



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Facultad de Ciencias e Ingeniería



**Diseño de Estación Celular para la localidad de  
Laredo – Trujillo – La Libertad**

*Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico*

Presentado por:  
José Rafael Guerra Amaya

Lima - PERÚ  
2006

ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u> .....	i
<u>CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA COBERTURA DE TELEFONIA MOVIL CELULAR ACTUAL EN LAREDO</u>	
1.1 Descripción de la localidad de Laredo .....	3
1.2 Cobertura de telefonía móvil celular actual en Laredo .....	7
<u>CAPÍTULO 2: CALCULOS DE DISEÑO PARA DAR COBERTURA DE TELEFONIA MOVIL CELULAR A LAREDO CON UNA ESTACION BASE CELULAR CDMA Y CON UN REPETIDOR CELULAR</u>	
2.1 Predicciones de propagación en telefonía móvil celular .....	9
2.2 Predicción de cobertura RF de estación base celular usando gráficos de Espacio Libre .....	10
2.3 Predicción de cobertura RF para un repetidor celular .....	12
2.4 Cálculo de carga esperada de tráfico .....	16
<u>CAPITULO 3: SELECCIÓN EQUIPAMIENTO</u>	
3.1 Selección de Equipamiento de una Estación Base Celular .....	19
3.1.1 Infraestructura .....	19
3.1.1.1 Torre .....	19
3.1.1.2 Sala para Equipos .....	20
3.1.1.3 Sistemas de Aclimatación .....	22
3.1.1.4 Terreno de Estación .....	23
3.1.2 Energía Eléctrica .....	24
3.1.2.1 Energía AC .....	24
3.1.2.2 Energía DC .....	24
3.1.2.2.1 Rectificador .....	24
3.1.2.2.2 Banco de Baterías .....	25
3.1.2.3 Sistema de Protección Eléctrico .....	26
3.1.2.3.1 Sistema de Pararrayos .....	26
3.1.2.3.2 Sistema de Tierra .....	26
3.1.2.3.3 Supresores de Picos .....	27
3.1.3 Equipamiento .....	27
3.1.3.1 Estación Base Celular .....	27
3.1.3.2 Medio de Transporte .....	28
3.1.3.3 Antenas, cables y accesorios .....	30
3.1.3.3.1 Antenas .....	30
3.1.3.3.2 Cables y conectores .....	31
3.1.3.3.3 Cables flexibles, arrestores, accesorios .....	31

3.2 Selección de Equipamiento de un Repetidor Celular .....	32
3.2.1 Infraestructura .....	32
3.2.1.1 Torre .....	32
3.2.1.2 Caseta de Equipos .....	32
3.2.1.3 Sistema de Aclimatación .....	33
3.2.1.4 Terreno de Estación .....	34
3.2.2 Energía Eléctrica .....	34
3.2.2.1 Energía AC .....	34
3.2.2.2 Energía de respaldo .....	35
3.2.2.3 Sistema de Protección Eléctrico .....	35
3.2.2.3.1 Sistema Pararrayos .....	35
3.2.2.3.2 Sistema de Pozos de Tierra .....	35
3.2.2.3.3 Supresores de Pico .....	35
3.2.3 Equipamiento .....	36
3.2.3.1 Repetidor .....	36
3.2.3.2 Antenas, cables, conectores y accesorios .....	36
3.2.3.2.1 Antenas .....	36
3.2.3.2.2 Cables y conectores .....	37
3.2.3.2.3 Cables flexibles, arrestores y accesorios .....	37

**CAPITULO 4: EVALUACION ECONOMICA**

4.1 Presupuesto de una Estación Base Celular .....	39
4.1.1 Infraestructura .....	39
4.1.2 Energía Eléctrica .....	39
4.1.3 Equipamiento .....	40
4.1.4 Resumen Inversión .....	40
4.1.5 Gastos Operativos .....	40
4.2 Presupuesto de un Repetidor Celular .....	40
4.2.1 Infraestructura .....	40
4.2.2 Energía Eléctrica .....	41
4.2.3 Equipamiento .....	41
4.2.4 Resumen Inversión .....	41
4.2.5 Gastos Operativos .....	42
4.3 Evaluación de Indicadores Financieros .....	42
4.3.1 Ingresos por estación Laredo .....	42
4.3.2 Cálculo de VAN .....	43
4.3.2.1 Cálculo de VAN para Estación Base Celular .....	43
4.3.2.2 Cálculo de VAN para Repetidor Celular .....	44
4.3.3 Conclusión .....	44
4.3.3 Ajustes al Proyecto .....	45
4.3.3.1 Reducción de Inversión .....	45
4.3.3.2 Ampliación de número de abonados .....	45

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES** ..... 47

**FUENTES** ..... 48

**GLOSARIO** ..... 49

## RESUMEN

En este trabajo se analiza cual es el equipamiento más apropiado para dar cobertura de telefonía móvil celular a la localidad de Laredo, distrito de Laredo provincia Trujillo departamento La Libertad; una estación Base Celular y/o un Repetidor Celular tomando como objetos de análisis la cobertura celular radioeléctrica, la capacidad de tráfico esperada y análisis económico.

El análisis de cobertura radioeléctrica se realiza para una frecuencia de 800MHz y tecnología CDMA. La capacidad de tráfico se estima de acuerdo a la cantidad de clientes que se espera obtener. El análisis económico se basa en retorno de capital en un año y según el presupuesto de la estación para cada equipamiento.

Se concluye que uno de los ítems económicos mayores para proyectos de expansión es la infraestructura necesaria para colocar el repetidor celular y/o la estación base; entonces para localidades pequeñas se recomienda empezar por instalar un repetidor celular para poder tener un retorno de capital más rápido y luego de acuerdo a la penetración en la localidad instalar una estación base celular.

## INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil desde sus inicios en el Perú en 1990 ha tenido un alto crecimiento pero a pesar de eso tiene una tasa de penetración de 17 abonados por cada 100 personas, la cual es baja comparada con otros países de Latinoamérica. La mayor cantidad de abonados que no cuentan con un teléfono celular se encuentran en zonas sub urbanas o rurales, donde una estación base celular puede no resultar rentable a corto o mediano plazo (inversión muy alta para la cantidad de usuarios), por lo que elegir el equipamiento adecuado es importante para que las compañías operadores puedan lograr un rápido retorno de capital y aumentar así su base de clientes.

Los fabricantes de equipamiento celular han desarrollado equipamiento alterno al convencional; microceldas, macroceldas, repetidores celulares, estaciones bases satelitales, etc.; para poder atender a este tipo de población. Depende de las compañías operadoras evaluar donde utilizar este tipo de equipamiento para conseguir los mayores beneficios para sus respectivas empresas.

El trabajo a desarrollar pretende determinar si una Estación Base Celular o un Repetidor Celular es el equipamiento más adecuado para el Distrito de Laredo Provincia de Trujillo Departamento La Libertad para brindar cobertura celular en la banda de 800MHz con tecnología CDMA; para lo

cual se realizará estudios de cobertura radioeléctrica y parte económica de acuerdo a un estimado de abonados al cabo de un año.



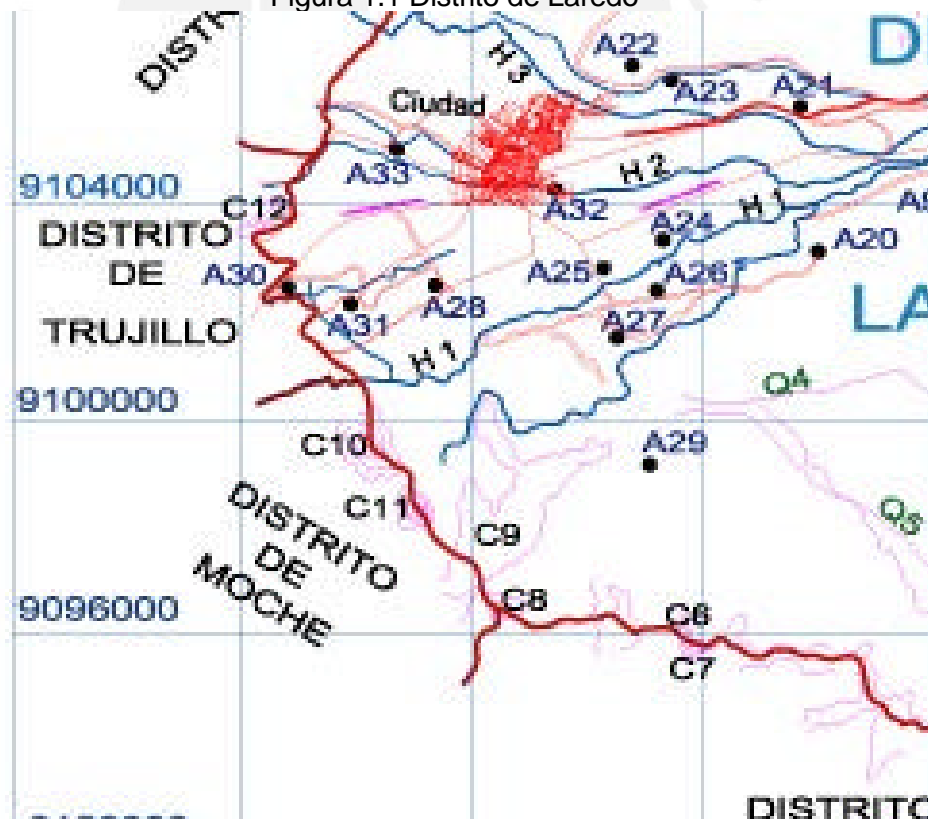
## CAPÍTULO 1

### DESCRIPCION DE LA COBERTURA DE TELEFONIA MOVIL CELULAR ACTUAL EN LAREDO

#### 1.1 Descripción de la Localidad de Laredo

Laredo es un distrito de Trujillo que tiene una extensión estimada de 336 km<sup>2</sup> y esta ubicado en la provincia de Trujillo Departamento La Libertad. En la figura 1 se muestra sus límites.

Figura 1.1 Distrito de Laredo



Según el censo de 1993 su población es de 28000 habitantes aproximadamente y según el Plandemtru (Plan Desarrollo Metropolitano Trujillo) 2000 la población es de 35000 habitantes.

La actividad económica se basa en el cultivo y procesamiento de caña de azúcar propiedad de la Empresa Agroindustrial Laredo S.A.A. la cual posee 4500 Has, esta empresa cuenta con un capital extranjero de la empresa Manuelita con sede en Colombia, esta inversión de capital a reactivado la economía en este distrito, dándole mayor dinamismo.

La ciudad de Laredo, capital del distrito, está localizado a 12Km al este de la ciudad de Trujillo, y según censo de 1993 tiene las características socio demográficas detalladas en la Tabla 1.1 Características Socio Demográficas y de Vivienda Censo 1993, estas cifras pueden haber cambiado desde la reactivación de la Empresa Agroindustrial y serán actualizadas con las cifras del censo de 2005, cuando estén disponibles, pero son una base de referencia para que el personal de comercialización y marketing de la empresa operadora haga sus estimaciones de venta y con esto poder estimar el tráfico que va a manejar la estación celular en esta localidad.

