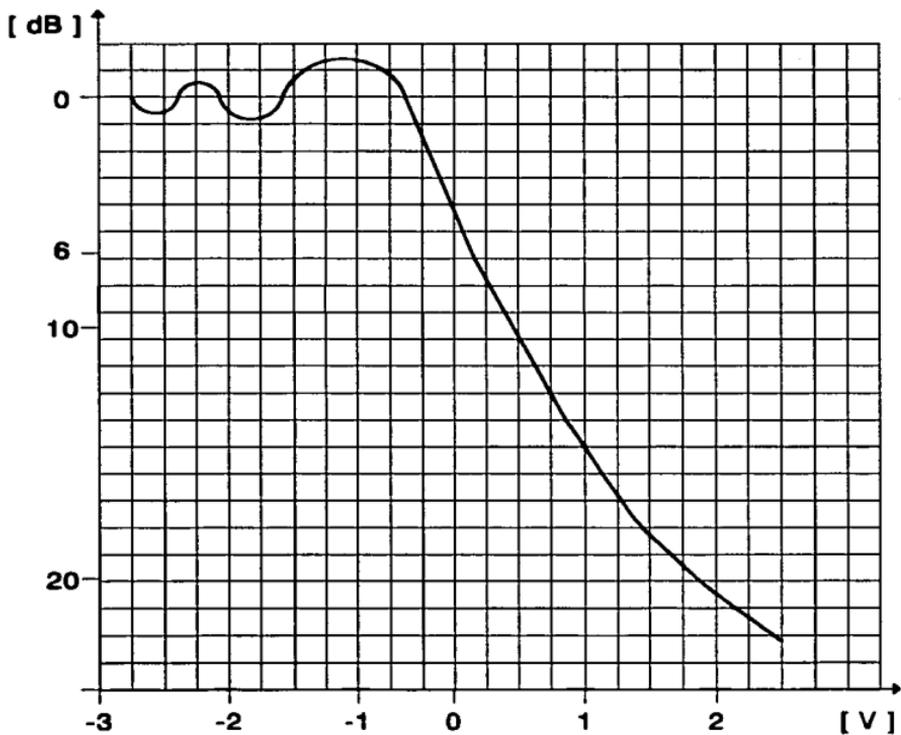


FIGURA 5.5.1.3.: DIFRACCIÓN POR OBSTÁCULOS DE BORDES AGUDOS.

De acuerdo con la teoría de propagación de onda, un obstáculo intermedio entre el transmisor y el receptor atenuaría la potencia del enlace. Para calcular dicha atenuación es necesario determinar el valor de  $V$ , el cual determinará la pérdida de difracción a partir de la Figura # 5.5.1.4.



**FIGURA # 6.6.1.4. PÉRDIDA DE DIFRACCION POR OBSTÁCULOS DE BORDE AGUDO A PARTIR DEL DIAGRAMA DE "V".**

$$\text{Donde: } V = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda(d_1 \cdot d_2)}}$$

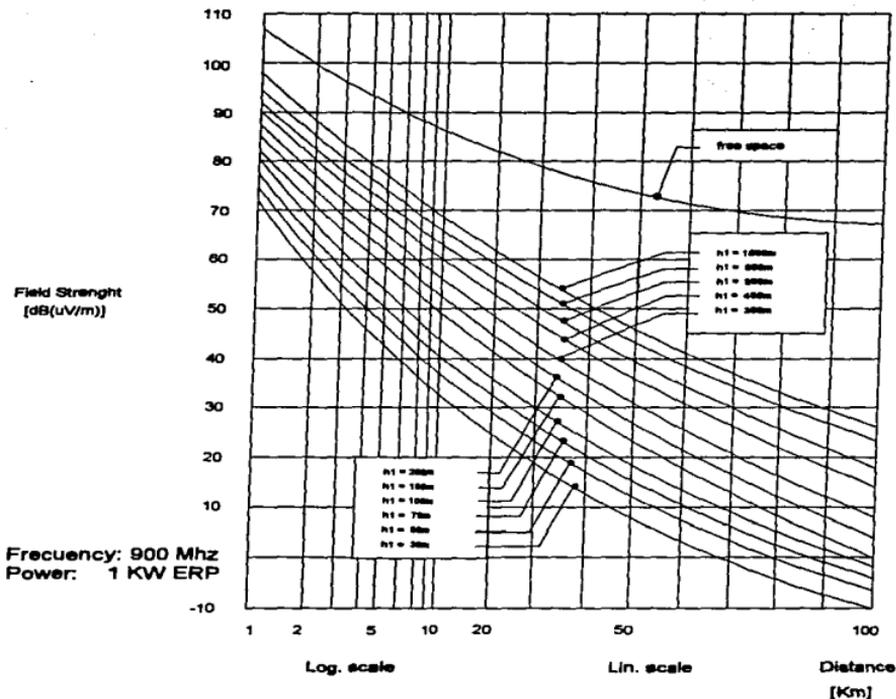
### **5.5.2. TEOREMA DE OKUMURA.**

Las fórmulas de los casos anteriores se basan en simples modelos de trayectoria de radio. Aunque parecen complicadas, ninguna de éstas fórmulas toman en consideración el tipo de terreno y de vegetación en el cual se a establecido el enlace. Un método más certero que involucra a estos dos factores es el de usar datos empíricos de ondas de radio. Dichos datos empíricos fueron recopilados y analizados por el ingeniero Japonés Okumura en el año de 1968. El resultado de estas mediciones aparecen como diagramas que muestran la relación entre la intensidad de campo y la distancia para un gran número de variables tales como la altura de la antena y el tipo de terreno.

A partir del análisis de Okumura se determinaron cinco diferentes clases de terrenos definidos como:

1. Terreno casi llano.
2. Terreno montañoso.
3. Cadenas montañosas aisladas.
4. Terreno con declives.
5. Trayectoria mixta de tierra y mar.

Para cada clase de terreno, existe una atenuación particular definida como factor de corrección y el cual esta representado en la Figura # 5.5.2.0.

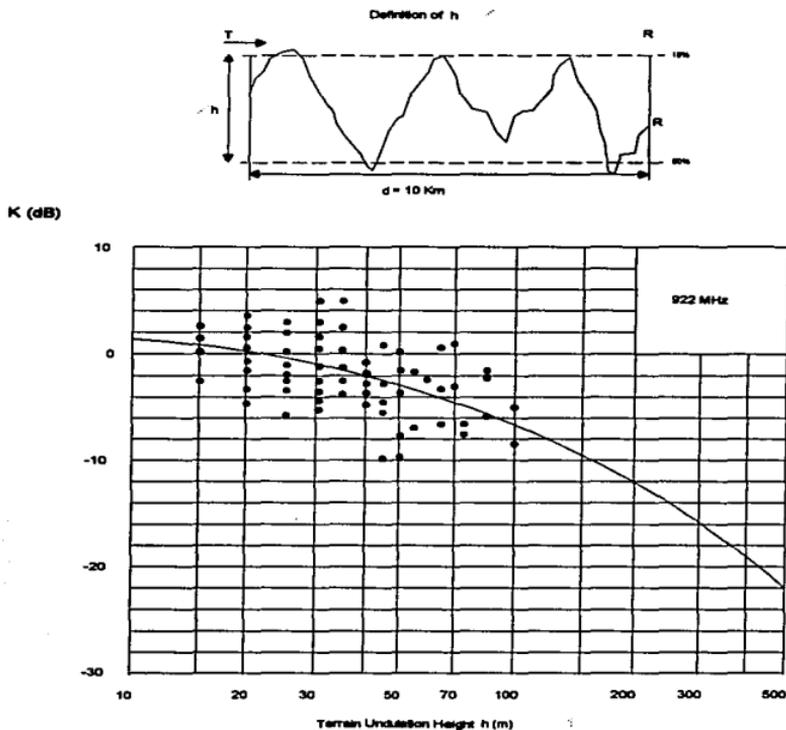


**FIGURA # 6.6.2.0.: INTENSIDAD DE CAMPO PARA DIFERENTES ALTURAS.**

Esta figura ilustra la intensidad de campo recibida a 1.5 m del nivel de piso por la unidad móvil en función de la distancia y de la altura "h1" de la antena de la RBS. A continuación se mostraran los 3 factores de corrección más usuales.

### 5.5.2.1. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TERRENOS MONTAÑOSOS.

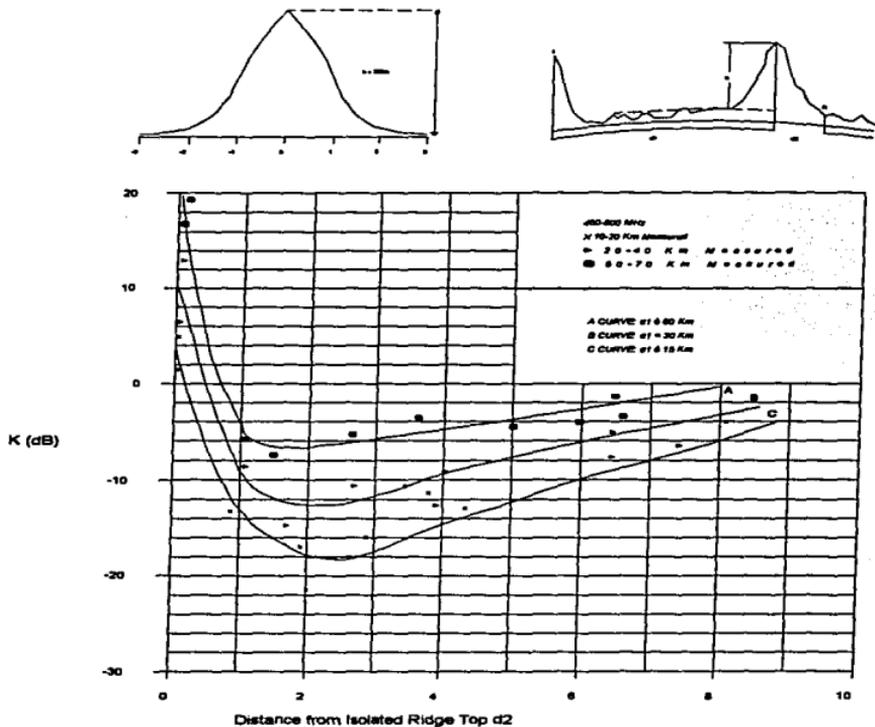
En la Figura # 5.5.2.1. se ilustran las características de propagación en terrenos irregulares.



**FIGURA # 5.5.2.1.: FACTOR DE CORRECCIÓN Y DE DEFINICIÓN (K) PARA TERRENO MONTAÑOSO.**

### 5.5.2.2. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA UNA CADENA MONTAÑOSA AISLADA.

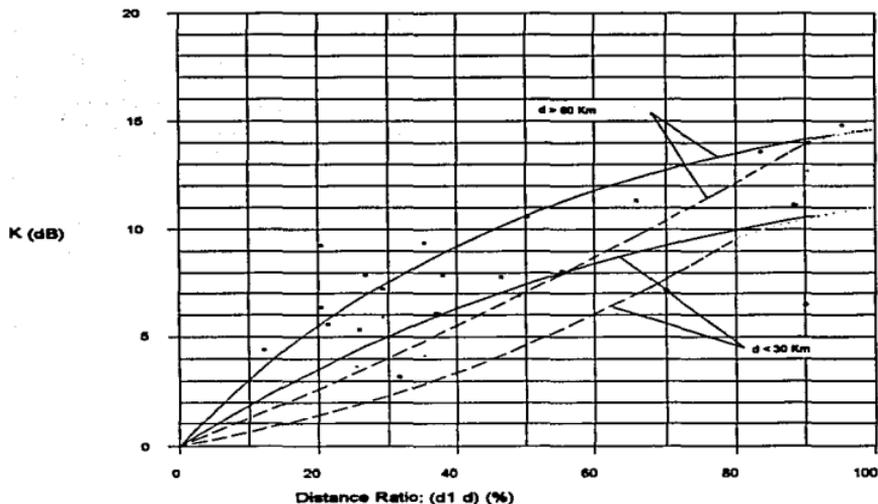
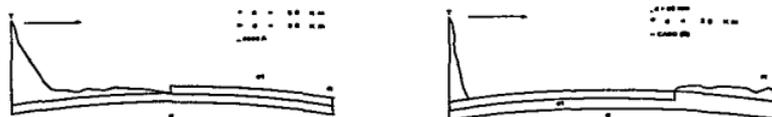
En la Figura # 5.5.2.2. se ilustra una atenuación adicional cuando la trayectoria de radio se ve obstruida por una cordillera.



