



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACION**

**“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA RADIANTE DE
LA ESTACIÓN CERRO DEL CARMEN DE ECUAVISA”**

INFORME TÉCNICO
Previa la obtención del Título de:
**INGENIERO EN ELECTRICIDAD
CON ESPECIALIZACIÓN EN ELECTRÓNICA**

Presentado por:
Carlos L. Jurado von Buchwald

**GUAYAQUIL - ECUADOR
1998**

A la memoria del señor
Ingeniero Don Pedro Carló,
conocedor apasionado de los
misterios de la Radio
Frecuencia, con el respeto y
la admiración que siempre
despertó en quienes tuvimos
el placer de conocerlo.

A mis Padres, quienes ya
habían esperado demasiado.

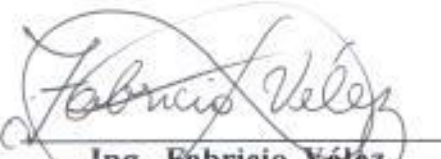
A mi esposa.

A mis Hijos.


Ing. Carlos Villafuerte
Decano de la Facultad
Ingeniería en Electricidad
y Computación


Dr. Ing. Freddy Villao
Director del Informe

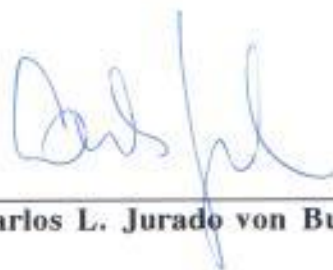

Ing. Washington Medina
Miembro Principal
del Tribunal


Ing. Fabricio Vélez
Miembro Principal
del Tribunal

DÉCLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este informe, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos de la E.S.P.O.L.)



Carlos L. Jurado von Buchwald

RESUMEN

Dentro de los procesos previos de diseño para cubrir una ciudad con servicio de televisión, está el de diseño y selección del sistema radiante o antena. En este trabajo se describen las razones que llevaron a ECUAVISA a adquirir un nuevo sistema radiante para su estación en el Cerro del Carmen, las pruebas que se hicieron a éste, las causas por la que se lo rechazó y finalmente el proceso de diseño y contratación a otro proveedor de un nuevo sistema. Simultáneamente se abordan aspectos técnicos de diseño de antenas así como conceptos generales de propagación.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA. | 13 |
| 2.1 Descripción del sistema instalado | 13 |
| 2.2 Problemas detectados | 14 |
| 2.3 Pruebas y mediciones | 15 |
| 2.4 Reporte y recomendaciones | 22 |
| 3. REDISEÑO DEL SISTEMA | 24 |
| 3.1 Especificaciones técnicas | 24 |
| 3.1.1 Patrón de radiación horizontal / vertical | 24 |
| 3.1.2 Potencia efectiva irradiada / ganancia de antena | 24 |
| 3.1.3 Inclinación electrónica / mecánica | 27 |
| 3.1.4 Compensación de nulos | 30 |
| 3.2 Selección de equipo | 30 |
| 3.3 Diseño de acoples mecánicos para la torre | 31 |
| 3.4 Presupuesto estimado | 31 |
| 3.5 Cronograma de trabajo | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 4. INSTALACIÓN | 32 |
| 4.1 Recepción e inventario de partes | 32 |
| 4.2 Ensamblaje | 33 |
| 4.3 Montaje | 33 |
| 5. PRUEBAS Y MEDICIONES | 36 |
| 5.1 Relación de Onda Estacionaria | 36 |
| 5.2 Ancho de Banda | 38 |
| 5.3 Respuesta de Frecuencia | 38 |
| 5.4 Intensidad de campo | 39 |
| 6. MANTENIMIENTO PERIÓDICO. | 42 |
| 6.1 Sistema radiante | 42 |
| 6.2 Línea de transmisión | 42 |
| 6.3 Balizaje | 43 |
| 6.4 Torre | 43 |
| 6.5 Sistema de tierra | 44 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 46 |

1. INTRODUCCIÓN

Casi desde sus inicios y hasta antes de 1990 Corporación Ecuatoriana de Televisión S.A. emitió su programación con un transmisor RCA de 10 KW R.M.S. y un sistema radiante casi omnidireccional, que beneficiaba la transmisión al sureste, es decir en dirección del centro de la Ciudad. Para 1988 se había detectado que, debido al enorme crecimiento de Guayaquil, en especial hacia el Noroeste, por lo que el sistema actual no era más el apropiado para servir a la creciente área urbana. Adicionalmente las señales de las estaciones competidoras aumentaban en potencia, creando una diferencia en las condiciones de recepción a nivel de usuario.

Con esto en mente, se decidió renovar todo el sistema de transmisión, para lo que se adquirió un transmisor modelo T-134 de 20Kw, del fabricante Itelco s.p.a, para que funcionara como principal, dejando el RCA como transmisor de "Backup"¹

Con el cambio de transmisor fue necesario reemplazar la antena ranurada fabricada por la Canadian GE para una potencia de entrada de 10KW R.M.S., debido a su incapacidad para manejar la potencia que entregaría el nuevo transmisor. Adicionalmente se buscó obtener un mejor patrón de irradiación y una ganancia más alta.

La antena GE está parcialmente cubierta hacia el Norte por el Cerro donde se erige la estatua del "Corazón de Jesús" sobre el Cerro del Carmen, por lo que se añadieron nuevas necesidades:

- a) Cambiar la posición de la torre.
- b) Incrementar su altura.
- c) Continuar transmitiendo mientras se llevaban a cabo los trabajos.
- d) Estar listos a plena potencia con ocasión del Mundial de Fútbol que empezaría en Junio de 1990.