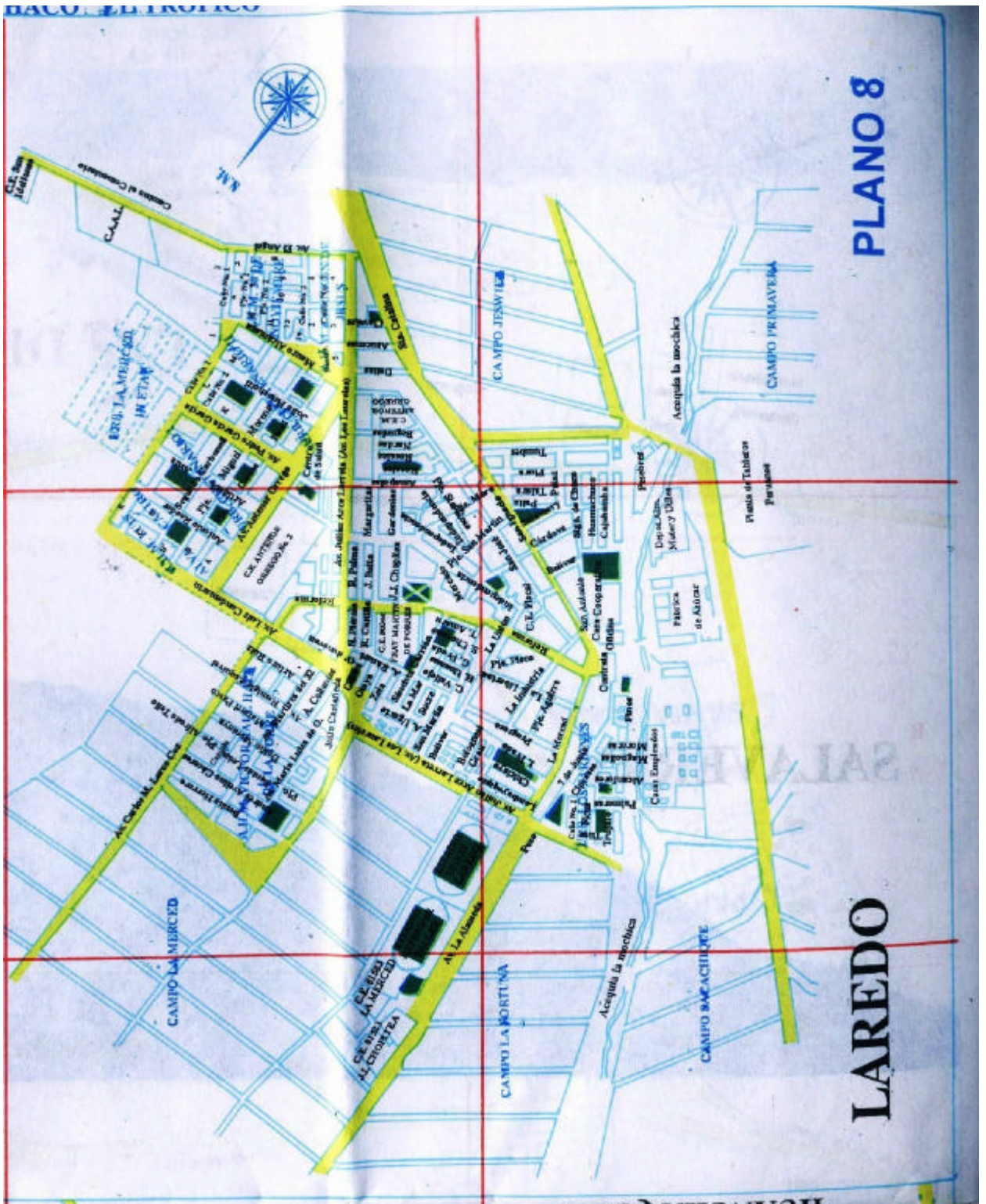
**Tabla 1.1.- Características Socio-Demográficas y de Vivienda Censo 1993**

<b>DEMOGRAFICAS</b>	
1. POBLACIÓN	12213
Hombres	5982
Mujeres	6231
2. GRUPOS DE EDAD	12213
Menores de 1	230
De 1 a 4	914
De 5 a 14	2528
De 15 a 64	7717
De 65 a mas	824
<b>EDUCATIVAS</b>	
1. POBLACION ANALFABETA	889
Hombres	304
Mujeres	585
2. NIVEL EDUCATIVO	
Sin nivel	682
Inicial Preescolar	291
Primaria	3780
Secundaria	4218
Superior	1993

<b>LABORALES</b>	
1. PEA DE 6 A 14 AÑOS	21
2. PEA DE 15 Y MAS AÑOS DE EDAD	3753
- Ocupados	3363
- Desocupados	390
<b>3. OCUPACION PRINCIPAL</b>	
Agricultores	112
Obreros	1119
Comerciantes al por menor	379
Vendedores ambulantes	153
Trabajador No calificados	422
Otros	1166
<b>4. CATEGORIA OCUPACIONAL</b>	
Asalariado	2182
Independiente	949
Patrono	94
Trabajo Familiar no Remunerado	183
Trabajadores del hogar	55
<b>5. ACTIVIDAD ECONOMICA</b>	
Extractiva	216
Transformación	1109
Servicios	1909
<b>DEL HOGAR Y VIVIENDA</b>	
Total de Viviendas	2575
Total de Hogares	2665
<b>1. TAMAÑO PROMEDIO DEL HOGAR</b>	
	4.58m <sup>2</sup>
<b>2. TIPO DE VIVIENDA</b>	
Casa independiente	2478
Vivienda improvisada	15
Otros	82
<b>3. TENENCIA DE LA VIVIENDA</b>	
Propia	1894
Alquilada	217
Ocupada de hecho	71
Otros	230

El plano de la ciudad muestra la distribución de la ciudad y nos servirá para poder elegir la ubicación de la estación dentro de la ciudad (Figura 1.2).

Figura 1.2. Plano de Laredo



## **1.2 Cobertura de telefonía móvil celular actual en Laredo.**

La cobertura móvil celular en Laredo se puede considerar solo parcial en exteriores, esto es debido principalmente a que hay cerros que no permiten que llegue bien la señal de las estaciones cercanas.

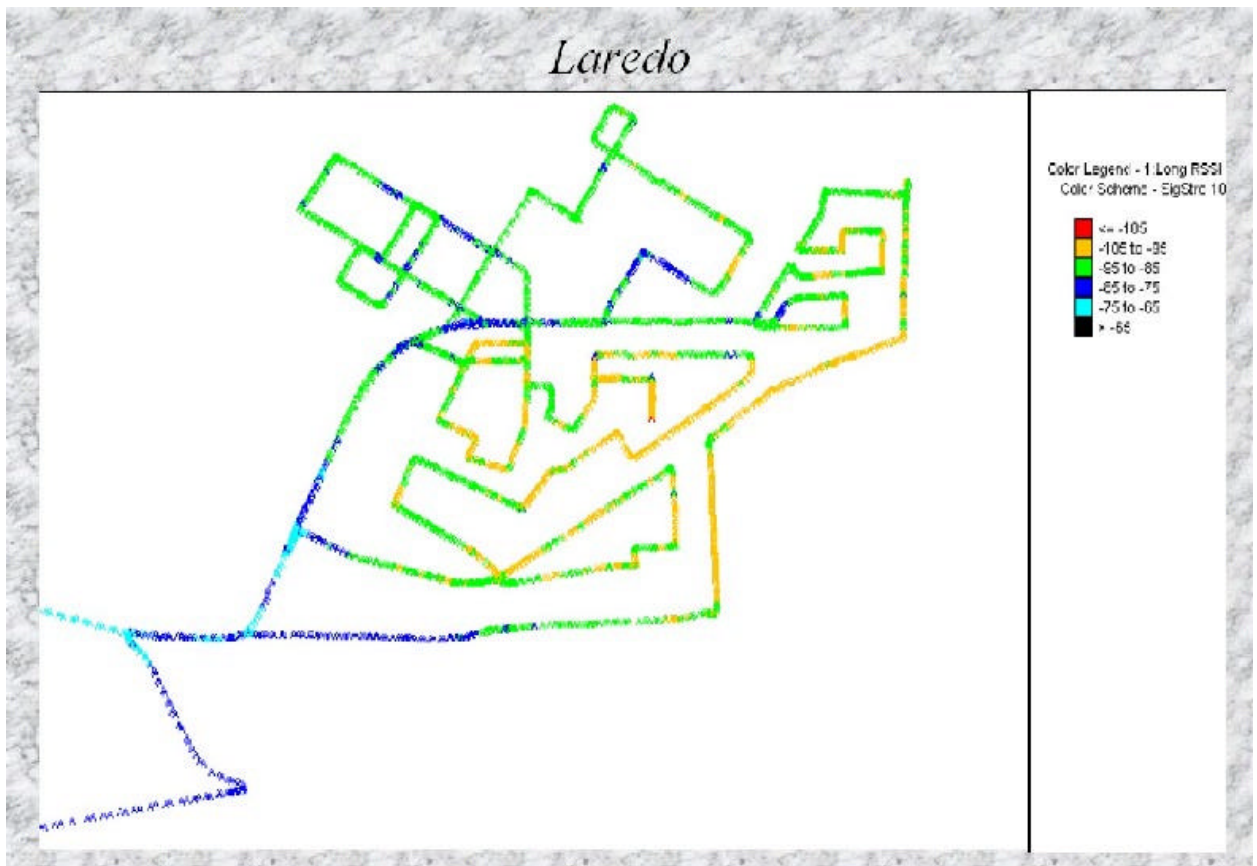
En la figura 1.3 se muestra el resultado de un drive test realizado en la banda de 800MHz, con un equipo SAFCO Agilent Technologies para canales de 30KHz, en la localidad de Laredo; los equipos de drive test graban las señales recibidas por un teléfono celular (en nuestro caso un Nokia 6125) en una computadora a través de un cable de comunicación de datos (se guarda información de niveles de recepción, canal en uso, B.E.R, F.E.R, etc.) y se muestra en forma gráfica según la ruta recorrida; para dibujar la ruta la computadora adquiere las coordenadas desde un equipo GPS y el programas se encarga de presentar las señales del teléfono en la ruta seguida.

Los niveles de recepción se presentan en rangos de colores de acuerdo a como el usuario los declare, en este caso se han declarado seis rangos:

- Mayores a -65 RSSI zona señal excelente
- Entre -65 y -75 RSSI zona señal buena
- Entre -75 y -85 RSSI zona señal regular
- Entre -85 y -95 RSSI zona señal solo para hablar exteriores
- Entre -95 y -105 RSSI zona señal inaceptable
- Menores a -105 RSSI zona sin servicio.

En general se puede considerar tres zonas; la zona con niveles de señal en recepción de móvil mayores de -85 RSSI en exteriores como zona donde se garantiza comunicación buena en interiores y exteriores; zona con niveles de señal en recepción de móvil entre de -85 a -105 RSSI en exteriores, zona donde se puede hablar en exteriores pero no se garantiza la comunicación en interiores y zona con niveles menores a -105 RSSI, zonas sin servicio.