**FIGURA # 5.5.2.2.: FACTOR DE CORRECCIÓN Y DE DEFINICIÓN (K) PARA UNA CADENA MONTAÑOSA AISLADA.**

### 5.5.2.3. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA UNA TRAYECTORIA MIXTA DE TIERRA Y MAR.

En la Figura # 5.5.2.3. se muestra la influencia del agua y de la tierra en conjunto sobre la propagación de onda.



X When the sea lies in the middle of the path.

**FIGURA # 5.5.2.3.: FACTOR DE CORRECCIÓN Y DE DEFINICIÓN (K) PARA UNA TRAYECTORIA MIXTA DE TIERRA Y MAR.**

## 5.6. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS.

Compararemos el modelo de Okumura con las fórmulas para la propagación en el espacio libre y sobre tierra conductora plana respectivamente.

Supongamos los siguientes datos del sistema.

Frecuencia	900 MHz
Potencia de salida	1 KW
Altura de la torre de la RBS	100 m
Altura a la que se encuentra la unidad móvil	100 m
distancia entre la RBS y la unidad móvil	10 Km
Clase de terreno	Área urbana

### 5.6.1. PROPAGACIÓN DE ONDA EN ESPACIO LIBRE.

$$L_{bf} = 20 \text{Log} \frac{4\pi}{\lambda} = 20 \text{Log} \frac{4f\pi}{c}$$

$$L_{bf} = 20 \text{Log} \left( \frac{4\pi(900000000)}{299790} \right) = 9153 \text{dB}$$

### 5.6.2. PROPAGACIÓN DE ONDA DE RADIO SOBRE TIERRA PLANA CONDUCTIVA.

$$L = 20 \cdot \text{Log} \frac{d^2}{h_1 \cdot h_2} = 20 \cdot \text{Log} \left( \frac{10000^2}{100 \cdot (100)} \right) = 80 \text{dB}$$

### 5.6.3. PROPAGACIÓN DE ONDA A PARTIR DEL MODELO DE OKUMURA.

En la Figura # 5.5.2.0., el valor determinado para dichas condiciones es de 45 dB ( $\mu\text{V/m}$ ). No se hacen correcciones en el caso de áreas urbanas..

### 5.6.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Comparando los tres resultados determinados se observa que las fórmulas analíticas proporcionan un valor de intensidad de campo mayor que los diagramas empíricos de Okumura.

Una explicación a esta diferencia se debe a que ninguna de las dos fórmulas analíticas toma en consideración los efectos del terreno sobre la señal.

En la Tabla # 5.6.4.0. se muestra más a detalle dicha discrepancias:

- A partir de la siguiente relación se calcula la potencia recibida:

$$Pr(dBm) = E(dB) - 2 \text{Log } f(\text{MHz}) - 77.2$$

- También es factible calcularla pérdida total de transmisión en el sistema:

$$Pr(dBm) = 10 \text{Log} \frac{Pr(W)}{1(W)} \Rightarrow Pr(W) = 10^{\frac{Pr(dBm) - 30}{10}}$$

$$S = 10 \text{Log} \frac{Pr(W)}{Pr(W)}$$

Donde : Pt (W) = Potencia de Transmisión = 1 kW

Modelo usado	Intensidad Recibida de campo	Potencia Recibida	Pérdida de Transmisión
Espacio libre	91.53 dB	- 44.75 dBm	104.75 dB
Tierra plana	80.00 dB	- 56.28 dBm	116.28 dB
Okumura	45.00 dB	- 91.28 dBm	151.28 dB

TABLA # 5.6.4.0.

## 5.7. FORMULA BÁSICA DE HATA.

Como se mostró en los modelos anteriores el uso de las estadísticas para determinar los diagramas y tablas empíricas son mucho más confiables que basarse en las fórmulas analíticas ya descritas.

Para que el uso de los resultados estadísticos sean mucho más eficientes es necesario contar con un software que tenga la capacidad de procesar y analizar dichos resultados.

Esta fue la finalidad del Ingeniero Japonés Hata que presentó en 1980 un reporte del análisis de los resultados de Okumura.

El Ing. Hata presentó una serie de fórmulas empíricas que se aproximan a los diagramas de Okumura.

Para que sean aplicables al software de Hata es necesario digitalizar el perfil del terreno en estudio para obtener una predicción de propagación de onda del área.

La fórmula básica presentada por Hata es la siguiente y calculada para zonas urbanas o para terreno "casi llano".

$$L = 128 - 26.16 \text{Log}(f) + 13.82 \text{Log}(h_1) - (44.9 - 6.55 \text{Log}(h_1)) \text{Log } d$$

Donde:

$f$  = frecuencia en MHz

$h_1$  = altura a la que se encuentra ubicada la antena en metro.

$d$  = distancia entre el transmisor y el receptor en Km

Para áreas diferentes a las zonas urbanas es necesaria aplicar ciertas modificaciones a la fórmula anterior.

Para zonas suburbana:

$$L(\text{suburbana}) = L_p - [5.4 + 2(\text{Log}(f/28))^2]$$

Para zonas abiertas.

$$L(\text{abierta}) = L_p - [40.94 - 18.33 \text{Log } f + 4.78(\text{Log } f)^2]$$

## CAPITULO VI

### **PRINCIPIOS Y DISEÑO DE UNA RED CELULAR**

#### **6.1 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO Y SEÑAL A INTERFERENCIA.**

Uno de los principales objetivos en la planeación de un sistema celular es el de manejar un gran número de abonados por célula dentro de un nivel aceptable de calidad de habla y de grado de servicio GOS.

El diseño de una red celular debe permitir una crecimiento sucesivo de la capacidad del sistema a medida que vaya aumentando el número de abonados.

Por lo tanto el reuso de frecuencias es indispensable dado a que existe un número limitado de frecuencias. Por otra parte, el hecho de reutilizar conjuntos de frecuencias organizados bajo un patrón definido como "CLUSTER" suele disminuir las interferencias por reuso de frecuencias (o también conocidos como interferencias de co-canal). Para que las interferencias de co-canal no lleguen a interferir en la calidad del servicio es necesario que nuestra señal portadora "C" (Carrier) sea mayor que el nivel de interferencia total de co-canal "I" (Interference) y por consecuencia también mayor al nivel de ruido "N" (Noise) captado por los receptores del sistema. De estos nuevos conceptos obtenemos las siguientes relaciones:

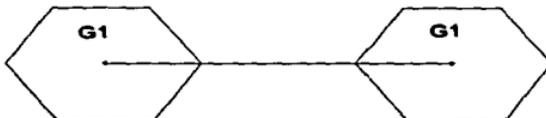
La relación Señal a Ruido y la relación Señal a Interferencia definidas como C/N y C/I respectivamente.

Para conservar una calidad adecuada de habla, la relación C/I por lo menos debe ser de 8 dB mientras que la relación C/N puede variar entre 8 dB a 18 dB. Un caso ideal sería que el sistema mantuviera una relación en que  $C/I = C/N = 18$  dB, pero solo se da cuando casi no existe tráfico telefónico o no existe reuso de frecuencias.

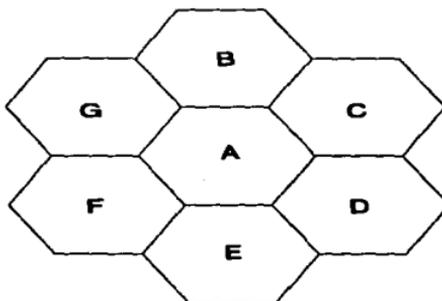
El primer paso para establecer un sistema celular en cualquier zona, es el de ubicar de manera estratégica pocas Estaciones Base con una amplia área de cobertura. Conforme vaya creciendo la demanda de tráfico se irán integrando nuevas RBS's al sistema y por lo tanto nuevos canales de voz. Al encontrarnos en el caso de haber utilizado todos los grupos de frecuencias disponibles es necesario recurrir a un proceso de reuso de grupos de frecuencias como se ilustra en la Figura # 6.1.1.0.

Para llevar a cabo este proceso es necesario formar una distribución de canales por grupos conocida como CLUSTER y el cual se encuentra ilustrado en la Figura # 6.1.2.0. Existen varios tipos de CLUSTER como el 3/9, 4/12 y el 7/21 que son los más comunes y también se le conocen como rejillas de células. La relación "7/21" significa que el conjunto de frecuencias del sistema está dividida en 21 grupos de canales los cuales se encuentran localizados en 7 Estaciones Base, es decir 3 grupos por Radio Base. Para identificar los grupos de canales se les asigna una letra para cada Radio Base del CLUSTER y un número para cada sector de una misma RBS. Todas las frecuencias destinadas para la telefonía celular se encuentran divididas en 2 grupos principales que son la banda "A" utilizada por todas las compañías asociadas a AMCEL y la banda "B" utilizada por TELCEL.

La representación teórica del área de propagación de una célula es la de un hexágono. Al ser conjuntadas dichas áreas para formar un CLUSTER existe una delimitación bien definida donde cada lado del hexágono hace frontera con una RBS vecina. Sin embargo en la realidad la frontera existente entre las áreas de propagación de RBS vecinas no está bien definida. Existe un traspase entre ella conocida como el "Umbral de Hand-off". Al encontrarse un Abonado en esta área requiriendo establecer un enlace celular tiene la posibilidad de ingresar tanto al sistema de una RBS como al del otro sistema. Lo único que puede definir la vía de ingreso es la saturación de alguno de los dos sistemas.



**FIGURA # 6.1.1.9.: REUSO DE FRECUENCIAS.**



**FIGURA # 6.1.2.9.: GRUPO DE CANALES QUE FORMAN UN CLUSTER DEL TIPO 7.**

## **6.2. DISTANCIA DE REUTILIZACIÓN EN BASE A LA RELACIÓN C/I.**

Al recurrir al método de reuso de grupos de canales se produce un fenómeno de interferencia de Co-canal ( C/I ) el cual debe ser reducido al mínimo. Para reducir al

mínimo dicha interferencia es necesario recurrir a un ajuste en el área de propagación de las células de las RBS.

Por otra parte la distancia de reuso depende directamente del número de frecuencias "N", que se usaran en el patrón de reuso de canales. Cuanto más grande sea "N", más larga será la distancia entre las células que utilicen el mismo grupo de frecuencias.

El primer paso para determinar el número de frecuencias "N" es calculando la relación "D/R" donde "D" es la distancia entre las dos RBS a las cuales se les va aplicar los mismos grupos de frecuencia y "R" es el radio de propagación de la célula como se muestra en la Figura # 6.2.1.0.