Para conciliar todas las necesidades del proyecto y en función de la disponibilidad de espacio se decidió montar la torre sobre un edificio de siete metros de altura que serviría de bodega de repuestos y de cuarto de transmisión. Este último fue diseñado para albergar

¹ Backup: De respaldo; equipo utilizado en caso de que el principal deje de funcionar.

al transmisor principal Itelco, el transmisor "Stand-By" (de respaldo) RCA y en el futuro dar cabida al transmisor Itelco de Canal 22 UHF, a los enlaces fijos de microondas y equipo auxiliar de regulación de voltaje y supresión de transientes. El edificio serviría sobre todo de base y contrapeso para la estructura de hierro de 72m que se erigiría sobre él.

El trabajo de construcción del edificio y torre se encargó a la empresa INECA fabricante de la anterior torre.

La construcción de la torre avanzó sin mayores contratiempos dentro del cronograma establecido, salvo por un retraso de una semana debido a un mal ensamblaje del quinto segmento de la torre por el cual ésta tomaba una perceptible torsión con respecto a la base. Esto ocasionó que se tuviera que desensamblar hasta el cuarto segmento, cuando ya se habían erigido 7 de los 13 segmento que constituían la torre.

Mientras se construía la torre, se tomaban decisiones finales respecto a disposición final de los equipos dentro del cuarto de transmisión y de las obras civiles complementarias que facilitarían la instalación de los transmisores, los diplexores, conmutadores coaxiales, cargas fantasma, filtros de banda vestigial, al diseño de la acometida eléctrica, del sistema de tierra, de la regulación de voltaje, de la supresión de transientes y del sistema de acondicionamiento de aire.

El diseño y construcción del nuevo sistema radiante fue contratado a la compañía Ecuatronic S.A., quien propuso un arreglo que se aceptó en base a las características técnicas ofrecidas y que se citan a continuación de la Documentación Técnica de las "Ampliaciones Propuestas por ECUAVISA" que se presentó al Director Nacional (encargado) de Frecuencias, Ing. Mario Cuesta Bastidas, el 7 de Noviembre de 1989.

...

a) Ubicación:

En las instalaciones que tiene ECUAVISA en este lugar, con las siguientes coordenadas geográficas:

Longitud: 79° 52' 46"

Latitud: 02° 10' 36"

b) Altura:

Sobre el nivel del mar:

Terreno: 83m

Altura de la torre: 72m

c) Características básicas del equipo:

Se tendrá un transmisor marca Itelco, modelo T-134, de 20Kw de potencia, calibrado para operar en el canal 2 de la banda primera (VHF-L 54-60MHz). Este transmisor diplexa audio y video exteriormente, es decir tiene un amplificador de audio de 2Kw totalmente de estado sólido que excita a una cavidad con tubo RCA 9007² que tiene una ganancia de 14dB para obtener una potencia de salida de 20Kw.

El transmisor cumple con todas las normas exigidas por la FCC³ y sus características principales adjuntamos. Los diagramas se enviarán a la Dirección Nacional de Frecuencias, una vez que estén disponibles.

d) Antenas:

Se utilizará un arreglo omnidireccional de 12 antenas⁴ diédricas⁵, colocadas tres en cada cara de la torre cuadrada, la ganancia de cada antena es de 11dB⁶; la ganancia total del arreglo será de 14.5 dB, la impedancia de alimentación es de 50 Ω , las antenas se alimentarán mediante cuatro distribuidores de potencia;

² El tubo sugerido es un tubo SIEMENS que no se utilizó realmente. En su lugar se usa un TH-371 de Thomson.

³ FCC: Federal Communications Comité. Ente regulador de las comunicaciones en EE.UU.

⁴ En la instalación definitiva se utilizaron 16 dipolos, como se verá más adelante.

⁵ Diédrica, se refiere a un tipo de antena formada por un dipolo y un reflector compuesto de dos planos unidos por uno de sus lados y formando un ángulo entre ellos.

⁶ La ganancia indicada es teórica, no real. Nótese que no se especifica si es dBd o dBi.

tres de los cuales tienen una entrada y cuatro salidas y uno que tendrá una entrada y tres salidas simétricas de 50Ω ⁷. La relación de onda estacionaria será menor a 1,13.

Se tendrá una inclinación electrónica de 2 grados.⁸...

⁷ En el diseño definitivo se cambió el sistema de distribución.

⁸ La inclinación indicada no es la que se utilizó realmente.

2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.

2.1 Descripción del sistema instalado

El sistema de antenas que se instaló en la torre, estaba compuesto por 16 "Corner Reflector" elaborados de tubos de sección circular y cuadrada, de platinas y ángulos de aluminio anodizado. El dipolo en sí, del tipo "Folded Dipole", estaba hecho en cobre con conectores de alimentación de bronce y se utilizaba teflón como aislante.

Los divisores de potencia estaban contruídos en base a la propiedades de las lineas de transmisión, utilizando segmentos de lineas de transmisión de distintas impedancias para acoplarse con cada antena.