Figura 1.3 Resultado de drive test



En la figura 1.3 Resultado de Drive Test se nota que en la mayor zona del poblado se tiene niveles inferiores a los  $-85$  RSSI en exteriores, con lo cual asumiendo una atenuación de  $30$  dB para interiores se llegaría a niveles de  $-115$  RSSI con los cual la comunicación es nula; debido a esto de tiene que mejorar la señal instalando una estación en esta localidad.

## CAPÍTULO 2

### CALCULOS DE DISEÑO PARA DAR COBERTURA DE TELEFONIA MOVIL CELULAR A LAREDO CON UNA ESTACION BASE CELULAR CDMA Y CON UN REPETIDOR CELULAR

#### 2.1 Predicciones de propagación en telefonía móvil celular

La comunicación móvil se ve afectada por ciertas condiciones físicas que se dan cuando las ondas electromagnéticas se propagan a través de la atmósfera como son la pérdida en espacio libre, pérdidas por las ondas que llegan al receptor por caminos diferentes al principal, debido a la reflexión, refracción y difracción, desvanecimiento por movimiento; los cuales no permiten garantizar un 100% de cobertura a los abonados. En un ambiente móvil la calidad de servicio debe garantizar cobertura en 90 % del área el 90% del tiempo.

Se han realizado diferentes estudios para predecir la cobertura de RF en ambientes abiertos. Entre los más usados tenemos a los estudios de Okumara, Lee, Hata, Longley-Rice, Durkin, Walfish y Bertoni, etc. que incluyen a la pérdida de espacio libre, los problemas por multitrayectoria, atenuación según sea zona urbana, semi urbana, rural. Basados en estos estudios se ha desarrollado programas los cuales pueden determinar como será la cobertura bajo ciertas condiciones, la altura de la antena, el tipo de ciudad, etc. haciendo más fácil el desarrollo de una red. Para llevar a cabo estas predicciones se emplea cartografía digital para poder simular la topología del terreno en el estudio; firmas como Marconi con Planet, Aircom con Enterprise son algunas soluciones avanzadas que se tienen en el mercado para predecir la cobertura de una estación base y de una red celular en general.

## 2.2 Predicción de cobertura RF de estación base celular usando Gráficos de Espacio Libre

Si no se cuenta con los programas avanzados, existe otro método basado en gráficos que muestran las pérdidas en espacio libre según el tamaño de la torre, frecuencias y para un PIRE de 1 KW (Figura 2.1 tomado de libro The Cellular Radio Handbook; Boucher) y que puede servir como una primera estimación del alcance de la estación base. Estos gráficos han sido elaborados tomando como referencia diferentes mediciones realizadas en diferentes ciudades y en diferentes condiciones. En el caso de Laredo al ser una zona aislada de la zona de concentración celular de Trujillo, y que tiene poco nivel de interferencia y/o polución producido por otras estaciones base; por lo tanto se espera una buena relación Energía Portadora por Señal Interferencia (Eclo), con lo cual la cobertura esperada por nivel de recepción será casi igual a la real, cuando existe polución (demasiadas señales de estaciones base) la cobertura de una estación CDMA se ve reducida a pesar de tener niveles de recepción regulares en el móvil; usaremos el método gráfico para realizar la estimación de cobertura, tomando como referencia la sensibilidad de un móvil de tecnología AMPS.

El uso de estos gráficos es como sigue:

Se necesita saber el PIRE de la estación base; tomando la potencia nominal de piloto de una estación CDMA 1X de 32 dBm y teniendo una antena de 14 dBd de ganancia y asumiendo pérdidas de 1dB en cables y conectores tenemos un PIRE de 45 dBm ó 31.5 Watts.

Como la gráfica esta dada para 1 KW de PIRE de una estación se debe adaptar el nivel al cual tomar como límite de borde inferior para un PIRE de 31.5 W

$$\text{Factor} = 10 \log (1000/31.5) = 15 \text{ dB}$$

Para un móvil AMPS se asume una sensibilidad de 39 dBuV/m entonces tenemos el valor de 54 dBuV/m como limite inferior.

Trazando la recta para 54 dBuV/m en el gráfico se concluye que con una altura de antenas de 30 mts se tendrá una cobertura de 3 Km que es suficiente par el radio de Laredo que cuenta con 2 Km de largo. Con una torre de 40m y las antenas instaladas en la parte superior se podría

llegar a localidades a un radio de 4 Km de la localidad principal. Además en caso de utilizar un enlace microondas como medio de enlace nos permitiría interconectarnos con otra estación cercana.

La estación debería esta ubicada en el centro de la ciudad para tener 3 sectores con coberturas de 320°, 80°, 200° Norte y así poder cubrir a las localidades aledañas. En caso no se pueda conseguir la ubicación indicada se deberá replantear las orientaciones de los sectores.

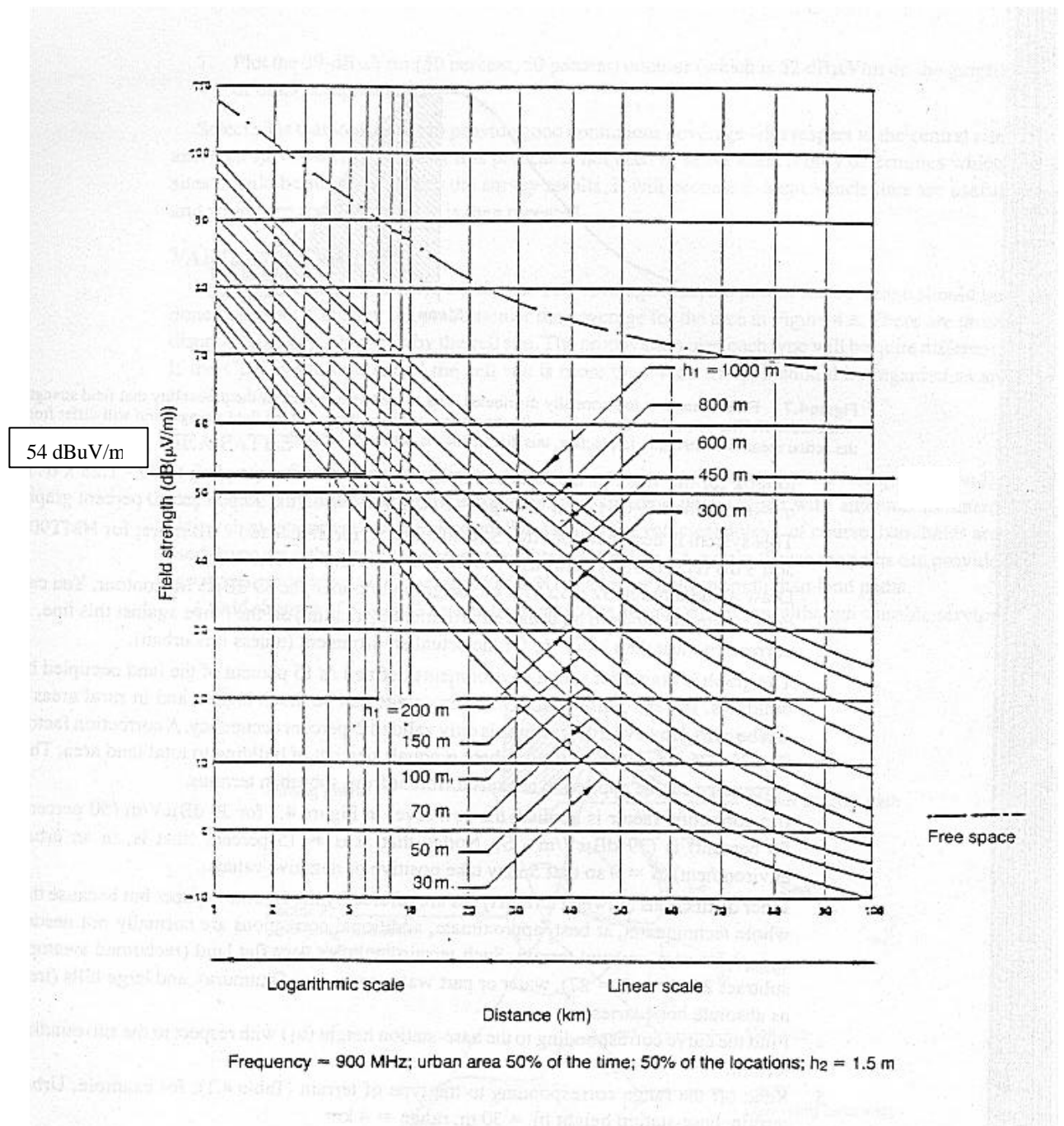


Figura 2.1.- Gráfico de alcance para frecuencia de 800 MHz

### **2.3 Predicción de cobertura RF para un repetidor celular**

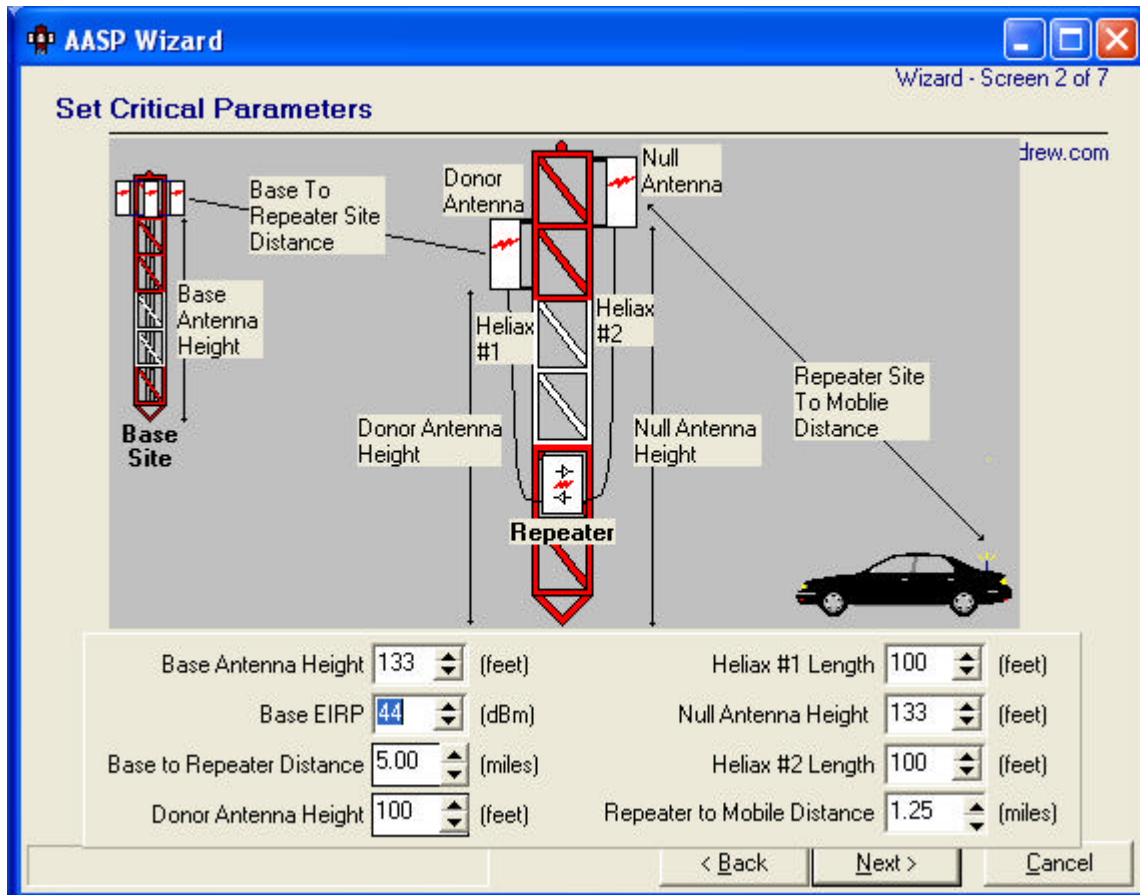
Para un repetidor celular es importante la ubicación de la estación en una zona donde se obtenga la mejor señal de entrada para la antena donadora y desde la cual con otra antena se pueda cubrir la mayor cantidad de la localidad para lograr el mejor rendimiento del repetidor.