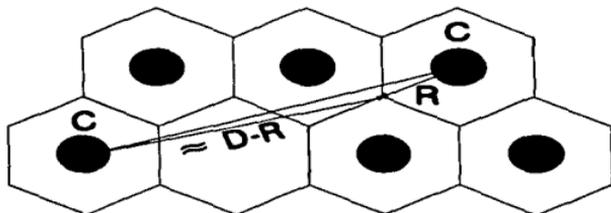


FIGURA 6.2.1.0.: RELACIÓN D/R

En base a esta diagrama encontramos que:

$$D/R = \sqrt{3 \cdot N}$$

Idealmente se requiere de un valor de 18 dB para la relación C/I con la finalidad de mantener un nivel de servicio de habla garantizado. Sin embargo cuando existen varias interferencias de co-canal, es necesario incluir un margen de seguridad. Mientras más células vecinas tenga una célula en cuestión, más grande será el factor de interferencias. Consideremos seis interferencias posibles que es el peor de los casos dentro de un patrón regular celular. En este caso el margen es determinado de la siguiente manera:

$$10 \text{ Log } 6 = 7.78 \text{ dB}$$

Como se requiere mantener una proporción de C/I ideal de 18 dB, el margen de seguridad de 7.78 dB es agregado a este valor como se muestra en la siguiente formula:

$$40 \text{ Log } \left( \frac{D-R}{R} \right) = (18 + 7.78) \text{ dB}$$

$$\frac{D-R}{R} = 10^{25.78/40}$$

$$D/R = 4.41 + 1 = 5.41$$

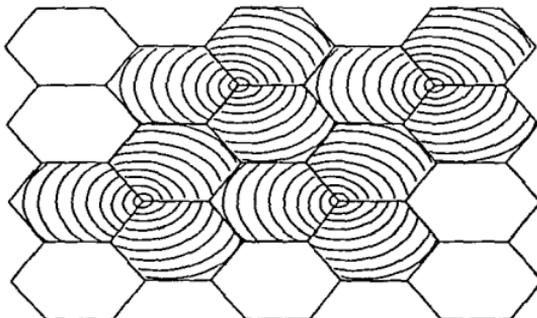
Por lo tanto la cantidad mínima de grupos de frecuencia "N" es de:

$$\sqrt{3 \cdot N} = 5.4$$

$$N = 9.76$$

Sin embargo, como los únicos valores que "N" puede tomar son 9, 12 o 21, el valor más cercano a 9.76 es cuando N = 12. Es decir que se requiere de 12 grupos diferentes de frecuencias para este caso en específico.

En la Figura # 6.2.2.0. se representa el patrón de radiación ideal de una célula sectorial la cual es generada desde una RBS localizada dentro de una red celular.



**FIGURA 6.2.2.0.: CÉLULAS SECTORIZADAS**

Una célula sectorial normalmente tiene menos problemas de interferencia que una célula omnidireccional dado a que ésta maneja una área de propagación mayor que la sectorial. Generalmente la célula sectorial es usada para darle servicio a una área determinada y dependiendo del tráfico que se genere, se determinará el tamaño de la célula y de la cantidad de canales de voz que se manejarán.

Es factible determinar la posición de las células de Co-canal en un patrón regular de células donde no se conoce a "N", a partir de la siguiente formula:

$$i^2 + ij + j^2 = N$$

Donde "i" y "j" son coordenadas cuya unidad es "R", el radio de la célula.

Por ejemplo en el caso de utilizar un Cluster del tipo 7/21, el método de determinar tanto a "i" como a "j" es el siguiente:

En base a la Figura # 6.2.3.0., primeramente se recorre una unidad "R" desde la célula "F2" hacia la derecha fijando así el valor de "i" en 1 y posteriormente se gira 60 grados en dirección contraria a la de las manecillas de un reloj para poder alinearse al centro de la célula "F1" y se avanza 4 unidades "R" para "j" como se muestra en la Figura # 6.2.3.0.

Por lo tanto encontramos que:

$$i^2 + ij + j^2 = 1^2 + (1)(4) + 4^2 = 21 \quad \text{Grupos}$$

Lo que significa que el patrón de distribución dentro del Cluster es de 21 grupos de frecuencias, 3 por RBS, por lo que se requiere de 7 RBS's. En otras palabras estamos hablando de un Cluster 7/21.

De igual manera es factible calcular el valor de "N" para un Cluster 3/9 y 4/12 donde los valores de "i" y "j" son (0,3) y (2,2) respectivamente como se muestran en las Figuras # 6.2.4.0. y en la Figura # 6.2.5.0.

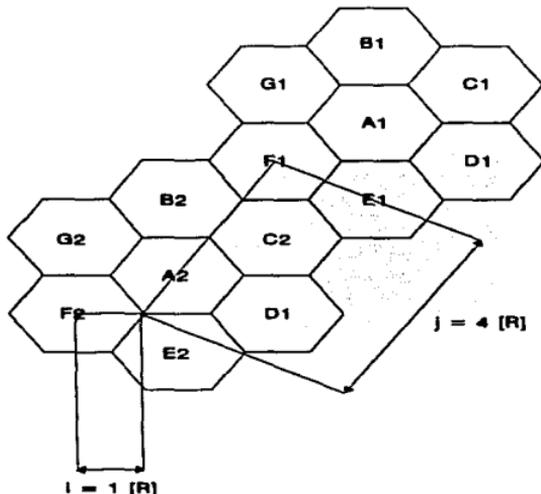
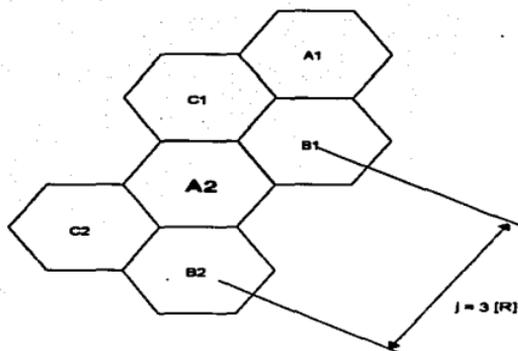
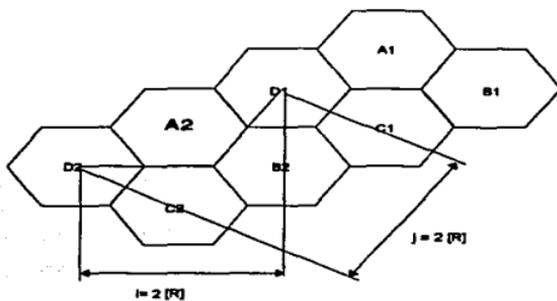


FIGURA # 6.2.3.0.: CLUSTER 7/21



**FIGURA # 6.2.4.0.: CLUSTER 3/9**



**FIGURA # 6.2.5.0.: CLUSTER 4/12**

### **6.3 CAPACIDAD DE TRÁFICO CON UN C/I ADECUADO:**

Supongamos que estamos a punto de planear un sistema que cuenta con un número limitado de canales "M". Si se usa un patrón celular uniforme con "N" grupos de canal, la cantidad de canales por grupo de canal será determinado en base a la relación M/N.

La capacidad específica por canal, puede ser calculada con el uso de las Tablas de Erlang para un grado de servicio determinado. Cuanto más pequeño sea el valor de "N", mayor será el número de canales por célula y por consecuencia también el nivel de eficiencia por canal aumentará.

Por otra parte un bajo valor de "N" producirá en la relación C/I una disminución en su amplitud la cual puede repercutir en la calidad del servicio: Por lo tanto podemos deducir que existe una transacción inherente entre la capacidad de manejo de tráfico por célula y la calidad de habla.

De lo anterior sabemos que para una "N" determinada, la capacidad por célula es constante. Sin embargo, el área de la célula es proporcional al cuadrado del radio de la célula, así la capacidad por unidad de área será inversamente proporcional al área de la célula. Para una "N" determinada, la capacidad de manejo de tráfico se reducirá a una cuarta parte en cuanto se divida el radio de la célula entre 2.

### **6.4 SUBDIVISIÓN CELULAR DE UNA RED CELULAR.**

Dentro de una red celular, mientras más pequeña sea el área de propagación de una célula mayor será su capacidad de manejo de tráfico. Sin embargo el constituir una red de micro-células no sería la solución al manejo de tráfico dado a que se requeriría de una alta inversión que no necesariamente es la más adecuada debida a que se desperdiciaría parte del sistema en las áreas donde el tráfico fuera muy bajo.

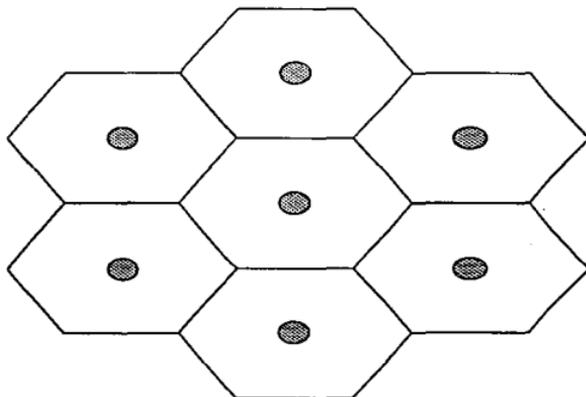
Por lo tanto es necesario aplicar una metodología que ajuste el tamaño de cada célula en base a la demanda del tráfico que se genere en cada sitio. Inicialmente se implementa una red con una área de propagación por célula relativamente grande y estándar que se ira ajustando conforme vaya creciendo dicha demanda: Cuando en una área determinada comienza a presentar problemas de saturación en sus V.C.'s el sistema necesitara crecer implementando nuevas RBS's en las áreas de saturación. Esta acción provocara que existan diferentes tamaños de células: Donde la generación de tráfico sea mayor, menor será el área de propagación por célula y en caso contrario el área de propagación será mayor. Este método recibe el nombre de división celular y su evolución se presenta en las Figura # 6.4.1.1. en la Figura # 6.4.1.2. y en la Figura # 6.4.1.3.

### 6.4.1. EVOLUCIÓN DE UNA RED CELULAR.

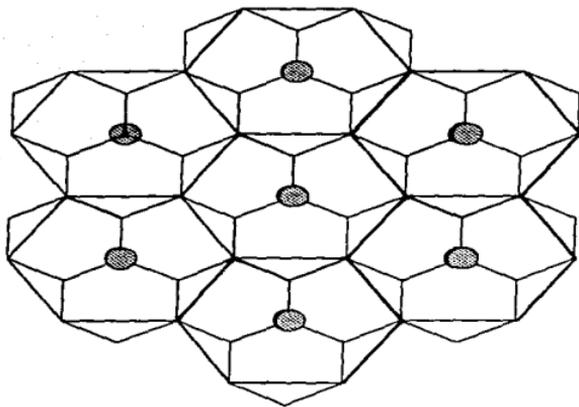
Al momento de implementar un sistema celular dentro de una nueva zona, se usan RBS's con una sola célula que tiene una área de propagación máxima conocidas como RBS's Omnidireccionales. En la Figura # 6.4.1.1. se muestra un patrón de 7 grupos con una área de propagación del tipo Omnidireccional.

Posteriormente los patrones de radiación Omnidireccionales son divididos en tres patrones de radiación para formar RBS's Sectoriales como se muestra en la Figura # 6.4.1.2. A este tipo de configuración se le conoce como patrón 7/21 o división celular 1:3.

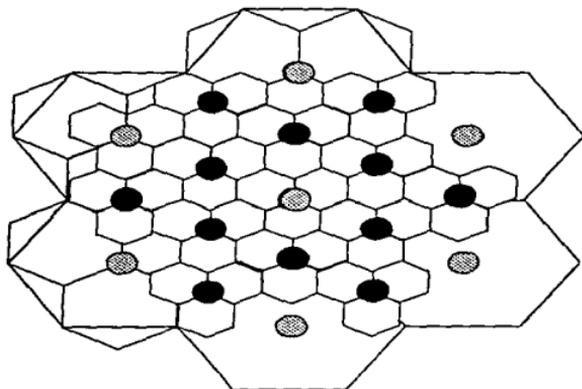
En el siguiente paso conforme vaya aumentando la demanda de tráfico será necesario reducir las áreas de los patrones de radiación de las RBS's existentes para poder insertar nuevas RBS's como se muestra en la Figura # 6.4.1.3. A esta subdivisión se le conoce como división celular 1:4.



**FIGURA # 6.4.1.1.: PATRÓN DE 7 GRUPOS OMNIDIRECCIONALES.**



**FIGURA # 6.4.1.2.: PATRÓN 7/21 O DIVISIÓN CELULAR 1:3**



**FIGURA # 6.4.1.3.: DIVISIÓN CELULAR 1:4**

### 6.5. REGIÓN DE TRANSICIÓN.

Idealmente la reutilización de un patrón uniforme implica una densidad constante de tráfico sobre toda el área de servicio de un sistema. Sin embargo, en la práctica la densidad de tráfico varía de manera inconstante dependiendo de varios factores como la densidad de población, el nivel económico, el tipo de uso de suelo y de los tiempos picos.