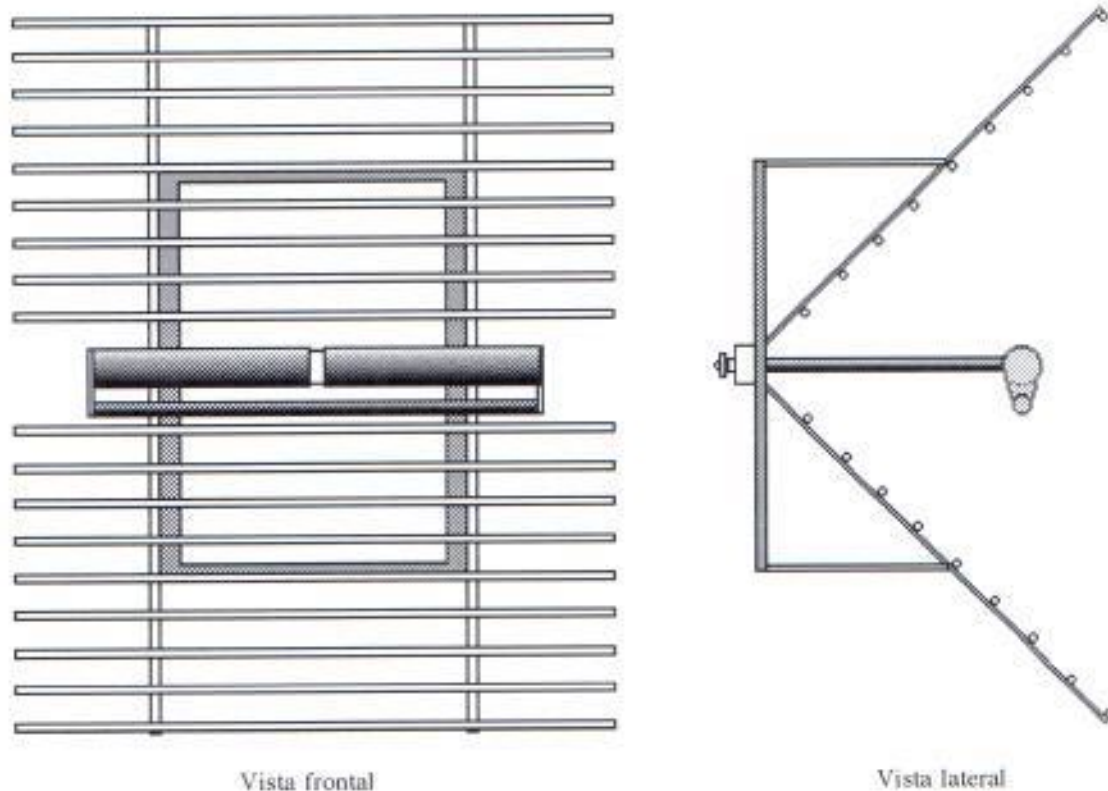


figura 1

El Corner Reflector es una antena consistente de un dipolo con una semi longitud de $\lambda/4$ ubicado a una distancia "s" del vértice de dos paneles reflectores cuadrados unidos por un

lado, formando un ángulo que puede variar de casi 0° a 180° , dependiendo de la ganancia que se desee obtener en función de la distancia del dipolo al reflector.

La figura N° 1 muestra las vistas frontales y laterales de un típico "Reflector de Esquina" de 90° similar a los utilizados en el sistema radiante de Corporación Ecuatoriana de Televisión S.A.

El Folded Dipole, es un dipolo en el que, el elemento radiante tiene otro parásito conectado en paralelo a sus extremos y que puede estar constituido por barra conductora separada unas fracciones de λ del elemento radiante.

Este corto circuito, que en realidad no es tal ya que en los extremos de un dipolo de $\lambda/2$ la corriente es cero, constituye otro dipolo "parásito" por lo que si los diámetros de ambos son iguales, sus impedancias características también lo serán, haciendo que las corrientes introducida e inducida sean iguales, duplicando el efecto eléctrico y cuadruplicando la potencia radiada.

2.2 Problemas detectados

Dentro de la oferta del transmisor Itelco, como es usual, se había pactado que la puesta en marcha del equipo la haría un Ingeniero enviado por la fábrica.

Para cuando el sistema estuvo montado y conectado al transmisor ya se encontraba en las instalaciones de Corporación Ecuatoriana de Televisión el Ing. Carlo Francescangeli, Ingeniero designado por Itelco SpA para llevar a cabo la verificación y puesta en marcha del transmisor.

Luego de revisar las conexiones y llevar a cabo un examen exhaustivo de la instalación. Concluida la revisión preliminar, inició el proceso de ajuste y verificación del transmisor, encontrándose casi de inmediato, que la potencia reflejada estaba por encima de lo aceptable. Se notificó de inmediato al fabricante y se le exigió solucionarlo.

Luego de varias discrepancias con el fabricante, éste aceptó que existía un problema y empesaron a buscar una solución, mientras tanto nosotros volvimos a transmitir con el antiguo sistema.

El problema consistía en hacerlo con el equipo que disponíamos; que constaba de vatímetros con sus pastillas de medición para varias frecuencias, un barredor "sweeper"⁹, un detector de envolvente, un medidor de intensidad de campo y osciloscopios.

Con respecto al primer punto, el acoplamiento de impedancias entre el transmisor y la antena, teníamos la certeza de que había problemas, debido a un marcado eco (borde), perceptible a simple vista en la imagen transmitida. La razón por la cual el medidor de potencia reflejada indicaba un bajo nivel podría ser debido a que en los transmisores Itelco el medidor de potencia opera sólo durante el pulso de intervalo vertical, pulso en el cual el video modulado tiene su máxima amplitud, permitiendo de esta manera medir la potencia pico del transmisor. Como consecuencia, la potencia que se mide corresponde tan sólo al rango de frecuencias alrededor de las que resulten de aplicar una transformada de Fourier al pulso de sincronismo horizontal. Realizar esta operación puede demostrar que las amplitudes principales de los factores de la sumatoria se obtienen alrededor de 15.750Hz.