La zona en Laredo donde se tiene estos requisitos es la zona de la fábrica de azúcar ó zona sur este, según el drive test. Además de asegurarse los mejores niveles en ella, que es el objetivo comercial principal; se debe también evitar que la fábrica sea un obstáculo para las demás zonas de la ciudad.

Usando el programas PowerTools de la compañía Andrew (<http://www.andrew.com/downloads>) y del aplicativo AASP (Andrew Antenna System Planner) el Diseño de Repetidores y con los siguientes datos, asumiendo 8 Km distancia entre la estación Base y la estación repetidora celular y tomando como altura de antena 40 m. de antena de servicio y 30 m antena donadora (en CDMA el aislamiento entre antena donadora y de servicio no es tan crítico como en otras tecnologías de banda angosta), y distancia de cobertura 2 Km y repetidor de 10 W calcularemos la cobertura que nos brinda el repetidor celular. La longitud de los cables la estimaremos como la altura de las antenas más cinco metros, para compensar la distancia de cable de la escalerilla de cables de la torre hacia la antena y la distancia desde la ubicación del repetidor en la sala de equipos hasta la escalerilla de cables de la torre. El programa solo permite colocar longitud máxima de cable de 100 pies los cual será compensado en la tabla 2.1

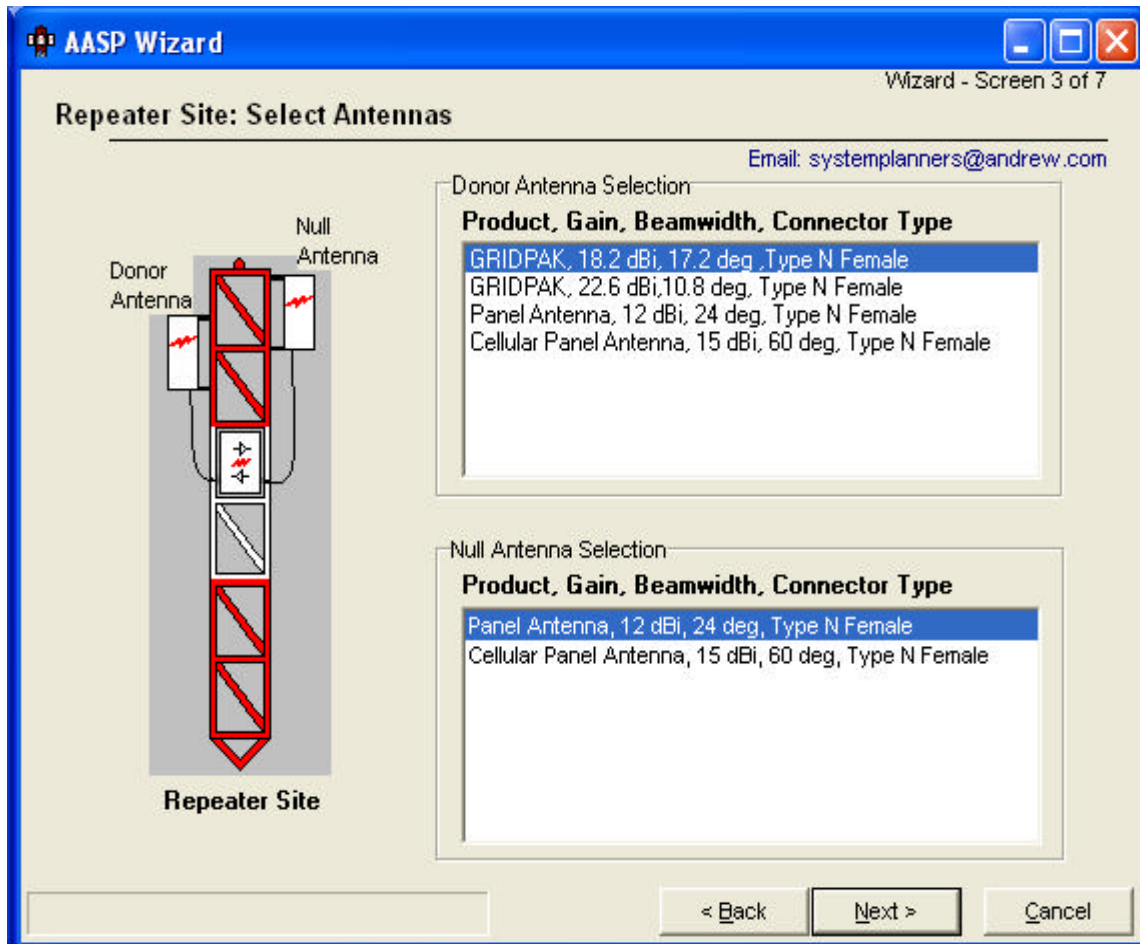
En la ventana de parámetros de valores críticos de repetidor celular se colocan los valores enunciados en el párrafo anterior; tal como indica la figura 2.2

Figura 2.2 Ventana de parámetros para Repetidores celulares



Luego se tiene que seleccionar el tipo de antena donadora y de servicio en la ventana selección de antena, figura 2.3. La antena donadora se elige de tipo directiva para poder tomar las señales de una sola estación base y con una alta ganancia debido a las pérdidas por espacio libre en 8 Km; el programa nos ofrece la antena Andrew GRIDPACK ganancia 18.2 dBi , 17.2° de haz horizontal. Para la antena de servicio se toma la antena Panel de ganancia 12 dBi y apertura horizontal de 24°, marca Andrew; estas antenas se usan para el cálculo usando este programa luego se puede utilizar otras de la misma característica.

Figura 2.3 selección de antenas



Con los valores anteriores el programa calcula las pérdidas de espacio libre entre la estación base y la antena donadora, para lo cual suma la ganancia de la antena donadora y de servicio y la potencia del repetidor y resta las pérdidas de cables con lo que se tiene el PIRE del repetidor. Con este valor y con la distancia indicada, se calcula la potencia de recepción del móvil; luego hace lo mismo en el sentido del móvil hacia el repetidor y la estación base. Los datos los entrega tabulados de la siguiente manera y en el siguiente formato indicado en la tabla 2.1, el nombre de los valores indicados se puede comparar con las figura 2.2 y 2.3

Tabla 2.1

<p><b>Repeater Site System Summary</b>  <b>Date: 10/01/2005</b>  <b>Company Name:</b>  <b>Author: José Guerra</b>  <b>Site Name: Laredo</b>  <b>Site Nuniber:</b>  <b>Proposal Number:</b>  <b>Job Nurnber:</b>  <b>Description</b></p>																			
<p><b>LINK BUDGETS</b></p> <p><b>- Downlink Path</b></p> <table> <tr><td>Base EIRP (dBm)</td><td>44.00</td></tr> <tr><td>Free Space Loss To Repeater (dB)</td><td>-104.50</td></tr> <tr><td>Donor Antenna Gain (dBi)</td><td>18.20</td></tr> <tr><td>*Selected Repeater Setting (dB)</td><td>60.00</td></tr> <tr><td>Repeater Output Power (dBm)</td><td>16.00</td></tr> <tr><td>Null Antenna Gain (dBi)</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>Total Line Loss (dB)</td><td>-3.90</td></tr> <tr><td>Free Space Loss To Mobile (dB)</td><td>-92.10</td></tr> <tr><td>Downlink Receive Signal (dBm)</td><td>-66.00</td></tr> </table>		Base EIRP (dBm)	44.00	Free Space Loss To Repeater (dB)	-104.50	Donor Antenna Gain (dBi)	18.20	*Selected Repeater Setting (dB)	60.00	Repeater Output Power (dBm)	16.00	Null Antenna Gain (dBi)	12.00	Total Line Loss (dB)	-3.90	Free Space Loss To Mobile (dB)	-92.10	Downlink Receive Signal (dBm)	-66.00
Base EIRP (dBm)	44.00																		
Free Space Loss To Repeater (dB)	-104.50																		
Donor Antenna Gain (dBi)	18.20																		
*Selected Repeater Setting (dB)	60.00																		
Repeater Output Power (dBm)	16.00																		
Null Antenna Gain (dBi)	12.00																		
Total Line Loss (dB)	-3.90																		
Free Space Loss To Mobile (dB)	-92.10																		
Downlink Receive Signal (dBm)	-66.00																		
<p><b>- Uplink Path</b></p> <table> <tr><td>Mobile EIRP (dBm)</td><td>27.00</td></tr> <tr><td>Free Space Loss To Repeater (dB)</td><td>-92.10</td></tr> <tr><td>Null Antenna Gain (dBi)</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>*Selected Repeater Setting (dB)</td><td>61.00</td></tr> <tr><td>Repeater Output Power (dBm)</td><td>6.00</td></tr> <tr><td>Donor Antenna Gain (dBi)</td><td>18.20</td></tr> <tr><td>Total Line Loss (dB)</td><td>-3.90</td></tr> <tr><td>Free Space Loss To Base (dB)</td><td>-104.50</td></tr> <tr><td>Uplink Receive Signal (dBm)</td><td>-82.00</td></tr> </table>		Mobile EIRP (dBm)	27.00	Free Space Loss To Repeater (dB)	-92.10	Null Antenna Gain (dBi)	12.00	*Selected Repeater Setting (dB)	61.00	Repeater Output Power (dBm)	6.00	Donor Antenna Gain (dBi)	18.20	Total Line Loss (dB)	-3.90	Free Space Loss To Base (dB)	-104.50	Uplink Receive Signal (dBm)	-82.00
Mobile EIRP (dBm)	27.00																		
Free Space Loss To Repeater (dB)	-92.10																		
Null Antenna Gain (dBi)	12.00																		
*Selected Repeater Setting (dB)	61.00																		
Repeater Output Power (dBm)	6.00																		
Donor Antenna Gain (dBi)	18.20																		
Total Line Loss (dB)	-3.90																		
Free Space Loss To Base (dB)	-104.50																		
Uplink Receive Signal (dBm)	-82.00																		

Los valores para corregir por la longitud de cables es el parámetro Total Line Loss, la pérdida es 0.039 dB/pies. Entonces los valores corregidos son:

En recepción móvil (Downlink Path):

$$\text{Pérdida cable 5 m. adicionales} = 0.039 \times 5 / 0.3 = 0.65 \text{ dB}$$

$$\text{Señal de Recepción en móvil (Downlink Receive Signal)} = -66 - .65 = -66.65 \text{ dBm}$$

En recepción de Estación Base (Uplink Path):

$$\text{Pérdida cable 15 m adicionales} = 0.039 \times 15 / 0.3 = 1.95 \text{ dB}$$

$$\text{Señal de Recepción en Estación Base (Uplink Receive Signal)} = -82 - 1.95 = -83.95 \text{ dBm}$$

Los valores finales no muestran mucha diferencia con la real.