Por ello, es muy común que se usen células de diferentes tamaños en diferentes partes del sistema: Las células de menor radio de propagación se usan en donde el índice de tráfico sea elevado y de manera contraria, mientras mayor sea el radio de propagación menor será el índice de tráfico generado por los abonados. En la figura # 6.5.0.0. se muestra un sistema celular en donde se tienen varias RBS's con diferentes tamaños y formas de propagación.

El hecho de contar con diferentes radios y formas de propagación nos lleva a un análisis en la distribución de los grupos de frecuencias en cada una de las células para evitar interferencias de co-canal. Generalmente, llega un momento en que ya no es posible insertar una nueva célula sin provocar problemas de interferencia. En ese momento es necesario efectuar una "reentonación" de todo el sistema para poder evitar los problemas de interferencia presentes y futuras. Algunas veces este tipo de reestructuraciones resultan costosas pero son disposiciones inevitables que se tienen que contemplar dentro del proceso de expansión celular.

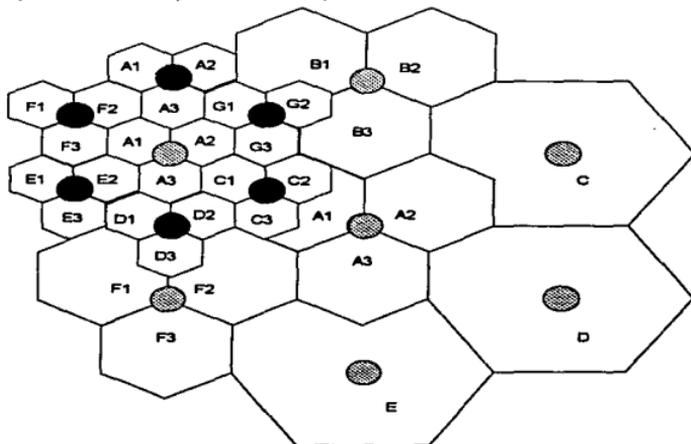


FIGURA # 6.5.0.0.

## 6.6. CAPACIDAD FINAL DE TRÁFICO.

Después de haber pasado por diferentes etapas de expansión en el diseño de un sistema celular, es tiempo de calcular la capacidad de manejo de tráfico de dicho sistema.

Supongamos que comenzamos con un sistema donde el radio por célula es de 14 Km y con un Cluster de 7 células. Posteriormente estas células son sometidas a tres divisiones sucesivas, la primera formando un Cluster 7/21, la segunda creando una subdivisión 1:4 y la última formando otra división 1:4.

Por otra parte, supongamos que el sistema cuenta con 294 canales de voz y que su capacidad de tráfico está regido por los siguientes parámetros: 0.02 Erlang por abonado y 5% de grado de servicio (GOS). En la Tabla # 6.6.0.0. se han resumido los siguientes resultados donde  $D:0/Km^2$  es determinado por la relación de una superficie de un hexágono:

$$S = \frac{3R^2}{2} \sqrt{3}$$

PASO	RADIO DE LA CÉLULA	N	CANALES POR CÉLULA	ABONADOS POR CÉLULA	D:0 / Km <sup>2</sup>
0	14 Km	7	42	1825	3.7
1	8 Km	21	14	485	2.9
2	4 Km	21	14	485	11.7
3	2 Km	21	14	485	46.6

TABLA # 6.6.0.0.

Como podemos ver en la Tabla # 6.6.0.0., la capacidad de tráfico se reduce después de la primera división celular. Esto se debe a una disminución en la eficiencia de las troncales causada por la reducción de canales por células. Sin embargo en las siguientes subdivisiones la capacidad de abonados por célula sigue siendo la misma mientras que la capacidad por Km<sup>2</sup> aumenta cuatro veces más entre la primera división 1:4 y la segunda división 1:4.

## 6.7. ASIGNACIÓN CELULAR.

Si un sistema de células utiliza los 333 V.C.'s correspondientes a la banda "B", este es conocido como un "Cluster" y por lo tanto no existe el reuso de frecuencias dentro de dicha conjunto. Sin embargo como los 333 V.C.'s por lo general no son suficientes para cubrir la demanda de tráfico de un sistema, es necesario recurrir al reuso de frecuencias por co-canal insertando nuevos Cluster alrededor del Cluster inicial.





A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	
C.C.	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354
V.C. B	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417
	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438
	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459
	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501
	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522
	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543
	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564
	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585
	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606
	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627
	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666				
V.C. EXT. B'	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732					
	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753
	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774
	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795

TABLA 6.7.1.2.: SISTEMA AMPS PARA LA BANDA B.

## 6.7.2. FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN Y DE RECEPCIÓN POR CANAL.

A continuación se presenta una relación de frecuencias tanto en transmisión como en recepción correspondientes a los canales de voz y a los canales de control de las bandas A y B sistema AMPS.

CH	RX	TX	CH	RX	TX	CH	RX	TX	CH	RX	TX
1	825.03	870.03	53	828.59	871.59	105	828.15	873.15	157	829.71	874.71
2	825.06	870.06	54	828.62	871.62	106	828.18	873.18	158	829.74	874.74
3	825.09	870.09	55	828.65	871.65	107	828.21	873.21	159	829.77	874.77
4	825.12	870.12	56	828.68	871.68	108	828.24	873.24	160	829.80	874.80
5	825.15	870.15	57	828.71	871.71	109	828.27	873.27	161	829.83	874.83
6	825.18	870.18	58	828.74	871.74	110	828.30	873.30	162	829.86	874.86
7	825.21	870.21	59	828.77	871.77	111	828.33	873.33	163	829.89	874.89
8	825.24	870.24	60	828.80	871.80	112	828.36	873.36	164	829.92	874.92
9	825.27	870.27	61	828.83	871.83	113	828.39	873.39	165	829.95	874.95
10	825.30	870.30	62	828.86	871.86	114	828.42	873.42	166	829.98	874.98
11	825.33	870.33	63	828.89	871.89	115	828.45	873.45	167	830.01	875.01
12	825.36	870.36	64	828.92	871.92	116	828.48	873.48	168	830.04	875.04
13	825.39	870.39	65	828.95	871.95	117	828.51	873.51	169	830.07	875.07
14	825.42	870.42	66	828.98	871.98	118	828.54	873.54	170	830.10	875.10
15	825.45	870.45	67	827.01	872.01	119	828.57	873.57	171	830.13	875.13
16	825.48	870.48	68	827.04	872.04	120	828.60	873.60	172	830.16	875.16
17	825.51	870.51	69	827.07	872.07	121	828.63	873.63	173	830.19	875.19
18	825.54	870.54	70	827.10	872.10	122	828.66	873.66	174	830.22	875.22
19	825.57	870.57	71	827.13	872.13	123	828.69	873.69	175	830.25	875.25
20	825.60	870.60	72	827.16	872.16	124	828.72	873.72	176	830.28	875.28
21	825.63	870.63	73	827.19	872.19	125	828.75	873.75	177	830.31	875.31
22	825.66	870.66	74	827.22	872.22	126	828.78	873.78	178	830.34	875.34
23	825.69	870.69	75	827.25	872.25	127	828.81	873.81	179	830.37	875.37
24	825.72	870.72	76	827.28	872.28	128	828.84	873.84	180	830.40	875.40
25	825.75	870.75	77	827.31	872.31	129	828.87	873.87	181	830.43	875.43
26	825.78	870.78	78	827.34	872.34	130	828.90	873.90	182	830.46	875.46
27	825.81	870.81	79	827.37	872.37	131	828.93	873.93	183	830.49	875.49
28	825.84	870.84	80	827.40	872.40	132	828.96	873.96	184	830.52	875.52
29	825.87	870.87	81	827.43	872.43	133	828.99	873.99	185	830.55	875.55
30	825.90	870.90	82	827.46	872.46	134	829.02	874.02	186	830.58	875.58
31	825.93	870.93	83	827.49	872.49	135	829.05	874.05	187	830.61	875.61
32	825.96	870.96	84	827.52	872.52	136	829.08	874.08	188	830.64	875.64
33	825.99	870.99	85	827.55	872.55	137	829.11	874.11	189	830.67	875.67
34	826.02	871.02	86	827.58	872.58	138	829.14	874.14	190	830.70	875.70
35	826.05	871.05	87	827.61	872.61	139	829.17	874.17	191	830.73	875.73
36	826.08	871.08	88	827.64	872.64	140	829.20	874.20	192	830.76	875.76
37	826.11	871.11	89	827.67	872.67	141	829.23	874.23	193	830.79	875.79
38	826.14	871.14	90	827.70	872.70	142	829.26	874.26	194	830.82	875.82
39	826.17	871.17	91	827.73	872.73	143	829.29	874.29	195	830.85	875.85
40	826.20	871.20	92	827.76	872.76	144	829.32	874.32	196	830.88	875.88
41	826.23	871.23	93	827.79	872.79	145	829.35	874.35	197	830.91	875.91
42	826.26	871.26	94	827.82	872.82	146	829.38	874.38	198	830.94	875.94
43	826.29	871.29	95	827.85	872.85	147	829.41	874.41	199	830.97	875.97
44	826.32	871.32	96	827.88	872.88	148	829.44	874.44	200	831.00	876.00
45	826.35	871.35	97	827.91	872.91	149	829.47	874.47	201	831.03	876.03
46	826.38	871.38	98	827.94	872.94	150	829.50	874.50	202	831.06	876.06
47	826.41	871.41	99	827.97	872.97	151	829.53	874.53	203	831.09	876.09
48	826.44	871.44	100	828.00	873.00	152	829.56	874.56	204	831.12	876.12
49	826.47	871.47	101	828.03	873.03	153	829.59	874.59	205	831.15	876.15
50	826.50	871.50	102	828.06	873.06	154	829.62	874.62	206	831.18	876.18
51	826.53	871.53	103	828.09	873.09	155	829.65	874.65	207	831.21	876.21
52	826.56	871.56	104	828.12	873.12	156	829.68	874.68	208	831.24	876.24