En otras palabras, lo que nos estaría indicando el medidor correspondería a un muestreo del acoplamiento en baja frecuencia. ¿Pero qué pasaba entonces en el resto de la banda?

Utilizando el barredor en modo de CW (onda constante), generamos una señal de frecuencia discreta, la que insertamos al preamplificador del transmisor. A la salida del diplexor y en serie con la antena conectamos un segmento de línea Bird con dos acopladores direccionales, los que nos permitirían medir la potencia RMS incidente y reflejada.

⁹ Equipo que genera una onda sinusoidal de frecuencia variable dentro de rangos determinables y con amplitud constante, que permite en conjunto con un osciloscopio ver las variaciones de amplitud de la onda patrón a la salida del equipo en prueba, debidas a alineidades en sus características eléctricas y en función de la frecuencia.

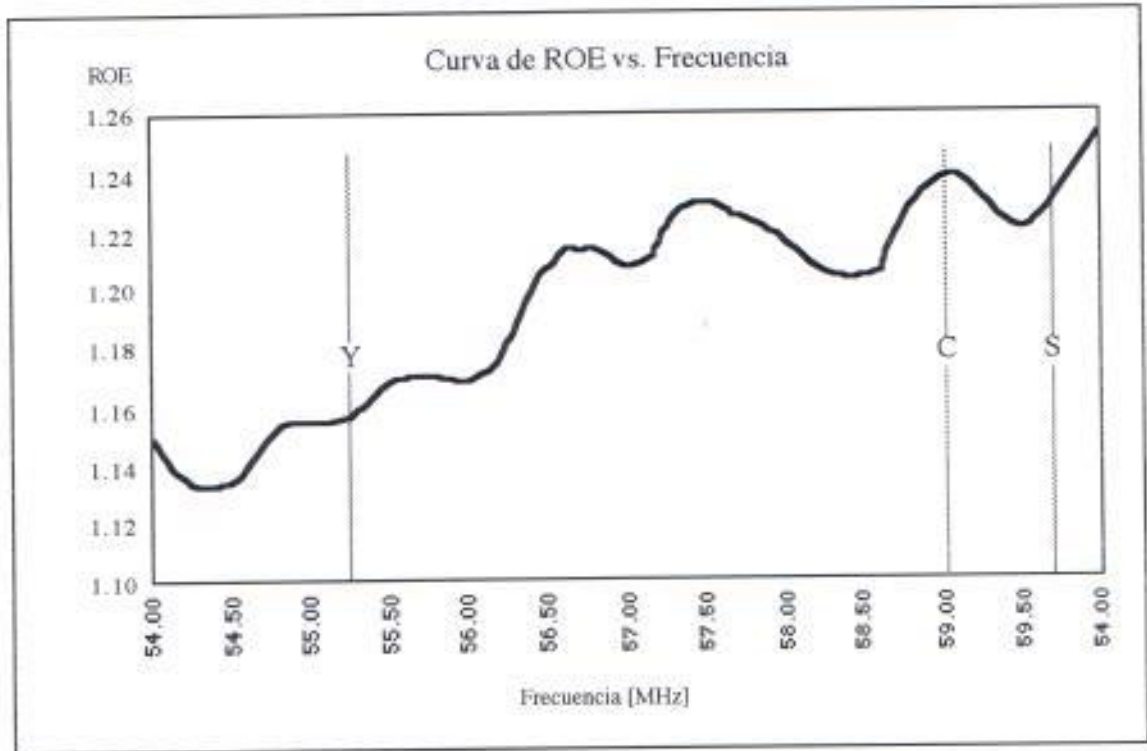


figura 2

La expresión para calcular la R.O.E.es:

ec. #1

$$ROE = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}$$

Donde:

P_i = Potencia incidente

P_r = Potencia reflejada

Variando gradual y discretamente la frecuencia a la que oscilaba el barredor, y tomando lecturas de las potencias transmitidas y reflejadas para cada valor de frecuencia se elaboró la tabla, cuyos valores graficados se muestran en la figura N° 2.

Lamentablemente, nuestras suposiciones respecto al estado real del sistema radiante se comprobaron; la curva obtenida mostraba valores discretos aceptables de adaptación en la parte baja de la banda, pero las fluctuaciones eran excesivas y a medida que la frecuencia se incrementaba la desadaptación era mayor. De aquí los defectos de la imagen.

Otra cosa que se intentó fue “*barrer*”¹⁰ la antena para determinar directamente su respuesta de frecuencia, pero el excesivo nivel de radio frecuencia existente en el Cerro del Carmen hacía que nuestras mediciones no sean confiables.

Si bien la primera prueba era suficientemente concluyente, se continuó con otras verificaciones de la señal, para lo que se utilizó un demodulador de marca Telemet®.

Si las mediciones que habíamos realizado eran correctas, la señal demodulada debería tener un pronunciado retardo de grupo y una mala respuesta de frecuencia.

Se aplicaron al transmisor varias señales de prueba diseñadas para medir factores específicos indicadores de calidad. Así pues para determinar el retardo de grupo se utilizó los pulsos T y multiburst para la respuesta de frecuencia. Lo que encontramos fue mucho peor de lo que esperábamos.

Las distorsiones de fase las augurábamos tan críticas o más que las de amplitud que verificamos, pero sin equipo apropiado tal como un analizador de redes, era poco lo que podíamos evidenciar.