En la recepción de la estación base celular donadora habría que revisar como se ve afectado el nivel de ruido en sus antenas de Rx, para que no pierda capacidad de manejo de tráfico, en caso de ser necesario se podría atenuar un poco más el repetidor o cambiar la antena donadora por una de menor ganancia, dependerá de cómo se afecta el control dinámico de potencia en la celda.

Con el repetidor se puede garantizar dar cobertura a la localidad de Laredo hasta 2 Km de distancia; asumiendo 30 dB de pérdidas adicionales en el interior de los locales se tendría valores de  $-96.65$  dBm y se podría esperar que llegue a poblados vecinos con niveles para hablar en exteriores; para poder cubrir la localidad de Laredo se debe escoger una antena con apertura horizontal de  $90^\circ$  (estimación tomada con referencia a figura 1.2 Plano de Laredo) y ganancia 12 dBi, que se uso en el cálculo realizado en el programas, en marca Andrew la antena 775G90V1ESXM cumple las características de antena requeridas.

#### **2.4 Cálculo de carga esperada de tráfico**

La capacidad de tráfico esperada para una estación es difícil de predecir porque no solo depende de la cantidad de abonados en la zona si no de las características que tengan:

- Tipo de tráfico entrante o saliente: mayor incidencia en recepción de llamadas que en llamadas salientes o viceversa.
- Tipos de abonados en la zona: convencionales con minutos libres, o abonados con límite de minutos ya sea con tarjeta o tarifas fijas.
- Actividad comercial de la zona: las zonas con mayor actividad general presentan mayor carga de tráfico que las zonas residenciales.

Estas características definirán la duración de las llamadas y el tráfico de la zona.

Realizaremos un ejercicio para estimar el posible tráfico en la hora cargada de la ciudad, tomando como base los valores obtenidos del censo 1993 tenemos:

Habitantes PEA en Laredo 3600 habitantes

Asumiendo que en un año se tengan 500 abonados; este valor es referencial y tendrá que ser conversado con el área comercial de la empresa cuando se tome la decisión económica en la cual tal vez se requiera una mayor cantidad de teléfonos vendidos.

En el libro The Cellular Radio Handbook indica que se puede asumir para un mercado nuevo una carga de 50% de los usuarios en la hora cargada, para el mercado peruano en una zona rural vamos a asumir un 30%. Si tenemos 500 posibles usuarios, y asumimos que el 30% hablará al mismo tiempo en la hora pico del sistema, con lo cual tenemos 150 llamadas de voz en total (llamadas entrantes más salientes), asumiendo la duración promedio de las llamadas en 2.5 minutos, tenemos:

Flujo llamadas en hora pico =  $150 \times 2.5 = 375$  llamadas –minuto

Erlangs =  $375/60 = 6.25$  erlangs

6.25 erlangs equivale a 12 Canales usados, según tabla Erlang B a 2% de pérdida.

La tabla erlang B a 2% es usada para calcular la cantidad de canales que se necesitan en una estación base y saber si la estación base puede soportar ese tráfico.

Esta primera estimación de tráfico nos indica que una estación repetidora celular puede ser adoptada, la carga de 6.25 erlangs no afectaría la celda donadora, se ha despreciado la carga de datos debido a que en el Perú en general es muy baja llegando a 1erlang en celdas urbanas (datos tomados de las centrales de conmutación de las operadoras); en Laredo esta carga debe estar más baja por lo que no se considera la carga tráfico debido a datos.

Para la tecnología CDMA además del tráfico de llamadas se debe tener en cuenta como se carga el tráfico en RF lo que se denomina tráfico de Walsh Code, y se da por sector. En nuestro caso al ser Laredo una estación aislada será casi igual al real. En mediciones prácticas para CDMA el tráfico de RF por portadora (canal de 1.25 Mhz) puede llegar a ser de 30 erlangs para sistemas CDMA IS-95 o de segunda generación y 40 erlangs CDMA 1xrtt o de tercera generación. Para el sistema CDMA 1xrtt se debería tener en cuenta también el tráfico de datos

el cual aún en el Perú no es muy alto por lo que no lo tomamos en cuenta. En CDMA para los trasposos de llamada se asigna un elemento de canal a cada celda que ve a un móvil con buena señal y que es candidato a que la llamada sea transferida a esta celda; es por esto que el tráfico RF es mayor al tráfico que mide la central de conmutación.



## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DE EQUIPAMIENTO

#### 3.1 Selección de equipamiento de una Estación Base Celular

##### 3.1.1 Infraestructura

En lo que se refiere a infraestructura se requiere:

##### 3.1.1.1 Torre

De los cálculos obtenidos en la sección 2.2 se debe tener una torre de 40m. se asume ese tamaño de torre para que sirva para colocar la unidad ODU o la antena del microondas y para llegar a más localidades. En la torre se instalará la luz de balizaje, descansos, cable de vida, canastilla para antenas. La carga de la torre para vientos debe ser de 80 Km/h, carga esperada de vientos en Laredo; se propone una torre autosoportada rectangular, es decir se soporta sobre sus propios cimientos (ver foto 3.1), por ser la que mejor soporta esta carga de vientos.

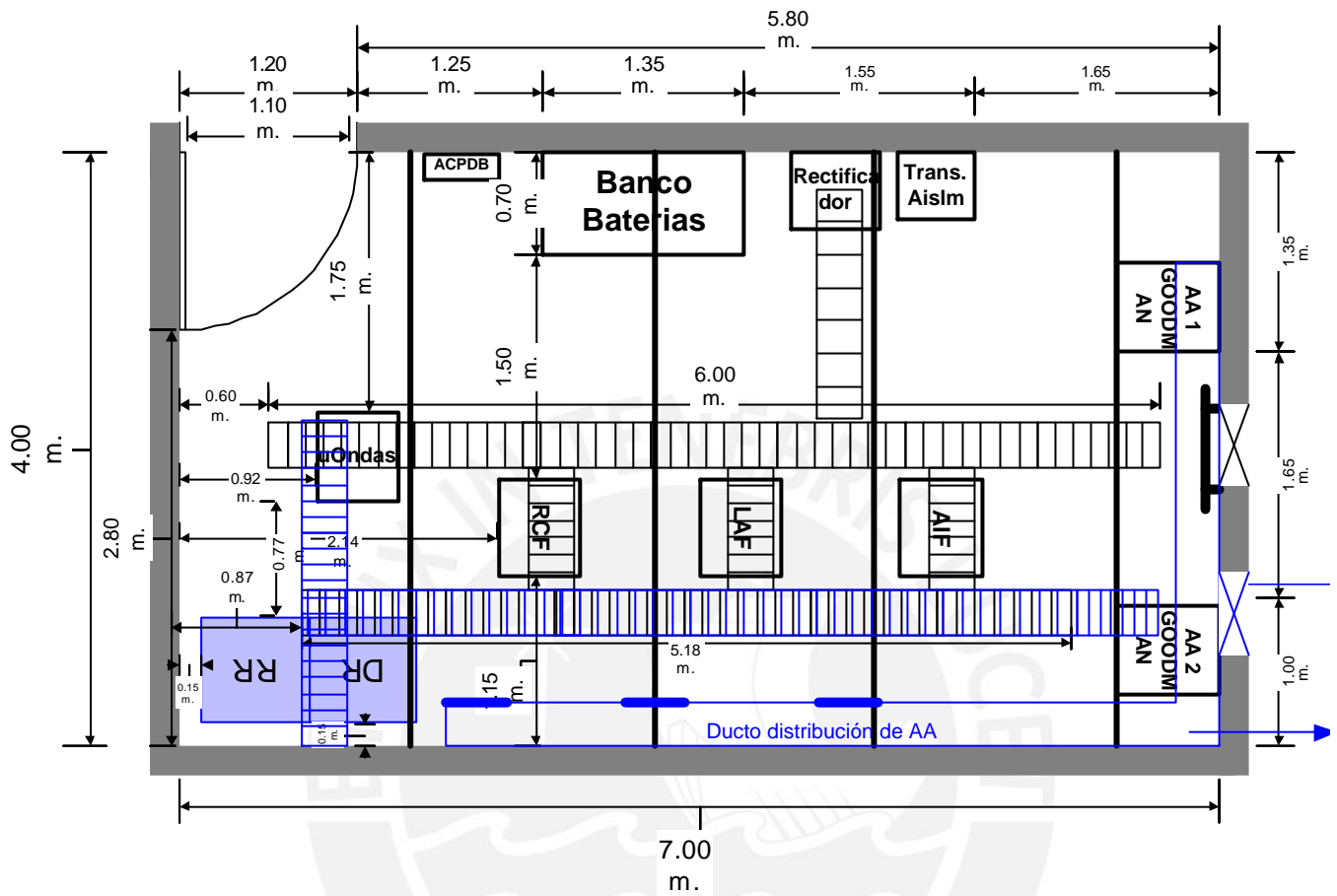
Foto 3.1 Torre Autoportada con plataforma para antenas de estación base celular.



### 3.1.1.2 Sala para equipos

Se está utilizando shelters (gabinetes) debido a que se han reducido los tamaños de los equipos de telecomunicaciones (los equipos de 2G son por lo general 3 bastidores y los equipos 3G es por lo general 1 gabinete, ver figura 3.1 Layout de una estación Base con equipamiento 2G y 3G) y pueden tener un área de 7 m<sup>2</sup>, reservando un espacio para futuras ampliaciones de acuerdo a datos de fabricante de equipos instalados y/o nuevo equipamiento, la instalación de los equipos es siguiendo las normas recomendadas del fabricante. El shelter debe ser acústico para cumplir las normas ambientales de ruido requeridas por las municipalidades (la Comisión Nacional del Ambiente CONAM, da las pautas para que las municipalidades dicten esas normas); contar con vigas para sostener escalerillas (foto 3.2), ventana pasamuros (foto 3.3); y con las instalaciones eléctricas necesarias, tablero de distribución, iluminación adecuada (680 lux a nivel de piso), tomacorrientes, por lo general un tomacorriente doble por pared; también se está usando material alternativo al convencional como es el drywall (nombre común por su origen americano que significa muro seco, porque los materiales que lo conforman no requieren mezclas húmedas), para la construcción de sala de equipos.