CH	RX	TX									
209	831.27	878.27	281	832.83	877.83	313	834.39	879.39	385	835.95	880.95
210	831.30	878.30	282	832.86	877.86	314	834.42	879.42	386	835.98	880.98
211	831.33	878.33	283	832.89	877.89	315	834.45	879.45	387	836.01	881.01
212	831.36	878.36	284	832.92	877.92	316	834.48	879.48	388	836.04	881.04
213	831.39	878.39	285	832.95	877.95	317	834.51	879.51	389	836.07	881.07
214	831.42	878.42	286	832.98	877.98	318	834.54	879.54	370	836.10	881.10
215	831.45	878.45	287	833.01	878.01	319	834.57	879.57	371	836.13	881.13
216	831.48	878.48	288	833.04	878.04	320	834.60	879.60	372	836.16	881.16
217	831.51	878.51	289	833.07	878.07	321	834.63	879.63	373	836.19	881.19
218	831.54	878.54	270	833.10	878.10	322	834.66	879.66	374	836.22	881.22
219	831.57	878.57	271	833.13	878.13	323	834.68	879.68	375	836.25	881.25
220	831.60	878.60	272	833.16	878.16	324	834.72	879.72	376	836.28	881.28
221	831.63	878.63	273	833.19	878.19	325	834.75	879.75	377	836.31	881.31
222	831.66	878.66	274	833.22	878.22	326	834.78	879.78	378	836.34	881.34
223	831.69	878.69	275	833.25	878.25	327	834.81	879.81	379	836.37	881.37
224	831.72	878.72	276	833.28	878.28	328	834.84	879.84	380	836.40	881.40
225	831.75	878.75	277	833.31	878.31	329	834.87	879.87	381	836.43	881.43
226	831.78	878.78	278	833.34	878.34	330	834.90	879.90	382	836.46	881.46
227	831.81	878.81	279	833.37	878.37	331	834.93	879.93	383	836.49	881.49
228	831.84	878.84	280	833.40	878.40	332	834.96	879.96	384	836.52	881.52
229	831.87	878.87	281	833.43	878.43	333	834.99	879.99	385	836.55	881.55
230	831.90	878.90	282	833.46	878.46	334	835.02	880.02	386	836.58	881.58
231	831.93	878.93	283	833.49	878.49	335	835.05	880.05	387	836.61	881.61
232	831.96	878.96	284	833.52	878.52	336	835.08	880.08	388	836.64	881.64
233	831.99	878.99	285	833.55	878.55	337	835.11	880.11	389	836.67	881.67
234	832.02	879.02	286	833.58	878.58	338	835.14	880.14	390	836.70	881.70
235	832.05	879.05	287	833.61	878.61	339	835.17	880.17	391	836.73	881.73
236	832.08	879.08	288	833.64	878.64	340	835.20	880.20	392	836.76	881.76
237	832.11	879.11	289	833.67	878.67	341	835.23	880.23	393	836.79	881.79
238	832.14	879.14	290	833.70	878.70	342	835.26	880.26	394	836.82	881.82
239	832.17	879.17	291	833.73	878.73	343	835.29	880.29	395	836.85	881.85
240	832.20	879.20	292	833.76	878.76	344	835.32	880.32	396	836.88	881.88
241	832.23	879.23	293	833.79	878.79	345	835.35	880.35	397	836.91	881.91
242	832.26	879.26	294	833.82	878.82	346	835.38	880.38	398	836.94	881.94
243	832.29	879.29	295	833.85	878.85	347	835.41	880.41	399	836.97	881.97
244	832.32	879.32	296	833.88	878.88	348	835.44	880.44	400	837.00	882.00
245	832.35	879.35	297	833.91	878.91	349	835.47	880.47	401	837.03	882.03
246	832.38	879.38	298	833.94	878.94	350	835.50	880.50	402	837.06	882.06
247	832.41	879.41	299	833.97	878.97	351	835.53	880.53	403	837.09	882.09
248	832.44	879.44	300	834.00	879.00	352	835.56	880.56	404	837.12	882.12
249	832.47	879.47	301	834.03	879.03	353	835.59	880.59	405	837.15	882.15
250	832.50	879.50	302	834.06	879.06	354	835.62	880.62	406	837.18	882.18
251	832.53	879.53	303	834.09	879.09	355	835.65	880.65	407	837.21	882.21
252	832.56	879.56	304	834.12	879.12	356	835.68	880.68	408	837.24	882.24
253	832.59	879.59	305	834.15	879.15	357	835.71	880.71	409	837.27	882.27
254	832.62	879.62	306	834.18	879.18	358	835.74	880.74	410	837.30	882.30
255	832.65	879.65	307	834.21	879.21	359	835.77	880.77	411	837.33	882.33
256	832.68	879.68	308	834.24	879.24	360	835.80	880.80	412	837.36	882.36
257	832.71	879.71	309	834.27	879.27	361	835.83	880.83	413	837.39	882.39
258	832.74	879.74	310	834.30	879.30	362	835.86	880.86	414	837.42	882.42
259	832.77	879.77	311	834.33	879.33	363	835.89	880.89	415	837.45	882.45
260	832.80	879.80	312	834.36	879.36	364	835.92	880.92	416	837.48	882.48

CH	RX	TX									
417	837.51	882.51	489	839.07	884.07	521	840.63	885.63	573	842.19	887.19
418	837.54	882.54	470	839.10	884.10	522	840.66	885.66	574	842.22	887.22
419	837.57	882.57	471	839.13	884.13	523	840.69	885.69	575	842.25	887.25
420	837.60	882.60	472	839.16	884.16	524	840.72	885.72	576	842.28	887.28
421	837.63	882.63	473	839.19	884.19	525	840.75	885.75	577	842.31	887.31
422	837.66	882.66	474	839.22	884.22	526	840.78	885.78	578	842.34	887.34
423	837.69	882.69	475	839.25	884.25	527	840.81	885.81	579	842.37	887.37
424	837.72	882.72	476	839.28	884.28	528	840.84	885.84	580	842.40	887.40
425	837.75	882.75	477	839.31	884.31	529	840.87	885.87	581	842.43	887.43
426	837.78	882.78	478	839.34	884.34	530	840.90	885.90	582	842.46	887.46
427	837.81	882.81	479	839.37	884.37	531	840.93	885.93	583	842.49	887.49
428	837.84	882.84	480	839.40	884.40	532	840.96	885.96	584	842.52	887.52
429	837.87	882.87	481	839.43	884.43	533	840.99	885.99	585	842.55	887.55
430	837.90	882.90	482	839.46	884.46	534	841.02	886.02	586	842.58	887.58
431	837.93	882.93	483	839.49	884.49	535	841.05	886.05	587	842.61	887.61
432	837.96	882.96	484	839.52	884.52	536	841.08	886.08	588	842.64	887.64
433	837.99	882.99	485	839.55	884.55	537	841.11	886.11	589	842.67	887.67
434	838.02	883.02	486	839.58	884.58	538	841.14	886.14	590	842.70	887.70
435	838.05	883.05	487	839.61	884.61	539	841.17	886.17	591	842.73	887.73
436	838.08	883.08	488	839.64	884.64	540	841.20	886.20	592	842.76	887.76
437	838.11	883.11	489	839.67	884.67	541	841.23	886.23	593	842.79	887.79
438	838.14	883.14	490	839.70	884.70	542	841.26	886.26	594	842.82	887.82
439	838.17	883.17	491	839.73	884.73	543	841.29	886.29	595	842.85	887.85
440	838.20	883.20	492	839.76	884.76	544	841.32	886.32	596	842.88	887.88
441	838.23	883.23	493	839.79	884.79	545	841.35	886.35	597	842.91	887.91
442	838.26	883.26	494	839.82	884.82	546	841.38	886.38	598	842.94	887.94
443	838.29	883.29	495	839.85	884.85	547	841.41	886.41	599	842.97	887.97
444	838.32	883.32	496	839.88	884.88	548	841.44	886.44	600	843.00	888.00
445	838.35	883.35	487	839.91	884.91	549	841.47	886.47	601	843.03	888.03
446	838.38	883.38	498	839.94	884.94	550	841.50	886.50	602	843.06	888.06
447	838.41	883.41	499	839.97	884.97	551	841.53	886.53	603	843.09	888.09
448	838.44	883.44	500	840.00	885.00	552	841.56	886.56	604	843.12	888.12
449	838.47	883.47	501	840.03	885.03	553	841.59	886.59	605	843.15	888.15
450	838.50	883.50	502	840.06	885.06	554	841.62	886.62	606	843.18	888.18
451	838.53	883.53	503	840.09	885.09	555	841.65	886.65	607	843.21	888.21
452	838.56	883.56	504	840.12	885.12	556	841.68	886.68	608	843.24	888.24
453	838.59	883.59	505	840.15	885.15	557	841.71	886.71	609	843.27	888.27
454	838.62	883.62	506	840.18	885.18	558	841.74	886.74	610	843.30	888.30
455	838.65	883.65	507	840.21	885.21	559	841.77	886.77	611	843.33	888.33
456	838.68	883.68	508	840.24	885.24	560	841.80	886.80	612	843.36	888.36
457	838.71	883.71	509	840.27	885.27	561	841.83	886.83	613	843.39	888.39
458	838.74	883.74	510	840.30	885.30	562	841.86	886.86	614	843.42	888.42
459	838.77	883.77	511	840.33	885.33	563	841.89	886.89	615	843.45	888.45
460	838.80	883.80	512	840.36	885.36	564	841.92	886.92	616	843.48	888.48
461	838.83	883.83	513	840.39	885.39	565	841.95	886.95	617	843.51	888.51
462	838.86	883.86	514	840.42	885.42	566	841.98	886.98	618	843.54	888.54
463	838.89	883.89	515	840.45	885.45	567	842.01	887.01	619	843.57	888.57
464	838.92	883.92	516	840.48	885.48	568	842.04	887.04	620	843.60	888.60
465	838.95	883.95	517	840.51	885.51	569	842.07	887.07	621	843.63	888.63
466	838.98	883.98	518	840.54	885.54	570	842.10	887.10	622	843.66	888.66
467	839.01	884.01	519	840.57	885.57	571	842.13	887.13	623	843.69	888.69
468	839.04	884.04	520	840.60	885.60	572	842.16	887.16	624	843.72	888.72

CH	RK	YK									
625	847.75	888.07	636	844.08	888.08	647	844.41	888.41	658	844.74	888.74
626	843.78	888.78	637	844.11	888.11	648	844.44	888.44	659	844.77	888.77
627	843.81	888.81	638	844.14	888.14	649	844.47	888.47	660	844.80	888.80
628	843.84	888.84	639	844.17	888.17	650	844.50	888.50	661	844.83	888.83
629	843.87	888.87	640	844.20	888.20	651	844.53	888.53	662	844.86	888.86
630	843.90	888.90	641	844.23	888.23	652	844.56	888.56	663	844.89	888.89
631	843.93	888.93	642	844.26	888.26	653	844.59	888.59	664	844.92	888.92
632	843.96	888.96	643	844.29	888.29	654	844.62	888.62	665	844.95	888.95
633	843.99	888.99	644	844.32	888.32	655	844.65	888.65	666	844.98	888.98
634	844.02	889.02	645	844.35	888.35	656	844.68	888.68			
635	844.05	889.05	646	844.38	888.38	657	844.71	888.71			

## **CAPITULO VII**

### **MÉTODOS DE COMPROBACIÓN EN LA PLANEACIÓN CELULAR.**

#### **7.1. ANTECEDENTES DEL SISTEMA CELULAR.**

Anteriormente al sistema celular fue establecida una red, similar conocida como sistema de redes de radio móvil cuya finalidad en su planeación era la de obtener una máxima cobertura de servicio con una mínima cantidad de sitios y por consecuencia con un costo mínimo en la constitución de la red.

En la planeación tradicional, para llevar a cabo una máxima cobertura, se ubicaban los sitios en localidades elevadas y provistos de potentes transmisores. Una desventaja de este método es que las distancias de reuso de frecuencias son demasiado grandes y por lo tanto la capacidad del sistema es pequeña.

En cambio en los sistemas actuales de telefonía celular móvil el objetivo de la planeación es el de constituir áreas de cobertura iniciales que posteriormente será modificadas para responder a una demanda creciente de abonados ya sea ingresando nuevos V.C.'s a las RBS's existentes o integrando nuevas RBS's a la red celular. En este tipo de sistemas el abonado puede tomar cualquier frecuencia libre para establecer su enlace, es decir que no existe una frecuencia predeterminada por abonado, sino que existe una disponibilidad constante de las frecuencias libres y de esta manera una optimización de los recursos. Al parecer la inversión para establecer una red celular es mayor a la que se describió en el sistema anteriormente. Sin embargo es una inversión bien entendida ya que sus ingresos son mucho más grandes al que pudiera proporcionar un sistema de redes de radio móvil.

Para que un sistema celular pueda crecer gradualmente es necesario contar con un método de planeación y equipos que puedan interpretar y corregir las deficiencias de dicho crecimiento.

#### **7.2 MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y DE MEDICIÓN.**

Existen programas especializados que generan bases de datos y realizan predicciones de propagación. Por ejemplo es factible digitalizar un mapa de cierta área para que posteriormente sea analizado por un programa que determinara tanto la cobertura de radio frecuencia como el ambiente electromagnético del área.

Para que la predicción en proceso sea más cercana a la realidad es necesario complementar el programa con datos adicionales sobre el uso de suelo y las características de la superficie.

Posteriormente las predicciones serán comparadas con los resultados de la investigación en campo para confirmar la veracidad de los diversos algoritmos usados en el programa. En caso de existir una gran discrepancia entre los valores de la predicción y los de la investigación será necesario ajustar algunos parámetros del algoritmo para obtener una mejor predicción del modelo.