La verificación de la ganancia de la antena y del patrón de radiación, requirió de más ingenio que técnica. El principio que se aplicó en esta verificación fue por demás sencillo y consistió en lo siguiente:

El antiguo transmisor era capaz de emitir una potencia máxima de 6Kw RMS y la ganancia de la antena Canadia GE así como su patrón de radiación eran conocidos. Asumiendo que las características electromecánicas de la antena ranurada GE no habían variado con los años y que a distancias de campo lejano (10λ) las diferencias de posición de las antenas eran despreciables; entonces era posible llevar la potencia del nuevo transmisor exactamente a 6Kw RMS y generar un campo eléctrico similar al generado por el transmisor antiguo. La diferencia que existiere en intensidad de campo entre uno y otro

¹⁰ Barrer: Traducción literal de “*to sweep*”. Es un proceso mediante el cual el DUT (Objeto bajo prueba) se lo alimenta con una señal sinusoidal de amplitud constante, pero de frecuencia variable con respecto al tiempo. Una pesca de RF con un detector de envolvente permiten ver las variaciones de amplitud debidas al DUT.

sistema, tendría que ser debido a las diferencias en las atenuaciones en las líneas de transmisión y a la ganancia de las antenas.

Utilizando este principio se escogieron tres puntos al azar dentro de Guayaquil más o menos separados 120° . Tal como se había planificado se hicieron dos mediciones por sitio, una con cada sistema radiante y con la misma potencia.

| Lugar | E1[mV/m] | E2[mV/m] | E1/E2 |
|-----------------------|----------|----------|------------|
| Lomas de Urdesa | 5.994 | 7.936 | 0.75529234 |
| El Oro y José Salcedo | 15.213 | 23.422 | 0.64951755 |
| La Puntilla | 49.098 | 59.000 | 0.83216949 |
| | | | |
| | Promedio | | 0.74565979 |

tabla 1

Considerando que el campo eléctrico inducido a una distancia y altura dadas, es proporcional a la potencia efectiva irradiada, entonces:

ec. #2

$$E \sim ERP$$

ec. #3

$$ERP \sim G_a * P_t$$

Sea E1 la intensidad de campo generada por el sistema conformado por la antena nueva y el transmisor Itelco y E2 el generado por el sistema conformado por la antena G.E. y el transmisor RCA.

ec. #4

$$\frac{E_1}{E_2} \sim \frac{ERP_1}{ERP_2} \sim \frac{P_1 * G_1}{P_2 * G_2}$$

ec. #5

$$\text{Si ... } P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} \sim \frac{G_1}{G_2} \Rightarrow G_1 \sim G_2 * \frac{E_1}{E_2}$$

Conociendo que la ganancia G2 de la antena ranurada GE es de 7.9 dB_a y que la relación entre E1 y E2 es aproximadamente 0.75; entonces se puede inferir que la ganancia del sistema radiante nuevo debe estar alrededor de 6 dB_a.

Considerando que la ganancia ofrecida por el fabricante era 11dB, es decir 8.85dB_e, era evidente que ya había un problema, pese aun a lo impreciso del método utilizado.

Descartando la evidencia, se decidió utilizar otro enfoque al problema de determinación de la ganancia del sistema radiante, que pudiera ser más concluyente que el anterior.

Los problemas con el método anterior eran principalmente tres:

- La relación entre las distancias entre las torres y la distancia a los puntos de medición no era del todo despreciable.
- No se estaba tomando en cuenta las diferencias de ganancia en función del azimuth del arreglo.
- No estábamos del todo seguros de estar satisfaciendo condiciones de campo lejano.

En virtud de lo anterior se escogió otro grupo de lugares de medición que cumplieran con dos requisitos:

- a) Debían tener línea de vista perfecta.
- b) Estar al menos a 5Km del Cerro del Carmen.

La fórmula para calcular la intensidad de campo indicada abajo es válida sólo para condiciones de propagación en espacio libre y no toma en cuenta los efectos de la difracción ni de la reflexión de las ondas, de ahí la importancia del requisito a). El requisito b) tenía por objeto minimizar el efecto de tener los puntos de radiación separados (~ 50m).

e.c. # 6

$$E[v/m] = \frac{\sqrt{30 \cdot g_t \cdot P_t}}{D}$$

Donde:

| | |
|---------------------|---|
| E[v/m]: | Intensidad de campo |
| g _t : | Ganancia de antena transmisora (veces respecto a una antena isotrópica) |
| P _t [w]: | Potencia transmitida |
| D[m]: | Distancia |

Otra relación práctica de ingeniería es:

ec. #7

$$E = 105 + P_t + G_t - 20\text{Log}(D)$$

Donde:

- $E[\text{dB}_{\mu\text{V/m}}]$: Intensidad de campo en dB respecto a $1\mu\text{V/m}$
 $G_t[\text{dB}_i]$: Ganancia de antena transmisora en dBi (respecto a una antena isotrópica)
 $P_t[\text{dB}_{\text{kw}}]$: Potencia transmitida en dB respecto a 1Kw
 $D[\text{Km}]$: Distancia

La idea era hacer mediciones de intensidad de campo y despejar de las ecuaciones 5 ó 6 el valor de la Ganancia del arreglo directamente.