Figura 3.1 Layout de Estación 2G y 3G



Leyenda:

Equipo 2G Lucent SII	Equipo 3G Nortel	Equipamiento Auxiliar
AIF: Antenna Interface Frame	DR: Digital Rack	AA: Aire Acondicionado
LAF: Linear Amplifier Frame	RR: Radio Rack	ACPDB: tablero distribución AC
RCF: Radio Channel Frame		

Foto 3.2 Viga y Escalerillas



Foto 3.3 Ventana Pasamuro



Foto 3.4 Sala para equipos



### **3.1.1.3 Sistemas de Aclimatación**

Los equipos instalados en una sala de un sistema de telefonía móvil celular (estación base celular, equipo de transporte, rectificador, baterías) necesitan una temperatura adecuada para su normal funcionamiento, por lo general 25° C. Además estos equipos disipan calor, principalmente los amplificadores de potencia de la estación base celular, por lo que se hace necesario el uso de equipos de aire acondicionado para lograr la temperatura de funcionamiento óptima. Según los equipos instalados la disipación de calor puede llegar a 10000 BTU/H, siendo necesario instalar dos equipos de aire acondicionado de 16000 BTU/H, cada uno, para redundancia. (1 BTU:British Termic Unit= 1,05506 KJoule)

En la foto 3.5 se muestra la instalación de dos equipos de aire acondicionado tipo mochila

Foto 3.5 Equipos de Aire Acondicionado tipo Mochila



#### 3.1.1.4 Terreno de estación

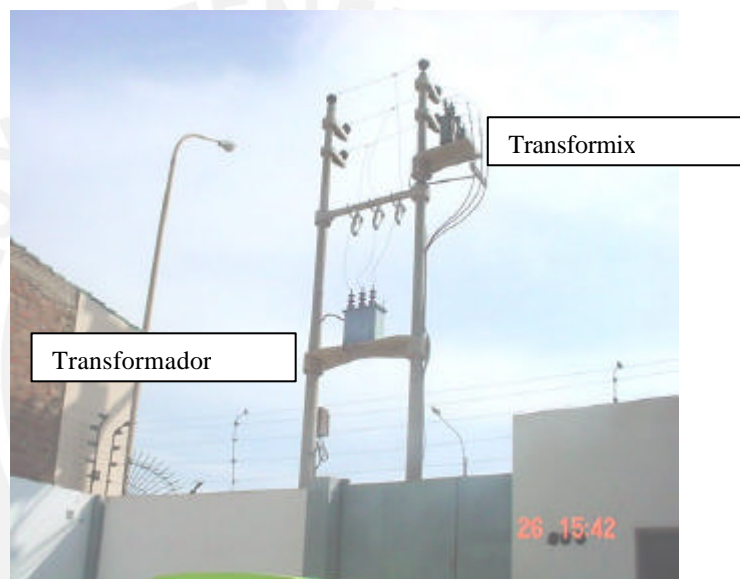
Se necesita un terreno de un área de 50m<sup>2</sup>, donde se colocará la torre y la sala de equipos. Si se decide comprar se puede obtener por \$6000 incluido los trámites que se tienen que realizar, incluyendo la licencia de funcionamiento y el cerco perimétrico del terreno.

### 3.1.2 Energía Eléctrica

#### 3.1.2.1 Energía AC

Se necesita una potencia de 30 KW en tarifa MT3 (media tensión trifásica), esta tarifa es la más adecuada para el tipo de carga de las estaciones base celular que casi no cuenta con potencia reactiva, esto incluye transformador de media a baja tensión, transformix (transformador para medidor de corriente), y postes en caso ser necesario.

Foto 3.6 Entrada de energía AC Transformador y transformix



#### 3.1.2.2 Energía DC

Se requiere de un rectificador y de un banco de baterías para una carga de equipos de 200Amps aproximadamente, tomando en cuenta los datos del fabricante de la estación base celular y equipo de transporte.

##### 3.1.2.2.1 Rectificador

La carga del rectificador es la carga de los equipos cuya capacidad se determina de los datos del fabricante, más la corriente durante la carga de baterías que según datos de fabricantes debe ser el 10% de la capacidad nominal del banco; en la siguiente sección de baterías se indica que se necesita una banco de 1500 Ah.

Los cálculos estimados son:

$$200\text{Amp de equipo} + 150\text{Amp carga de baterías} = 350\text{ Amp}$$

En Wattios es  $350\text{Amp} \times 24\text{ V nominal} = 8.5\text{KW}$ .

El rectificador debe ser de capacidad de 8.5 KW.

### 3.1.2.2 Banco de baterías

Debe ser de tracción y de libre mantenimiento (baterías de tracción son baterías que pueden soportar varias descargas profundas hasta 20% de su capacidad nominal unas 100 veces sin perder su capacidad) para que pueda soportar los cortes de fluido eléctrico, un banco de 1500 Ah nos brinda una autonomía de 6 h aproximadamente, y por tratarse de una sola estación para una localidad lo justifica.

Foto 3.7 Rectificador Iberica y Banco de baterías



### **3.1.2.3 Sistema de protección eléctrico**

Una estación de telecomunicaciones debe contar con un sistema de protección eléctrico para proteger a los equipos de ruido y darles mayor tiempo de vida, además de protegerlos contra sobrevoltajes; las fluctuaciones en los niveles de voltaje pueden deberse a variaciones propias del origen de la fuente de energía, a variaciones inducidas por arranques de motores y/o compresores; es el caso de aires acondicionados o a factores externos como puede ser la caída de un poste de la línea de acometida por causas externas y/o causas atmosféricas, el sistema de protección eléctrico está conformado por Sistema de pararrayos, sistema de tierra, supresores de pico, los cuales se detallan a continuación.

#### **3.1.2.3.1 Sistema Pararrayos.**

El más usado es el captador tetrapuntal que da un cono de protección de 45° con bajada de cable de cobre desnudo 1/0 al sistema de tierra.

#### **3.1.2.3.2 Sistema de tierra**

Se recomienda tener un sistema de 5 ohmios, para lo cual se usa por lo general un sistema de mallas y sistema de platinas de tierra conectadas a está para conexión de tierra de equipos, aterramiento de cables coaxiales.



Foto 3.8 Platina de Tierra sala equipos

### 3.1.2.3.3 Supresores de Pico

Los sistemas de protección contra picos protegen a los equipos de las altas tensiones producidas por rayos, variaciones en la energía comercial AC, etc. Se colocan a la entrada de la energía comercial AC y luego se van distribuyendo hacia la entrada del distribuidor de energía y la toma de energía AC del rectificador. El dimensionamiento de la capacidad de supresores de picos viene dado por la capacidad de la tolerancia de picos del rectificador que es un dato del fabricante. Por lo menos debe considerar el de primera protección para picos mayores de 800V y debe estar junto al tablero de distribución eléctrica.

Foto 3.9 Tablero de Distribución AC y Supresor de Picos



### 3.1.3 Equipamiento

#### 3.1.3.1 Estación Base Celular

Se requiere de una estación base celular CDMA 1x para interiores equipada con tres sectores, dentro de los precios se debe incluir la instalación de la misma. En la foto 3.10 se muestra un equipo Metrocell 800 CDMA1XRTT marca Nortel, que es la marca de los equipos instalada para esta tecnología en Perú.

Existe la posibilidad de usar equipos para exteriores pero no son muy robustos para zonas rurales, este tipo de equipos es más usado en edificios donde no se puede construir una sala equipos.

Foto 3.10 Equipo CDMA



### **3.1.3.2 Medio de transporte**

Se usará un enlace de microondas en 15GHz con capacidad para 4 E1 con fuente de alimentación de 24V, en el costo se incluye los gastos de licencia en el MTC. Para estas frecuencias los equipos se componen de dos unidades la IDU que procesa la banda base y la ODU que esta en la torre junto a la antena y donde se produce la frecuencia de 15GHZ, la unión de estos dos equipos es por medio de cable coaxial, con esta distribución se ahorra la guía de onda desde la sala de equipos hasta la antena.

Foto 3.11 Equipo Microondas Unidad indoor

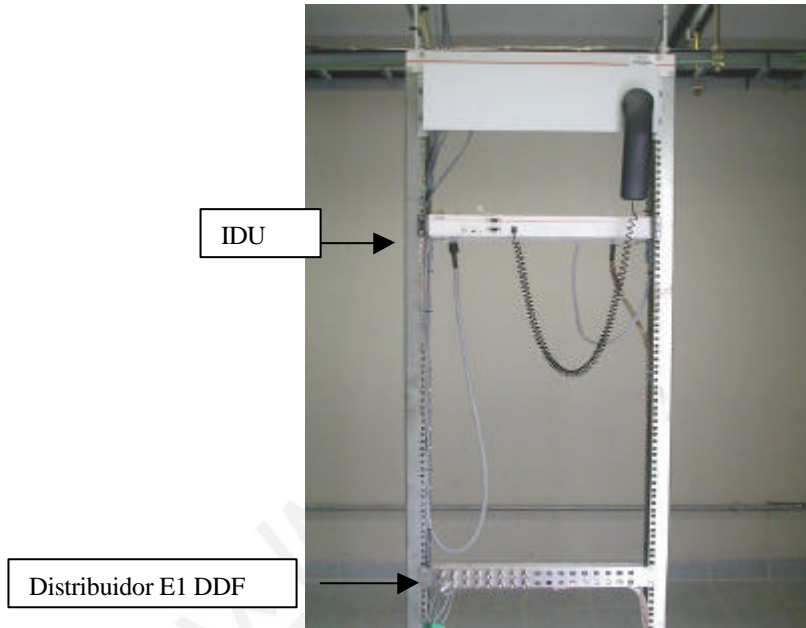
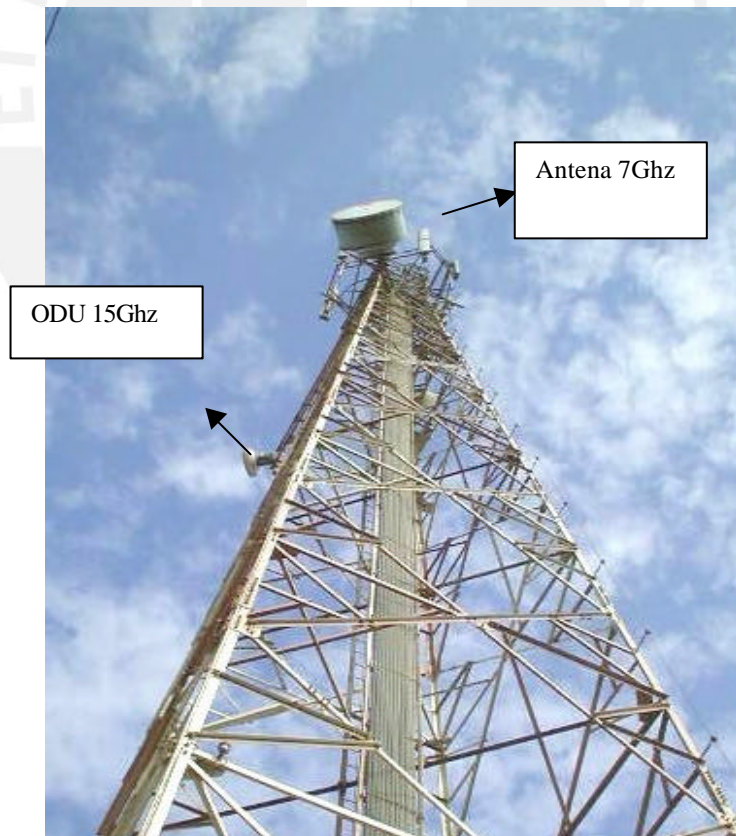


Foto 3.12 Antenas Microondas 7 Ghz y 15 Ghz



Utilizando del programa de Andrew Power Tools, y del aplicativo Microwave Tool el cálculo de enlace tenemos:

Desc		
Frequency (GHz)	14.400-15.350	
Path Distance mi.	5	Distancia Enlace
Transmitter Power (dBm)	15	Potencia Transmisión
Tx Line Loss (dB), EW132-144	6.89	Pérdida Línea transmisión
Tx Antenna Gain (dBi), P10-144	50.5	Ganancia Antena Transmisión
Free Space Loss (dB)	134.03	Pérdida Espacio Libre
Rx Antenna Gain (dBi), P10-144	50.5	Ganancia Antena Recepción
Rx Line Loss (dB), EW132-144	7.7	Pérdida Línea transmisión
Receiver Threshold (dBm)	-76	Mínima señal recibida
Fade Margin (dB)	43.38	Margen de desvanecimiento
Receive Signal Level (dB)	-32.62	Señal Recibida

The calculations used are not a guarantee of link performance.