Los diferentes medios con los que se cuenta para efectuar una investigación tanto de campo como de predicción son:

- Una de las herramientas más importantes en la predicción de propagación de radio frecuencias ha sido el paquete denominado "PROPAC" el cual significa "PROPAGATION PACKAGE". Este paquete tiene la versatilidad de digitalizar la región en estudio para poder obtener una estimación del comportamiento del sistema dentro de un margen de error de predicción "típica" de  $\pm 2.5$  dBm. Los resultados de la predicción son trazados en un acetato a una escala estándar y es sobre puesto al mapa correspondiente del área en estudio.
- Para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos es necesario salir al campo para tomar mediciones de intensidad y compararlos con las predicciones para lo cual es indispensable contar con equipos como el "REGUS" que significa "REGISTRATION UNIT FOR SURVEYS" o el "RSAT" que significa "REAL TIME SYSTEM ANALYSIS TOOL" que miden la intensidad de campo en dBm en un punto definido del área en estudio.

### 7.3 PAQUETE DE PREDICCIÓN "PROPAC".

El paquete de predicción PROPAC fue constituido para presentar tanto predicciones de propagación en base a la información que se extrae de los mapas digitalizados y de las predicciones anteriores, como el de analizar y optimizar el modelo presentado.

Para manejar estos conceptos fue necesario diseñar tres archivos dentro del paquete PROPAC que son:

- PRED: El archivo PRED fue diseñado para predecir programaciones. El resultado de la predicción sirve como base de datos al planear una red celular. Este archivo representa el núcleo del sistema PROPAC mientras que los archivos TOP y SURV pueden ser incluidos como subsistemas independientes. Los resultados de las predicciones de PRED son almacenados en una base de datos del sistema TOP y reutilizada por PRED para efectuar su análisis final.
- TOP: El subarchivo TOP fue diseñado para extraer información de mapas digitalizados tal como la topología, el tipo de uso de suelo e información sobre predicciones anteriores. La información es introducida a una base de datos que será usada posteriormente por los archivos PRED y SURV, ya sea para un proceso de digitalización y/o para usar las bases de datos sobre el tipo de uso de suelo. Es posible adquirir la base de datos de determinada zona si esta se encuentra ya procesada y en caso de que no solo basta procesarla.
- SURV: El subarchivo SURV ha sido diseñado para procesar y analizar los datos de las mediciones recolectadas durante las investigaciones de campo por el REGUS o por el RSAT. Los datos son utilizados para optimizar los parámetros de

propagación del modelo en estudio y a su vez para mejorar la funcionalidad del software para futuras propagaciones.

A continuación en la Figura # 7.3.0.0. se presenta un esquema funcional del PROPAC :

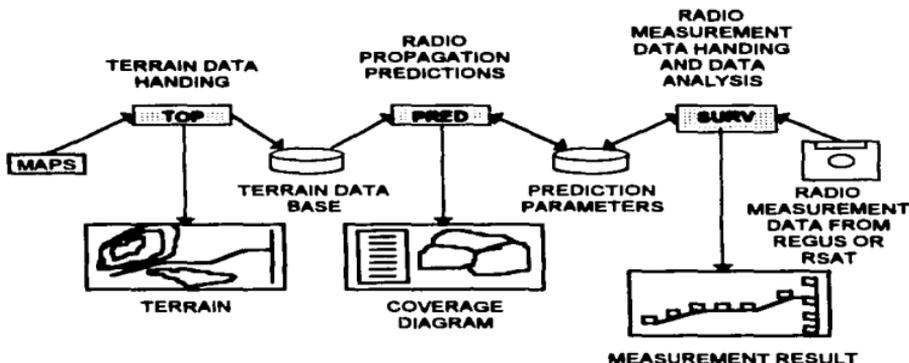


FIGURA # 7.3.0.0: FUNCIONAMIENTO ESQUEMÁTICO DEL PROPAC

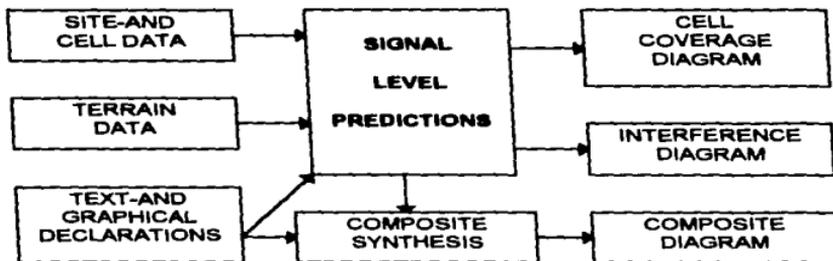
### 7.3.1. PRED, PAQUETE DE PREDICIÓN:

PRE es el programa primario del paquete PROPAC que brinda la capacidad de presentar las siguientes funciones:

- Predicción de cobertura por RBS.
- Predicción de interferencia de co-canal.
- Síntesis de cobertura por RBS.
- Edición de la información sobre el sistema.
- Edición de la cobertura por célula.

El archivo PRE consta de diferentes programas a los cuales puede tener acceso el usuario y su funcionamiento a bloques es el siguiente:

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



**FIGURA # 7.3.1.0.: FUNCIONAMIENTO DEL ARCHIVO PRED**

### **7.3.1.1. MODELO DE PROPAGACIÓN.**

Los algoritmos de propagación basados en el modelo de Okumura-Hata han sido mejorados con la integración de nuevos factores como la difracción por bordes y las características de uso de suelo.

Existen tres diferentes maneras de presentar los resultados de una predicción:

- La primera representa el área de cobertura de una sola célula mostrando únicamente la intensidad de la señal. A este tipo de documento se le conoce como diagrama C.
- El siguiente diagrama ilustra los niveles de interferencia de una célula con respecto a otro "Cluster" con las mismas frecuencias adyacentes. A este tipo de documentos se les conoce como diagramas de C/I y C/N respectivamente.
- Por último, el siguiente diagrama ilustra la cobertura completa de varios sitios simultáneamente. A este tipo de documento se le conoce como diagrama "Compuesto".

### **7.3.2. TOP, PAQUETE DE TOPOGRAFÍA.**

El principal objetivo de TOP es el de crear una base de datos que contenga por una parte información sobre los contornos y sus elevaciones del área en estudio y por otra parte el de catalogar por regiones el tipo de uso de suelo asignándole un código predeterminado.

Las principales funciones del subarchivo TOP son las de:

- Digitalizar los contornos y las elevaciones correspondientes a una área en estudio.
- Digitalizar el área en estudio por regiones bajo un código de uso de suelo.
- Digitalizar predicciones anteriores como antecedentes.
- Revisar y editar los datos digitalizados.

### **7.3.2.1. DIGITALIZACION DE MAPAS.**

La digitalización de mapas es una manera de crear una base de datos a partir de mapas topográficos. Para digitalizar un mapa es necesario que un operador cuente con un cursor que pueda delinear con él, el contorno de una de las elevaciones del mapa. Al haber finalizado con dicho contorno se le asignara su elevación correspondiente y continuara con otro contorno hasta finalizar con el área en estudio. A este proceso se le conoce como digitalización de mapas.

### **7.3.2.2. CODIFICACIÓN DE USO DE SUELO.**

Esencialmente el subarchivo TOP realiza y administra bases de datos. Al crear una base de datos sobre la codificación de uso de suelo es necesario contar con un mapa topográfico del área que se va a estudiar para que el operario pueda definir y determinar con un cursor sobre el mapa las diferentes zonas de uso de suelo. Al haber definido dichas áreas, el operador debe asignarle a cada área un código predeterminado para cada tipo de terreno ya que dependiendo del tipo de superficie, la propagación de radio frecuencia variara de manera diferente.

### **7.3.2.3. BASE DE DATOS SOBRE LOS ANTECEDENTES DEL MAPA.**

Este tipo de base de datos contiene información como: Caminos, casetas, fronteras, costas etc... Este tipo de información es usada solo como punto de referencia para poder realizar diagramas de predicción fáciles de interpretar.

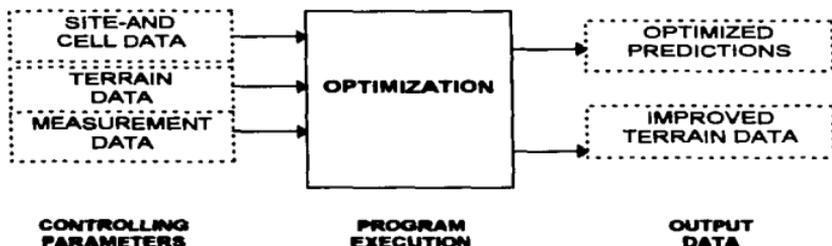
### **7.3.3. SURV, PAQUETE DE INVESTIGACIÓN.**

El subarchivo SURV se usa para analizar los resultados de la investigación de campo realizada ya sea por el equipo REGUS o por el equipo RSAT. Los resultados se utilizan para optimizar los parámetros de la predicción elaborada por el archivo PRED.

Los datos de la investigación que son integrados y elaborados en el subarchivo SURV son los siguientes:

- Datos sobre el sitio y la célula: Por ejemplo la posición geográfica de la RBS, la potencia de transmisión de los V.C.'s por célula, el tipo de antena por célula y pérdidas por la altura de la antena y del "feeder" que la interconecta a la RBS.
- Datos del terreno: Estos datos se refieren a la información topográfica tales como los contornos, las elevación que se encuentran referidas al nivel del mar e información sobre el tipo de uso de suelo o sobre el tipo de terreno.

A continuación en la Figura # 7.3.3.0. se muestra el flujo de los datos procesados por SURV.



**FIGURA # 7.3.3.0.: ENTRA Y SALIDA DE DATOS PROCESADOS POR SURV.**

#### **7.4. EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN DE RADIO.**

La investigación de campo tiene como finalidad la de analizar las condiciones en donde se ubicarán las estaciones de radio base (RBS) futuras, el de medir la propagación de radio frecuencia de cada uno de estos sitios ya instalados y finalmente el de hacer un estudio de campo a nivel de interferencias causados por el reuso de frecuencias. Por lo tanto las investigaciones de campo constan de tres etapas para asegurar que una RBS funcione de manera adecuada.

Para llevar a cabo una investigación inicial del área elegida es necesario instalar transmisores de prueba en los sitios seleccionados. Posteriormente con vehículos equipados con módulos de medición de intensidad de campo como el "REGUS" o el "RSAT", se determina la propagación definida por los transmisores de prueba. Tanto el "REGUS" como el "RSAT" son equipos que tienen la capacidad de medir la intensidad de campo de un canal determinado. Sin embargo difieren en algunos aspectos:

El REGUS tiene la capacidad de monitorear de 1 a 21 frecuencias simultáneamente tanto en la banda AMPS de 869 a 894 MHz como en la banda ETACS de 917 a 950 MHz. En México el ancho de banda otorgada para el uso de la telefonía celular esta dividida en dos bandas que son la banda "A" de 870.030 a 879.990 MHz y la banda "B" de 880.020 a 889.980 MHz que básicamente corresponde a la banda AMPS. Durante las mediciones de intensidad de campo, el equipo REGUS registra también el camino recorrido con el auxilio de pulsos digitales procedentes de un odómetro en una de las ruedas del vehículo.

El equipo RSAT tiene la capacidad de monitores simultáneamente hasta 3 diferentes frecuencias tanto en la banda A como en la banda B. Por otra parte, este equipo no cuenta con odómetro para registrar la trayectoria tomada para el estudio de campo, por lo que tiene que basarse en mapas topográficos de la región en estudio.

## **7.5 PLANEACIÓN CELULAR.**

Es importante que la planeación celular en un inicio sea lo más preciso ya que un mal diseño en la planeación nominal puede provocar demoras e inclusive altos costos en su desarrollo.

Por esta razón se ha creado un proceso que controla su desarrollo desde su fase inicial hasta su fase final como se muestra en el diagrama de Flujo # 7.5.0.0.