En la tabla a continuación se detallan los lugares escogidos, los valores obtenidos y los calculados.

| Lugar | Dist. [Km] | Azmt. | E[mV/m] | E[dB _{μV/m}] | Pr[dB _u] | Pt[dB _u] | -G[dB _i] |
|-------------|------------|-------|---------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Babahoyo | 52.50 | 44° | 13.5 | 82.588 | -57.629 | 44.342 | 4.21 |
| Jujan | 48.00 | 49° | 13.5 | 82.577 | -57.641 | 43.552 | 3.42 |
| Yaguachi | 22.50 | 64° | 30.4 | 89.648 | -50.570 | 44.042 | 3.91 |
| Milagro | 32.50 | 78° | 21.4 | 86.624 | -53.594 | 44.212 | 4.08 |
| Durán | 4.25 | 66° | 164.7 | 104.334 | -35.884 | 44.252 | 4.12 |
| Peaje D-T | 7.00 | 100° | 102.2 | 100.190 | -40.028 | 44.442 | 4.31 |
| Biblos | 5.50 | 25° | 126.0 | 102.004 | -38.213 | 44.162 | 4.03 |
| Tarifa | 26.00 | 33° | 25.7 | 88.212 | -52.005 | 43.862 | 3.73 |
| Samborondón | 29.50 | 37° | 22.4 | 87.015 | -53.202 | 43.762 | 3.63 |
| Los Tintos | 33.75 | 3° | 21.0 | 86.446 | -53.771 | 44.362 | 4.23 |
| Urbina Jado | 39.25 | 12° | 17.9 | 85.045 | -55.173 | 44.272 | 4.14 |
| Dañle | 35.75 | 19° | 19.4 | 85.756 | -54.462 | 44.172 | 4.04 |
| Pascuales | 13.75 | 27° | 50.4 | 94.045 | -46.172 | 44.162 | 4.03 |
| T.C.A. | 5.00 | 66° | 140.0 | 102.922 | -37.295 | 44.252 | 4.12 |
| IESS | 6.00 | 15° | 113.6 | 101.108 | -39.109 | 44.022 | 3.89 |
| Pedro Carbo | 55.00 | 45° | 11.9 | 81.534 | -58.683 | 43.692 | 3.56 |

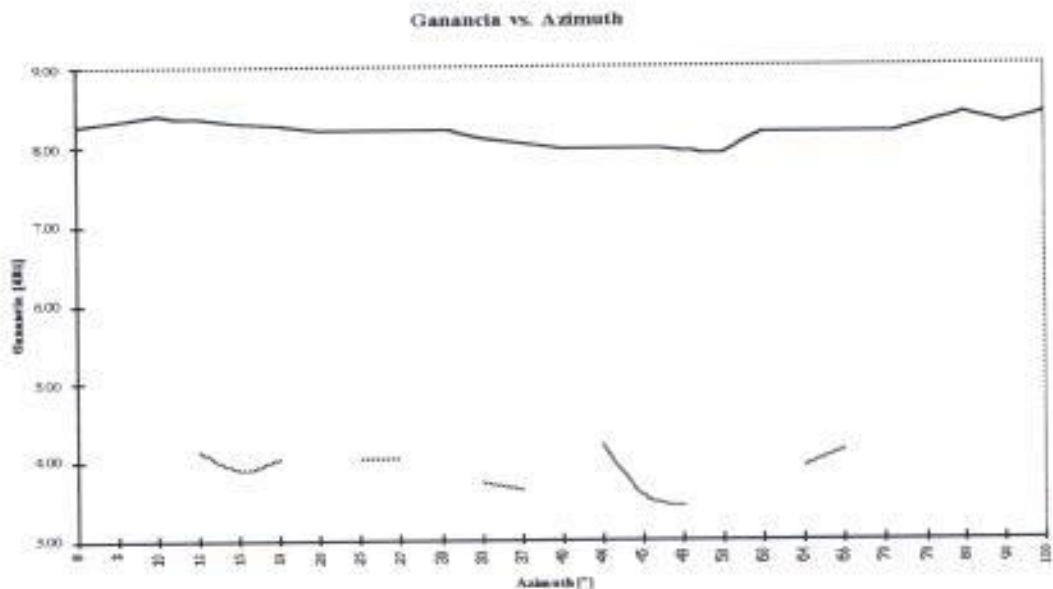
tabla # 2

Como se puede ver de la tabla 2 los valores obtenidos para la ganancia del nuevo sistema radiante tenía su mejor valor alrededor de 4 dBi, es decir 6.15 dBd. Valor que curiosamente concuerda con el estimado en el primer intento.

Graficando los valores de ganancia obtenidos vs. su azimuth se puede apreciar el patrón de radiación del sistema radiante. El cual debería ser omnidireccional y por lo tanto las ganancias iguales en cualquier dirección.

Para mejor visualización se graficó los valores obtenidos con los de la antena ranurada GE y el resultado puede verse en la Figura 2. En esta la curva superior corresponde a la antena GE y los segmentos inferiores a la antena nueva.

figura 3



2.4 Reporte y recomendaciones

Con la evidencia recogida respecto al incumplimiento de especificaciones del sistema contratado y en virtud de que los fabricantes no tenían los recursos para solucionar los problemas de éste, emití un informe a la Presidencia Ejecutiva informándola de la situación y recomendando que se devolviera al fabricante el sistema instalado y que se procediera a la compra e importación urgente de una antena con las características eléctricas y mecánicas que requeríamos a una empresa con experiencia y reconocimiento en la fabricación de este tipo de equipo.

La Presidencia acogió mi recomendación y se me autorizó la contratación de un nuevo sistema radiante.