The Receive Signal Level does not account for path fading phenomena, multipath reflections, refraction and assumes an unobstructed line-of-site with sufficient clearance for antenna height above terrain and obstructions.

Se asume equipos y marca Andrew, en la practica se puede tener equipos Alcatel, Ericsson de similares características.

### **3.1.3.3 Antenas y cables y accesorios.**

#### **3.1.3.3.1 Antenas**

De acuerdo a cálculos indicados en sección 2.2, se usaran tres antenas duales (para ahorrar espacio en la torre) de 14dBd de Ganancia y con apertura horizontal de 60° para evitar el softer handoff entre los sectores y obtener el mayor rendimiento en manejo de tráfico; la antena tendrán conectores tipo N de entrada. En la foto 3.13 se muestra una rreglo de antenas con antenas duales para una estación de tres sectores.

Foto 3.13 Arreglo de 3 sectores con antenas duales



#### **3.1.3.3.2 Cables y conectores**

De cálculos de sección 2.2, se necesitan 270m (6 cables o tiradas de 45m) de cable coaxial de 7/8pulgadas, con sus respectivos accesorios de instalación y 18 kits de aterramiento y 12 conectores DIN-H. Además de 50m de cable coaxial rígido de 1/2 pulgada para interiores (6 cables o tiradas de 7m) y 12 conectores N-M.

#### **3.1.3.3.3 Cables flexibles, arrestores, accesorios**

Se requiere 12 cables flexibles de 1/2pulgada DIN-M,N-M, con sus respectivos kits de vulcanizado, 6 arrestores de protección eléctrica para cables coaxiales. En la foto 3.14 se muestran los arrestores usados y que además sirve para el cambio de cable de media pulgada a cable coaxial 7/8 pulgadas.

Foto 3.14 Arrestores



## **3.2 Selección de Equipamiento de un Repetidor Celular**

### **3.2.1 Infraestructura**

#### **3.2.1.1 Torre**

Se selecciona la misma torre por si en el futuro hay que migrar a una estación base celular, lo que cambian son los soportes de antenas porque en un repetidor se necesitan menos antenas.

#### **3.2.1.2 Caseta de Equipos**

Se selecciona una caseta de 25 m<sup>2</sup> con las mismas características por una posible migración a estación base en el futuro, en la cual solo se colocará equipo de tercera generación. En la foto 3.15 se muestra una caseta de estación repetidor celular don de la caseta se ubica debajo de la torre para ahorrar espacio.



Foto 3.15 Estación Repetidor Celular

### 3.2.1.3 Sistema de Aclimatación

Para un repetidor celular ya no es necesario un equipamiento de aire acondicionado es suficiente con un extractor de aire automático, los repetidores celulares por lo general viene acondicionados para trabajar a la intemperie, los que necesitan mantener su nivel de temperatura apropiado de trabajo  $25^{\circ}\text{C}$  es el sistema de respaldo eléctrico. En la foto 3.16 se muestra al extractor con su respectivo sensor de temperatura para activación automática de acuerdo a las condiciones ambientales.



Foto 3.16 Extractor

#### 3.2.1.4 Terreno estación

El terreno necesario es de 50 m<sup>2</sup>, considerando que la caseta va debajo de la torre.

### 3.2.2 Energía eléctrica

#### 3.2.2.1 Energía AC

Energía comercial necesaria es de 3KW y se asume una tarifa BT3 (Baja Tensión 3) monofásica para el funcionamiento de la estación; de los datos del fabricante un repetidor celular consume aproximadamente 1 KW. El resto de la carga se conforma para el sistema de aclimatación, luces, UPS y equipos de mantenimiento.

### **3.2.2.2 Energía de respaldo UPS**

Los repetidores celulares trabajan con energía AC y consumen un promedio de 1 KW el uso de un UPS es lo más apropiado para el respaldo de la estación pero las baterías deben ser dimensionadas para un respaldo de 6 horas y deben ser de tracción con una capacidad de 80Ah

Foto 3.17 UPS



### **3.2.2.3 Sistema de protección eléctrico**

#### **3.2.2.3.1 Sistema Pararrayos**

Similar al de una estación base

#### **3.2.2.3.2 Sistema de Pozos de tierra**

Similar al de una estación base

#### **3.2.2.3.3 Supresores de Pico**

Se debe usar uno monofásico con las características de supresión de voltaje indicadas por UPS.

### **3.2.3 Equipamiento**

#### **3.2.3.1 Repetidor**

Se necesita un repetidor CDMA con las características indicadas en la sección 2.3 cálculo de cobertura celular Andrew o uno similar en otra marca Allgon, Kathrein.

Foto 3.18 Repetidor Celular



#### **3.2.3.2 Antenas, cables, conectores y accesorios.-**

##### **3.2.3.2.1 Antenas.**

Se necesitan 2 antenas una donadora tipo grilla de 18 dBd de ganancia y una de servicio de 12 dBi de ganancia según los cálculos de propagación realizados en sección 2.3. Las marcas que se puede usar son Allgon, Kathrein, EMS o cualquier otro fabricante; en sus respectiva páginas web se puede encontrar las antena indicadas.

Foto 3.19 Distribución Antenas



#### **3.2.3.2.2 Cables, conectores, accesorios**

Se necesitan 100m (2 cables o tiradas de 45m) de cable coaxial de 7/8pulgadas, con sus respectivos accesorios de instalación y 8 kits de aterramiento y 4 conectores DIN-H. Además de 20m de cable coaxial rígido de 1/2 pulgada para interiores (2 tiradas de 7m) y 12 conectores N-M.

#### **3.2.3.2.2 Cables flexibles, arrestores, accesorios**

Se requiere 2 cables flexibles de 1/2pulgada DIN-M,N-M, con sus respectivos kits de vulcanizado, 2 arrestores de protección eléctrica para cables coaxiales.

Foto 3.20 arrestores



## CAPÍTULO 4

### EVALUACIÓN ECONOMICA

#### 4.1 PRESUPUESTO DE UNA ESTACION BASE CELULAR

##### 4.1.1 INFRAESTRUCTURA.

En base a los items mencionados en sección 3.1.1 se toman los siguientes costos:

Tabla 4.1 Inversión Infraestructura

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Torre 40m carga 80Km/h	20000
2	Shelter	9000
3	Aire Acondicionado	5000
4	Terreno estación 50m2	6000
Total	Infraestructura	40000

##### 4.1.2 Energía Eléctrica

En base a los items mencionados en sección 3.1.2 se toman los siguiente costos:

Tabla4.2 Inversión Energía Eléctrica

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Sistema Energía AC	3000
2	Sistema Energía DC	8000
3	Sistema Protección	4000
4	Total	15000

### 4.1.3 Equipamiento

En base a los items mencionados en sección 3.1.3 se toman los siguientes costos:

Tabla 4.3 Inversión Equipamiento

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Estación Base CDMA 1X	15000
2	Enlace Microondas	15000
3	Antenas, cables, conectores, accesorios	2000
4	Total	32000

### 4.1.4 Resumen de Inversión

Tabla 4.4 Resumen Inversión

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Infraestructura	40000
2	Energía	15000
3	Equipamiento	32000
4	Total	87000

### 4.1.5 Gastos Operativos

Los gastos principales de una estación son los de electricidad que es un pago mensual el cual es aproximadamente \$300.00 debido sobre todo a los aires acondicionados, otros gastos de limpieza, seguridad y mantenimiento de equipos se pueden estimar en \$50 mensuales. Haciendo un total de \$350.00

## 4.2 Presupuesto de un Repetidor Celular

### 4.2.1 Infraestructura

En base a los items mencionados en sección 3.2.1 se toman los siguientes costos:

Tabla 4.5 Inversión Infraestructura

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Torre 40m	20000
2	Caseta equipos 25m2	9000
3	Extractor de Aire	1000
4	Terreno estación 50m2	6000
Total	Infraestructura	36000

#### 4.2.2 Energía Eléctrica

En base a los items mencionados en sección 3.2.2 tomamos los siguientes costos:

Tabla 4.6 Inversión Energía Eléctrica

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Sistema Energía AC	3000
2	Sistema Energía DC	3000
3	Sistema Protección	3000
4	Total	9000

#### 4.2.3 Equipamiento

En base a los items mencionados en sección 3.2.3 tomamos los siguientes costos:

Tabla 4.7 Inversión equipamiento

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Repetidor Celular CDMA	5000
2	Antenas, cables, conectores, accesorios	2000
4	Total	7000

#### 4.2.4 Resumen de Inversión

Tabla 4.8 Resumen Inversión

Item	Descripción	Costo (Dólares Americanos)
1	Infraestructura	36000
2	Energía	9000
3	Equipamiento	7000
4	Total	52000

#### **4.2.5 Gastos Operativos**

Los gastos principales de una estación son los de electricidad que es un pago mensual de aproximadamente \$100.00, otros gastos de limpieza, seguridad y mantenimiento de equipos se pueden estimar en \$20 mensuales, haciendo un total de \$120.00

#### **4.3. Evaluación de Indicadores Financieros**

Los encargados de evaluar la factibilidad comercial de una nueva estación es el área de finanzas y marketing en una empresa, de acuerdo al presupuesto que le encarga el área de Ingeniería y en coordinación con el área de ventas quienes son finalmente los encargados de conseguir los abonados para la empresa. En esta parte del trabajo vamos a realizar un ejercicio de estimación de ingresos que proporcionaría la nueva estación a la empresa, en esta no se considera los ingresos que daría un eventual contrato con Empresa Agroindustrial Laredo el cual sería un adicional a los ingresos estimados.