### **7.5.1 PROCEDIMIENTO DE CONTROL EN LA PLANEACIÓN CELULAR.**

#### **7.5.1.1. ELECCIÓN DEL SISTEMA: FASE 1 Y 2.**

Antes de desarrollar un sistema celular nominal es necesario definirlo. La elección del sistema se basa en las siguientes consideraciones:

- En el tipo de banda que se ha tramitado ante TELECOMM.
- En los requerimientos necesarios en base al tipo de sistema que se pretende instalar: Por ejemplo si se pretende cubrir una determinada área de una autopista o si se pretende cubrir toda una zona urbana.
- En la capacidad que se requiere en el sistema para dar servicio a una cantidad predeterminada de usuarios. Esta capacidad esta relacionada con la cantidad y distribución de los V.C.'s en el sistema.
- En la compatibilidad del sistema celular con las centrales telefónicas.

#### **7.5.1.2. ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO GENERADO: FASE 3.**

En base a los registros que tiene la PSTN de Telmex es posible tener una estimación sobre la distribución y densidad del tráfico que generaría una red celular nominal. Por lo tanto en base a estos registros es factible planificar tanto la cobertura del sistema como la distribución de su capacidad de servicio.

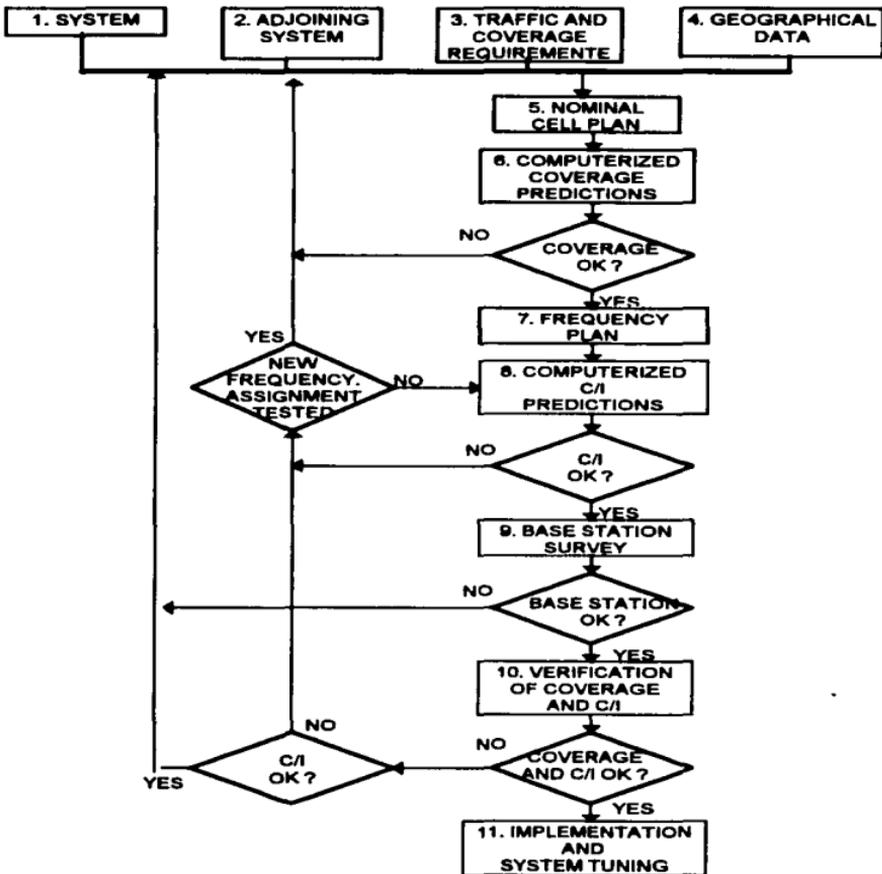


DIAGRAMA DE FLUJO # 7.5.6.6.

#### **7.5.1.3. DATOS GEOGRÁFICOS: FASE 4.**

Para definir la ubicación de las futuras RBS's es necesario conocer los siguientes datos:

- Datos topográficos del área en estudio.
- Datos sobre el tipo de uso de suelo.
- En determinados casos es posible usar las instalaciones de Telmex para ubicar las RBS's por razones económicas.

#### **7.5.1.4. PLANEACIÓN CELULAR NOMINAL: FASE 5.**

La finalidad de una planeación celular nominal es la de determinar su área de propagación y la de definir sus condiciones de interferencia.

El tamaño de las células y el número de canales por célula es definido a partir de la cobertura del sistema y de los requerimientos de tráfico. La distribución de las RBS's esta diseñada en base a la cobertura del sistema. Sin embargo en determinados casos algunas RBS's son reubicadas y acondicionadas a las instalaciones del cliente.

#### **7.5.1.5. PREDICCIONES DE COBERTURA: FASE 6.**

Como no es posible llevar a cabo un estudio de campo minucioso en la totalidad del sistema, es necesario recurrir a métodos más estadísticos como el que ofrece el paquete PROPAC que tiene la capacidad de predecir los niveles de propagación por área.

#### **7.5.1.6. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS POR CÉLULA: FASE 7.**

Después de haber realizado la predicción de cobertura del sistema, es necesario llevar a cabo un estudio sobre la distribución de frecuencias para cada célula del sistema que estará definido por un patrón de rejillas preestablecido para reducir al mínimo la interferencia de co-canal.

#### **7.5.1.7. PREDICCIÓN DE LA RELACIÓN C/I: FASE 8.**

Para comprobar la funcionalidad que presenta el plan de distribución de frecuencia, se lleva a cabo a partir del paquete PROPAC una predicción de las interferencias de co-canal para determinar si el C/I se encuentra dentro de los márgenes de funcionamiento. En caso de no cumplir con las expectativas preestablecidas será necesario rediseñar la distribución de frecuencias hasta encontrar una asignación que cumpla con el C/I requerido.

### **7.5.1.8. ESTUDIO DE LA RBS EN CAMPO: FASE 9.**

Este estudio consta de tres etapas independientes de investigación que son:

- **Investigación de línea de vista:** Dentro de una investigación de línea de vista se busca la existencia de obstáculos como edificios, montañas o árboles que provoquen reflexiones o atenuaciones en el enlace entre la RBS y la unidad móvil.
- **Mediciones de intensidad de campo:** A través de equipos de medición de campo se realizan estudios de interferencia para confirmar que las predicciones de C/I realizadas en la fase 8 fueron correctas. A partir de esta información en caso de detectar alguna anomalía será necesario aplicar alguna técnica de inclinación de antenas para mejorar la relación C/I.
- **Inspección física del sitio:** En este caso se hace una evaluación de la instalación como el tipo de antenas, la altura de la torre, la respuesta del sitio con relación al tráfico generado y a las condiciones generales del medio como la existencia de energía eléctrica, las facilidades para acceder al sitio etc.

### **7.5.1.9. COMPROBACIÓN DE PREDICCIONES EN BASE A ESTUDIOS DE CAMPO: FASE 10.**

En base a las predicciones que se obtienen a partir del paquete PROPAC, es posible tener una idea aproximada de la cobertura en estudio. Sin embargo no siempre es posible tomar en cuenta todos los factores que afectan a la forma de propagación de un sistema debido a que cada área tiene condiciones diferentes como la topografía, la vegetación o el clima. Por lo tanto es pertinente llevar a cabo un estudio de propagación de la cobertura para poder compararlo con las predicciones de cobertura que se obtuvieron anteriormente. Para llevar a cabo dicho estudio es necesario contar con un equipo de medición como el REGUS o el RSAT los cuales crearan una base de datos que posteriormente será procesada y analizadas por el paquete PROPAC. En caso de encontrar una gran discrepancia entre los datos de la predicción y de los de la investigación de campo, será necesario corregir algunos factores del algoritmo de predicciones para tener una mejor correlación con los resultados de la investigación.

### **7.5.20 INSTRUMENTACIÓN Y MODULACIÓN DEL SISTEMA: FASE 11.**

Como se ilustra en el Diagrama de Flujo # 7.5.0.0., esta actividad de planeación celular es el producto final de toda una compleja administración de actividades en donde es posible ver el resultado de una buena planeación celular.

## CAPITULO VIII

### GLOSARIO Y REFERENCIAS.

#### **8.1. GLOSARIO.**

<b>DEFINICIONES Y ABREVIATURAS</b>		
<b>A</b>	Es el tráfico generado por uno o varios usuarios en un sistema.	36
<b>Amplificador</b>	Es un elemento que aporta una ganancia a la señal de entrada.	43 / 44
<b>AMPS</b>	Es un ancho de banda ubicada entre los 869 y 894 MHz.	4 / 8 / 71 / 72
<b>Ancho de haz</b>	En las antenas sectoriales la potencia radiada es concentrada en una dirección por medio de reflectores que pueden proporcionar un ancho de haz de 7°, 14° y 28°.	25
<b>Atenuador</b>	Es un elemento que aporta una pérdida al sistema.	43 / 44
<b>BAF</b>	Es un gabinete en donde se ubican todas las conexiones eléctricas del centro de carga de la RBS.	14
<b>Banda A, A' y A''</b>	Son anchos de bandas correspondientes a la banda AMPS como se muestra en la Tabla # 2.2.0.1. Estas bandas son utilizadas por todas las compañías asociadas a AMCEL.	4 / 8 / 71
<b>Banda B, B' y B''</b>	Son anchos de bandas correspondientes a la banda AMPS como se muestra en la Tabla # 2.2.0.1. Estas bandas son utilizadas por TELCEL.	4 / 8 / 72
<b>Bidireccional</b>	La potencia radiada por una antena bidireccional se concentra en dos direcciones opuestas generalmente de la misma magnitud.	23
<b>C.C.</b>	Son las siglas para abreviar "Control Channel" o "Canal de control"	11
<b>C/I</b>	Relación Señal a Interferencia o "Carrier to Interference"	28 / 59
<b>CLUSTER</b>	Es la distribución de todos los canales de una banda en grupos bajo un patrón definido como el 3/9, el 4/12 o el 7/21.	59
<b>CMS 88</b>	Es un sistema celular desarrollado por Ericsson el cual está diseñado para intercomunicar a 3 principales grupos los cuales son la unidad móvil (MS), la estación de radio (RBS) y la central de conmutación de telefonía móvil.	7

## DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

<b>C/N</b>	<b>Relación Señal a Ruido o "Carrier to Noise"</b>	<b>59</b>
<b>Co-canal</b>	Este término es usado cuando se presenta una interferencia producida por dos canales cuya transmisión es idéntica y transmitiendo desde dos RBS's diferentes. También es conocida como interferencia por reuso de frecuencia.	59
<b>Colineal</b>	Es una antena Omnidireccional que tiene un patrón de radiación uniforme.	19
<b>D</b>	Es la distancia entre dos RBS's a las cuales se les va aplicar los mismos grupos de frecuencia y se le conoce como distancia de reuso.	61
<b>Distancia de reuso</b>	Es la distancia que existe entre dos RBS's provistas con las mismas frecuencias y es definida como "D".	61
<b>División 1:3</b>	La división 1:3 se produce cuando una RBS omnidireccional es sectorizada en tres patrones de radiación los cuales formaran una RBS sectorial.	66
<b>División 1:4</b>	Después de que se tiene una RBS sectorial es posible efectuar una división 1:4 la cual consiste en insertar nuevas RBS en la red celular existente.	66
<b>E</b>	Representa la probabilidad llamadas sin éxito en un sistema.	38
<b>EMRP</b>	Es el procesador Regional del Módulo de Extensión.	13
<b>ETACS</b>	Es un ancho de banda ubicada entre los 917 y los 950 MHz.	4 / 8
<b>ERI</b>	Es el gabinete en donde se ubican todos módulos que sirven como interface entre la MCS y los canales de la RBS.	12 / 18
<b>Erlang</b>	Matemático Danés Agner Krarup Erlang (1878-1929)	36
<b>Feeder</b>	Es un cable muy parecido al cable coaxial pero de un diámetro mayor el cual sirve para interconectar tanto las antenas de transmisión como las de recepción a los sistemas modulares de la RBS.	18
<b>Fr</b>	Factor de reducción: Es la relación de radios que debe existir entre la célula overlaid y la célula underlaid.	33 / 34
<b>GOS</b>	El grado de servicio es un porcentaje que evita la congestión del sistema. Por lo general este porcentaje se ubica entre 2 y 5%.	37
<b>Hand-off</b>	El Hand-off se produce cuando una SCM requiere cambiar de célula debido a su bajo nivel en su RX.	11

### DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Hata	Ingeniero japonés que en base a los resultados empíricos del Ingeniero OKUMURA desarrolló en 1980 un programa con la capacidad de procesar y analizar los datos topográfico y de uso de suelo de determinada región para proporcionar una predicción de dicha área.	57
Hora pico	Es la hora en que el tráfico de llamadas es más denso.	36
i	Coordenada para determinar la posición de las células de co-canal en un patrón regular de células.	62
IOIM	Es una unidad de supervisión que alerta a la MSC al momento de provocarse cualquier falla.	12
J	Coordenada para determinar la posición de las células de co-canal en un patrón regular de células.	62
K	Factor de corrección.	53 / 54 / 55
LAZY DOG	Es una tabla en donde es factible determinar de manera directa algunas relaciones comunes de potencia y de voltaje.	46 / 47
M	Es el número de canales de frecuencia con los que se cuentan.	65
MS	Unidad móvil o estación móvil.	7 / 9
MSC	Mobile service switching center o central de comunicación de telefonía móvil; es la interface del tráfico entre la red móvil y otras redes públicas conmutadas u otras centrales MCS de la misma red móvil o de otras redes. También se le conoce como MTX o MTSO.	4 / 6
Multicoupler	Un multicoupler tiene la capacidad de interconectar 48 C.V.'s y a 2 S.R.'s al sistema de recepción.	19
MUX	Son las siglas para abreviar multiplexor.	12
n	Número de llamadas por abonado durante la hora pico.	38
N	Es el número de grupos de frecuencias con los que se cuentan para establecer un Cluster.	61 / 65

## DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Nominal	En la planeación celular la palabra nominal es usada para definir una de las fases iniciales dentro del desarrollo de una red celular. La finalidad de una planeación celular nominal es la de determinar su área de propagación y la de definir sus condiciones de interferencia.	2 / 85
OKUMURA	Ing. japonés que un 1968 recopiló y analizó datos empíricos sobre el comportamiento de la propagación de radio frecuencias en diferentes tipos de suelo. El resultado de estas mediciones aparecen como diagramas que muestran la intensidad de campo.	51
Omnidireccional	Es una antena colineal cuyo patrón de radiación tiene una forma de propagación uniforme.	20
Overlaid	Este tipo de célula forma parte de un procedimiento para aumentar el número de V.C.'s dentro de una área determinada. Este sistema es conocido como células Overlaid & Underlaid, cuya forma de propagación de ambas células es similar y por lo general sectoriales. Sin embargo el área de propagación de la célula Overlaid es siempre menor al de la célula Underlaid. Inicialmente existía la célula Underlaid y posteriormente se le "encimo" la célula Overlaid para aliviar la saturación del sistema.	33
Patrón 7/21, 3/9 y 4/12	Es la forma en que se distribuye el conjunto de grupos de frecuencias de una banda sin tener que recurrir al reuso de frecuencias. Por ejemplo un patrón 7/21 significa que todo el conjunto de frecuencias pertenecientes a la banda "A" o a la banda "B" será dividido en 21 grupos de frecuencias que serán distribuido entre 7 RBS's.	59
PCM	Pulse code modulation. Es un enlace digital entre la RBS y la MSC con una velocidad de 2 Mb/s.	12
PMU	Es un sistema de supervisión el cual mide la potencia total de transmisión de todo los V.C.'s y proporciona una alarma cuando la antena no esta radiando de manera adecuada toda esta potencia. Este fenómeno es conocido como relación VSWR y esta relacionada con la potencia reflejada o no disipada por la antena.	18
POU	Son las siglas para abreviar "Power Unit".	12

## DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Power Splitter	Es un derivador de dos señal de recepción de entrada, "A" y "B", que posteriormente son distribuidas entre cinco diferentes módulos que requieren de su señal para su funcionamiento como los V.C.'s, S.R.'s y los C.C.'s.	19
PRED	Es el programa primario del paquete PROPAC.	79
PROPAC	Es un paquete de software que tiene la capacidad de crear una base de datos sobre una área deseada y de proveer una estimación de propagación de onda de dicha región. Su nombre significa "PROPAGATION PACKAGE".	78
PSTN	Public Switch Telephone Network	7
<b>R</b>	<b>Es el radio de propagación de una célula.</b>	<b>61</b>
Radio Móvil	Es un sistema similar al celular pero con una capacidad de tráfico mucho menor.	77
RDI	Red digital integral.	7
RBS	Estación de radio base: así se le denomina al equipo de radio que se emplace en un mismo lugar y que es asignado a una o a varias células.	6
Reentonación	Dentro del proceso de crecimiento de una red celular, llega el momento en que ya no es posible insertar una nueva célula sin provocar problemas de interferencia. En ese momento es necesario efectuar una "reentonación" del sistema en donde se efectúa una nueva distribución de los grupos de frecuencias y de la potencia de los mismos para reducir al mínimo los problemas de C/I.	68
Reducción de ganancia	En base a $\alpha$ , el ángulo de inclinación que tiene una antena, es posible determinar la reducción de ganancia a partir del diagrama de reducción de ganancia	25
REGUS	Es un equipo de medición de intensidad de radio frecuencia que es usado en campo. Su nombre se deriva de REGISTRATION UNIT FOR SURVEYS.	3
Reileno Nulo	Es un proceso de fabricación que se usa en las antenas para inclinar el haz de propagación de onda.	24
Reuso	Este termino es usado cuando se presenta una interferencia producida por dos frecuencias idénticas que son transmitidas desde dos RBS's diferentes. También es conocida como interferencia por co-canal.	59
Ro	Es el radio de propagación de una célula Overlaid.	34

### DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

RSAT	Es un equipo de medición de intensidad de radio frecuencia que es usado en campo. Su nombre significa "REAL TIME SYSTEM ANALYSIS TOOL".	3
Ru	Es el radio de propagación de una célula Underlaid.	34
Rr	Es el radio de Reducción de un sistema Underlaid & Overlaid.	34
Sectorial	Es una antena Unidireccional que tiene un patrón de radiación no uniforme como se muestra en la Figura # 3.2.0.0. La potencia radiada es concentrada en una sola dirección.	21
SCM (1)	Es una estación móvil montada en un vehículo en donde la antena de la M.S. esta ubicada externamente.	9
SCM (2)	Es una estación que puede ser transportada de manera manual y en la cual la antena no esta físicamente fija al equipo que contiene el microteléfono.	9
SCM (3)	Es una estación manual portátil en el cual la antena puede estar físicamente fija a la parte del equipo que contiene el microteléfono.	9
SCM (4)	Es la misma definición que la que ilustra a la SCM (3) pero con la condición que solo es aplicable en el sistema ETACS.	9
S.R.	Son las siglas para abreviar "Signal Receive" o "Receptor de Intensidad de Señal"	11
Star-Net	Es un conector el cual físicamente interconecta a cuatro combinadores que a su vez manejan a cuatro módulos de transmisión. Por lo tanto el Star-Net maneja simultáneamente a 16 frecuencias de transmisión que son radiadas a través de una antena de transmisión.	18
STR	Es un módulo que forma parte del enlace de control entre el procesador central de la MCS y los EMRP's.	13
SURV	El subarchivo SURV ha sido diseñado para procesar y analizar los datos de las mediciones recolectados durante las investigaciones de campo por el REGUS o por el RSAT.	78 / 81
T	Tiempo promedio de conversación cuantificado en segundos.	36
Teoría de Erlang B	La teoría de Erlang B considera que las llamadas en proceso no esperan lo suficiente la liberación de algún canal de voz para establecer el enlace de comunicación.	36

## DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Teoría de Erlang C	La teoría de Erlang C considera que las llamadas en proceso no esperan más que un tiempo promedio de ocupación	36
Teoría de Poisson	La teoría de Poisson considera que las llamadas en proceso esperan un tiempo indefinido hasta conseguir un canal de voz libre para poder establecer la llamada deseada.	36
TOP	Es un subarchivo del paquete PROPAC el cual tiene la finalidad de extraer información de los mapas digitalizados tal como la topología, el tipo de uso de suelo e información sobre predicciones anteriores archivados en la base de datos de TOP.	78 / 80
Trafico	El tráfico por abonado se define por el número de llamadas efectuadas y por la duración promedio de cada una de ellas en un lapso de una hora.	35
Troncal	Una troncal en un sistema celular tiene una capacidad de 33 canales de voz	37
Umbral de Hand-off	Es el área de traspase de dos células en la cual se produce el Hand-off.	59
Underlaid	Este tipo de célula forma parte de un procedimiento para aumentar el número de V.C.'s dentro de una área determinada. Este sistema es conocido como células Overlaid & Underlaid, cuya forma de propagación de ambas células es similar y por lo general sectoriales. Sin embargo el área de propagación de la célula Overlaid es siempre menor al de la célula Underlaid. Inicialmente existía la célula Underlaid y posteriormente se le "encimo" la célula Overlaid para aliviar la saturación del sistema.	33
Unidireccional	Es una antena sectorial que tiene un patrón de radiación no uniforme como se muestra en la Figura # 3.2.0.0. La potencia radiada es concentrada en una sola dirección.	21
V	Pérdidas por difracción.	50 / 51
V.C.	Son las siglas para abreviar "Voice Channel" o "Canal de Voz".	11
Voltaje de Carga	Es el voltaje que proporciona el sistema de rectificadores a los bancos de baterías para recargarlos después de que estos sufrieron una descarga por alguna falla eléctrica.	17
Voltaje de Flotación	Es cuando el nivel de voltaje entregado por el banco de baterías es igual al que es entregado por el sistema de rectificadores.	17

**DEFINICIONES Y ABREVIATURAS**

Voltaje de Funcionamiento	Es el voltaje que normalmente es entregado por el sistema de rectificadores y por el sistema de baterías en conjunto al responder a la carga requerida por la RBS.	17
WRAP-AROUND	Es el nombre que se les da a las bandas extendidas de A', A'' y B'.	8

## 8.2. REFERENCIAS.

### **BIBLIOGRAFIA.**

1. PLANIFICACIÓN DE REDES CELULARES CON MÁXIMO RENDIMIENTO DE SISTEMA.  
ERICSSON REVIEW 64 (1987): 3, PAGS. 122-129.  
LEJDAL, J.-O. Y LINDQVIST, H.
2. TELÉFONOS ERICSSON PARA SISTEMAS CELULARES.  
ERICSSON REVIEW 64 (1987): 3, PAGS. 141-150.  
JISMALM, G. Y RYDBECK, N.
3. SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL EN MALASIA, PRECURSOR EN ASIA.  
ERICSSON REVIEW 64 (1987): 3, PAGS. 151-159.  
KHIR BIN HARUN, M. Y OMHOLT, R.
4. ERICSSON CELLULAR MOBIL TELEPHONE SYSTEMS.  
ERICSSON REVIEW 64 (1987): B, PAGS. 42-49.  
SODERHOLM, G., WIDMARK, J. YORNULF, E.
5. EL FUTURO DE LA TELEFONÍA CELULAR.  
ERICSSON REVIEW 67 (1990): 1, PAGS. 42-52.  
JANSSON, H., SWERUP, J. Y WALLINDER, S.
6. PLANEACIÓN CELULAR CMS 88.  
ERICSSON RADIO SYSTEM AB, 1991.  
GORAN GUSTAFSSON Y BENGT MALER.
7. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION.  
NOVEMBER 1982 VOLUME AP-30 NUMBER 6 ( ISSN 0018-926X ).  
A PUBLICATION OF THE IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY.
8. ANTENAS Y DIAGRAMAS DE IRRADIACIÓN.  
CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA.  
AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL ( A.I.D. ),.
9. PRODUCTOS Y SERVICIOS PARA PLANIFICACIÓN DE CÉLULAS.  
ERICSSON REVIEW 67 (1990): 2, PAGS. 84-91.  
GREGOR JISMALM Y JAN-OLOF LEJDAL.
10. RSAT USER'S GUIDE.  
C. 1989 BY LCC, INC.