3. REDISEÑO DEL SISTEMA.

3.1 Especificaciones técnicas

Una vez que se hubo tomado la decisión de comprar un sistema radiante a un fabricante reconocido, recayó sobre mí la responsabilidad de escoger las características técnicas del nuevo sistema radiante. En primera instancia me vi tentado a utilizar los mismo datos solicitados al fabricante anterior; sin embargo aproveché la oportunidad para reevaluar el diseño preliminar y definir por mi cuenta las características de la antena en base a la cobertura que se deseaba obtener.

3.1.1 Patrón de radiación horizontal / vertical

Una de las primeras decisiones que había que tomar en la selección de las características del nuevo sistema radiante tenía que ver con el patrón de radiación y con el tipo de antenas que se utilizaría. Considerando que la premisa era "llegar hasta donde se pueda" con los 20Kw de potencia disponibles, se escogió un patrón horizontal omnidireccional y se dió por sentado que las antenas debían ser reflectores de esquina como las instaladas originalmente. En las conclusiones analizaremos estas decisiones y encontraremos que no fueron las más acertadas y que fueron tomadas por inexperiencia y falta de conocimientos profundos.

Una vez escogido el patrón horizontal, el patrón vertical estaría definido por el número de Bays¹¹ y éste por la ganancia deseada.

3.1.2 Potencia efectiva irradiada / ganancia de antena

Basados en la premisa de "llegar hasta donde se pueda", fijamos nuestro umbral de servicio en el horizonte óptico.

Una fórmula práctica para determinar el radio horizonte es:

ec. # 8

$$D[\text{Km}] = 4.11 \sqrt{H[\text{m}]}$$

Donde: H es la altura en metros

D es la distancia al horizonte geométrico en kilómetros.


¹¹ Bays: Bahías, dícese del arreglo en un mismo nivel de un grupo de antenas.

De la ecuación 8 se desprende que el horizonte que se puede ver desde el eje de radiación de la torre ubicado aproximadamente a 160m sobre el terreno, es de 52Km.

Si somos ambiciosos y definimos que queremos tener una señal Grado A en el perímetro óptico, entonces de la tabla de intensidades de campo versus nivel de servicio de la FCC vemos que necesitaremos generar un campo eléctrico de $2.500\mu\text{V/m}$ o 68dBu.

tabla 3

Transmisión de Televisión
(Norma técnica FCC)

|  Grado de servicio | Canales 2-6 | | Canales 7-13 | | Canales 14-83 | |
|--|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| | $\mu\text{V/m}$ | dBu | $\mu\text{V/m}$ | dBu | $\mu\text{V/m}$ | dBu |
| Urbano | 5.000 | 74 | 7.000 | 77 | 10.000 | 80 |
| Grado A | 2.500 | 68 | 3.500 | 71 | 5.000 | 74 |
| Grado B | 225 | 47 | 650 | 56 | 1.600 | 64 |

La potencia entregada por un dipolo, inmerso en un campo $E(\text{v/m})$, a una carga acoplada es:

ec. #9

$$P_r = (0.0186E\lambda)^2$$

Donde:

$\lambda[\text{m}]$: Longitud de onda

Recordemos que la potencia recibida en un punto cualquiera expresada, en decibeles es:

ec. #10

$$P_r = P_t + G_t - L$$

Donde:

- $P_r[\text{dBw}]$: Potencia en el receptor
- $P_t[\text{dBw}]$: Potencia en el transmisor
- $G_t[\text{dBi}]$: Ganancia de la antena transmisora
- $L[\text{dB}]$: Pérdidas de espacio libre

Las pérdidas de espacio libre están dadas por la siguiente ecuación:

ec. # 11

$$L = 32.44 + 20\text{Log}F + 20\text{Log}D$$

Donde:

F[MHz]: Frecuencia de transmisión

D[Km]: Distancia al transmisor

Calculando la Potencia recibida con la ecuación 9 y las pérdidas por espacio libre de la ecuación 11, podremos encontrar el valor de la ganancia de antena transmisora en la ecuación 10.

$$\Rightarrow F = 57\text{MHz (frecuencia central de la banda de canal 2)}$$

$$D = 52\text{Km}$$

$$E = 2.500 \mu\text{V/m}$$

$$\Rightarrow \lambda[\text{m}] = 300/F[\text{MHz}] \quad \Rightarrow \quad \lambda = 5.26[\text{m}]$$

$$\Rightarrow P_r[\text{w}] = 0.0186 * 0.0025 * 5.26 \quad \Rightarrow P_r[\text{w}] = 245[\mu\text{w}] \quad \Rightarrow P_r = -36.12 [\text{dB}_w]$$

$$\Rightarrow L[\text{dB}] = 32.44 + 20\text{Log}(57) + 20\text{Log}(52) \quad \Rightarrow L = 101.88 [\text{dB}]$$

Despejando G_t de la ecuación 10:

$$G_t = L + P_t - P_r$$

Reemplazando los valores en 10

$$\Rightarrow P_t[\text{w}] = 20.000 [\text{w}] \quad \Rightarrow P_t = 43.01 [\text{dB}_w]$$

$$\Rightarrow G_t[\text{dB}_t] = 101.88 - 36.12 - 43.01 \quad \Rightarrow G_t = 22.75 [\text{dB}_t]$$

$$\Rightarrow \text{dB}_t = 2.15 + \text{dB}_d \quad \Rightarrow G_t = 20.60 [\text{dB}_d]$$

Para lograr esa ganancia en un arreglo omnidireccional de cuatro caras, se requeriría de 64 (sesenta y cuatro) bays con cuatro antenas por bay con una ganancia promedio de $10[\text{dB}_d]$ por antena.