##### **4.3.1 Ingresos por estación Laredo**

Los abonados en una empresa operadora de telefonía móvil le suponen un ingreso estimado de \$10.00; esto es en promedio considerando abonados prepagos y postpagos, las diferentes tarifas que paguen, además se considera los ingresos por cobro de interconexión por recepción de llamadas de otros operadores y gastos como subvención de equipos celulares, gastos administrativos, etc. En el cálculo de tráfico esperado se estimó que 500 abonados podrían producir 6.4erlangs en la hora pico el cual podría ser manejado por cualquiera de las alternativas. Para efectos de los cálculos se asumirá que los 500 abonados será la meta en un año y que la captación de los mismos será 41 por mes.

Los ingresos que se generarían en una año asumiendo un TMAR de 1% mensual y usando factores de interés discreto capitalizado al 1%, y que cada nuevo abonado representa \$10.00 y el ingreso es 41 abonados mensual se muestra en la siguiente tabla

Tabla 4.9 Ingresos por Abonados

Mes	Nº Abonados	Ingreso	Factor Interes(P/F,1%,n)	Ingreso
1	41	410	0.9901	405.94
2	82	820	0.9803	803.85
3	123	1230	0.9706	1193.84
4	164	1640	0.9610	1576.04
5	205	2050	0.9515	1950.58
6	246	2460	0.9420	2317.32
7	287	2870	0.9327	2676.85
8	328	3280	0.9235	3029.08
9	369	3690	0.9143	3373.77
10	410	4100	0.9053	3711.73
11	451	4510	0.8963	4042.31
12	492	4920	0.8874	4366.01
				<b>29447.31</b>

#### 4.3.2 Cálculo del VAN

##### 4.3.2.1 Cálculo de VAN para Estación Base Celular:

Tenemos:

Inversión: 87000

Ingresos: Se usa la siguiente tabla para calcular los ingresos incluyendo los gastos por operación y mantenimiento de la estación

Tabla 4.10 Calculo VAN

Mes	Nº Abonados	Ingreso	Egreso	Factor Interes(P/F,1%,n)	Ingreso
1	41	410	350	0.9901	59.41
2	82	820	350	0.9803	460.74
3	123	1230	350	0.9706	854.13
4	164	1640	350	0.9610	1239.69
5	205	2050	350	0.9515	1617.55
6	246	2460	350	0.9420	1987.62
7	287	2870	350	0.9327	2350.40
8	328	3280	350	0.9235	2705.86
9	369	3690	350	0.9143	3053.76
10	410	4100	350	0.9053	3394.88
11	451	4510	350	0.8963	3728.61
12	492	4920	350	0.8874	4055.42
					<b>25508.06</b>

$$\text{VAN (1\% mensual)} = -87000 + 25508.06 = -\$61491.94$$

#### 4.3.2.2 Cálculo de VAN para Repetidor Celular

Tenemos:

Inversión: 52000

Ingresos: Se usa la siguiente tabla para calcular los ingresos incluyendo los gastos por operación y mantenimiento de la estación

Tabla 4.11 VAN Repetidor celular

Mes	Nº Abonados	Ingreso	Egreso	Factor Interes(P/F,1%,n)	Ingreso
1	41	410	120	0.9901	287.13
2	82	820	120	0.9803	686.21
3	123	1230	120	0.9706	1077.37
4	164	1640	120	0.9610	1460.72
5	205	2050	120	0.9515	1836.40
6	246	2460	120	0.9420	2204.28
7	287	2870	120	0.9327	2564.93
8	328	3280	120	0.9235	2918.26
9	369	3690	120	0.9143	3264.05
10	410	4100	120	0.9053	3603.09
11	451	4510	120	0.8963	3934.76
12	492	4920	120	0.8874	4259.52
					<b>28096.71</b>

$$\text{VAN (1\% mensual)} = -52000 + 28096.71 = -\$23903.29$$

#### 4.3.2.3 Conclusión

El proyecto no debe ser considerado con estas características de retorno de inversión, para hacer factible el proyecto se debe reducir costos, y/o aumentar número de abonados captado en un año o esperar un mayor tiempo el retorno de inversión; por lo que en la siguiente sección se realizará unos ajustes al proyecto.

Otro punto a considerar es la negociación de contrato con la fábrica el cual podría hacer rentable la inversión de acuerdo a la cantidad y tipo de líneas que contraten.

### 4.3.3 Ajustes al Proyecto

#### 4.3.3.1 Reducción de inversión.-

El ítem más elevado es el de infraestructura se puede reducir los siguientes costos

- Reducción de altura de torre a 30mts con lo cual el costo bajaría unos \$3000
- Buscar una infraestructura en la localidad que brinde las condiciones de altura para reemplazo de torre, tanque de agua, estructura de la fábrica se ahorra la torre pero se debe negociar el alquiler del mismo; el ahorro de inversión es de \$20000 y podría hacer factible el repetidor celular dependiendo del alquiler fijado.
- En caso de usar instalaciones de la fábrica se puede optar por una estación de exteriores para hacer factibles la instalación de la estación.

En el medio de transporte se podría alquilar pero esto aumentaría el costo de mantenimiento por que un E1 esta aproximadamente \$3000 mensual.

En los otros rubros el costo es menos significativo y puede afectar el funcionamiento de los equipo.

#### 4.3.3.2 Ampliación de número de abonados

La carga esperada de tráfico es baja y se puede conversar con el área comercial para que estime si podría llegar a mil abonados en un año.

La nueva carga esperada sería 12.6 erlangs lo cual a un repetidor podría llegar a su capacidad de potencia de transmisión, pero no necesariamente con el doble de abonados el tráfico se duplica; para el caso de la Estación Chacarero fase Beta que es la fase seleccionada no es muy crítico porque su tráfico actual es 3 erlangs.

Las siguientes tablas muestran los nuevos cálculos de ingreso

Tabla 4.12 Cálculos Revisados

Estación Base Celular					
Mes	Nº Abonados	Ingreso	Egreso	Factor Interes(P/F,1%,n)	Ingreso
1	83	833	350	0.9901	478.55
2	167	1667	350	0.9803	1290.73
3	250	2500	350	0.9706	2086.79
4	333	3333	350	0.9610	2866.98
5	417	4167	350	0.9515	3631.56
6	500	5000	350	0.9420	4380.30
7	583	5833	350	0.9327	5114.31
8	667	6667	350	0.9235	5833.44
9	750	7500	350	0.9143	6537.25
10	833	8333	350	0.9053	7227.31
11	917	9167	350	0.8963	7902.38
12	1000	10000	350	0.8874	8563.41
					<b>55913.00</b>
Repetidor Celular					
Mes	Nº Abonados	Ingreso	Egreso	Factor Interes(P/F,1%,n)	Ingreso
1	83	833	120	0.9901	706.27
2	167	1667	120	0.9803	1516.20
3	250	2500	120	0.9706	2310.03
4	333	3333	120	0.9610	3088.01
5	417	4167	120	0.9515	3850.40
6	500	5000	120	0.9420	4596.96
7	583	5833	120	0.9327	5328.83
8	667	6667	120	0.9235	6045.85
9	750	7500	120	0.9143	6747.53
10	833	8333	120	0.9053	7435.53
11	917	9167	120	0.8963	8108.53
12	1000	10000	120	0.8874	8767.51
					<b>58501.65</b>

VAN (1% mensual) EB =  $-87000 + 55913 = -\$31087$

VAN (1% mensual) RC =  $-52000 + 58501.65 = \$6501.65$

El VAN ya es positivo para el repetidor celular, lo cual lo hace rentable y una mejor opción que la estación base, la desventaja es lograr la cantidad de abonados y la menor cobertura proporcionada por el repetidor.

Para una estación base se necesita mayor cantidad de abonados y verificar el crecimiento de tráfico y/o abonados.

## CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Los repetidores celulares son una buena alternativa para zonas semiurbanas y/o rurales de poca área y bajo tráfico esperado.
- Los costos de infraestructura son una carga elevada en el costo de las estaciones, la coubicación de varias operadoras en una sola infraestructura aumentaría el crecimiento de las inversiones.
- La decisión final de la inversión en una localidad la debe realizar el área comercial quien es la que se encarga de conseguir los abonados.
- Los cálculos de radiopropagación se pueden realizar más rápido usando herramientas de programas, los cuales pueden ser desarrollados tomando en cuenta valores globales para no depender de un proveedor en particular.
- El servicio de posicionamiento global en conjunto con programas de programas y equipos de telecomunicaciones nos permite tener una mejor idea de cómo queda un sistema de telecomunicaciones (ejemplo de drive test) y podría ser desarrollado en un trabajo posterior.

## FUENTES

WAYNE, Tomasi

1996 Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 2a. ed.  
Naucalpan de Juárez (México): Prentice Hall Hispanoamericana

BOUCHER, Neil J

1990 The Cellular Radio Handbook. A Reference for Cellular System Operation  
Mendocino (USA): Quantum Publishing, Inc

YANG, Samuel

1998 CDMA RF System Engineering  
Norwood (England): Artech House

NORTEL NETWORKS

1999 CDMA Wireless Networks. RF Design Guidelines for Mobility and FWA Applications  
USA

INSTITUTO NACIONAL ESTADÍSTICA E INFORMATICA

2005 INEI host [En Línea] Lima [Consultado 2005/09/26]  
<http://www.inei.gob.pe>

MUNICIPALIDAD DE LAREDO

2004 Municipio Laredo host [En Línea] Trujillo, Perú [Consultado 2005/09/27]  
<http://www.munilaredo.gob.pe>

ANDREW CORPORATION

2005 ANDREW® [En Línea] Orlando, USA [Consultado 2005/09/20]  
<http://www.andrew.com/downloads/>

INTERNATIONAL ENGINEERING CONSORTIUM

2005 IEC Host [En Línea] Chicago, USA [Consultado 2005/09/20]  
<http://www.iec.org/online/tutorials/>

## GLOSARIO

AA:	Aire Acondicionado
AASP:	Sistema de Planificación de Antenas Andrew
AC:	Corriente Alterna
ACPDB:	Tablero de distribución eléctrica de energía AC.
AIF:	Bastidor Interfase de Antena
AMPS:	Sistema Telefónico Móvil Avanzado
BER:	Tasa de error de bit
BT3:	Baja tensión 3
CDMA:	Acceso múltiple por división de código
DC:	Corriente directa
DR:	Rack Digital
Eclo:	Energía portadora por señal interferente
FER:	Tasa de error de trama
GPS:	Sistema de posicionamiento global
IDU:	Unidad digital de interiores
LAF:	Bastidor de Amplificador Lineal
MT3:	Media Tensión 3
ODU:	Unidad digital de exteriores
PEA:	Población económicamente activa
PIRE:	Potencia irradiada real efectiva
RCF:	Bastidor de Radio Canales
RF:	Radio Frecuencia
RR:	Radio Rack
RSSI:	Nivel de Intensidad de señal recibida
TMAR:	Tasa mínima atractiva de retorno
VAN:	Valor actual neto