Si consideramos un espaciamiento entre dipolos de 1λ y que un peso promedio por antena es de 700[Kg], se requeriría una torre con una sección recta de 355[m] y capaz de soportar una carga vertical de 162[Tm]. Más aún, si tomamos en cuenta que cada antena para esta banda cuesta alrededor de US\$ 5.000, entonces la inversión sólo en antenas sería de US\$ 1'280.000. No mencionaremos la altura que debe tener la torre para que las emisiones en su base estén dentro de los límites permitidos para radiaciones no ionizantes, ni costos de fletes, etc ... En conclusión; es impráctico tener una señal grado A en el horizonte. Por ésta vez nos conformaremos con tener grado A en el límite urbano de la ciudad de Guayaquil que dista 10 [Km] de nuestra torre de transmisión.

Haciendo todos los cálculos nuevamente para una distancia de 10[Km], encontramos que la ganancia de antena requerida es 8.43 [dBd].

Si hacemos un arreglo de cuatro caras con cuatro antenas por cara (es decir dieciséis antenas en total) la ganancia estimada del arreglo sería alrededor de 10[dBd].

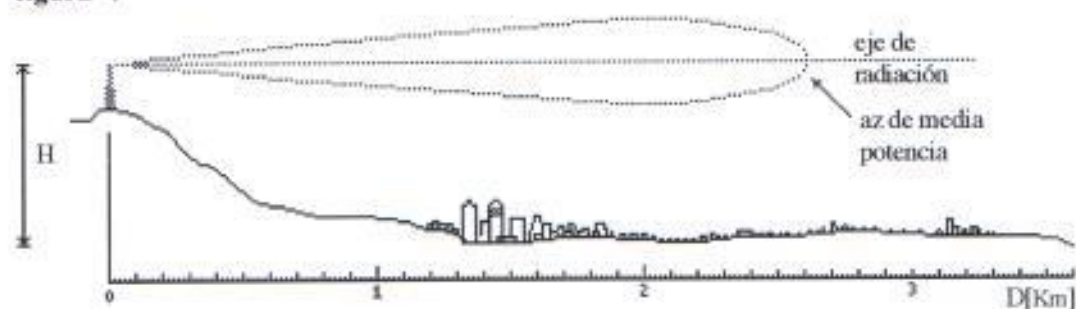
Esto es definitivamente un arreglo manejable, ya que su altura total será de 22[m] y su peso total no excederá las 12[Tm].

Por otro lado el az de media potencia generado por el agrupamiento de las antenas será de aproximadamente 15° .

3.1.3 Inclinación electrónica / mecánica

Cuando se ha definido el número de antenas que se utilizará en función de la ganancia deseada, se requiere hacer un análisis del área de cobertura en función de la intensidad de campo. La meta es obtener igual intensidad de campo en todos los puntos.

figura 4



La figura N° 4 muestra un diagrama típico del patrón de radiación vertical de una antena direccional. Éste muestra la magnitud del campo electromagnético a medida que el ángulo de depresión es variado. Como vemos sobre el eje de propagación se obtiene la máxima magnitud, mientras ésta decrece a medida que el ángulo aumenta su valor absoluto, hasta llegar a casi cero para ángulos mayores a $\pi/2$.

Con el propósito de lograr una intensidad de campo uniforme en función de la distancia es necesario modificar la dirección en la que el sistema radía. A este proceso se lo llama *Beam Tilt* o inclinación del az.

El Beam Tilt se puede lograr de dos maneras. La primera, inclinando mecánicamente la antena para variar la dirección en la que se transmite. A este procedimiento se lo conoce como Tilt Mecánico o Inclinación Mecánica. La otra forma de hacerlo es variando las fases de las ondas de radio frecuencia con las que los paneles que conforman la antena son alimentados. Dado que el patrón de radiación es la resultante de las sumas vectoriales de cada campo emitido por cada panel individualmente, variando la fase de dos o más de ellos se consigue alterar la forma del lóbulo.

Debe tomarse en cuenta que la inclinación eléctrica del eje de radiación, implicará una pérdida de ganancia del arreglo, debido a que algunas componentes se anularán en el proceso, disminuyendo la magnitud del campo resultante.

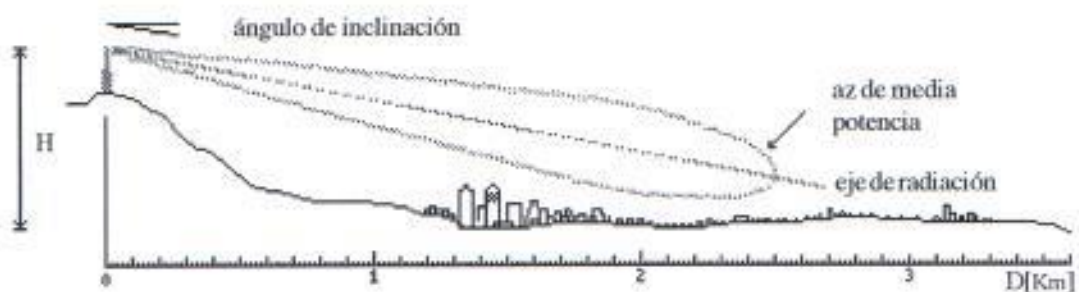


figura 5

En la figura 5 se ha escogido inclinar el lóbulo vertical para aumentar la intensidad de campo en la zona urbana. El cálculo de este ángulo obedece a un compromiso entre la intensidad de campo que queremos lograr en el centro de la ciudad y la intensidad de campo que queremos lograr en los suburbios. Recordemos que el objetivo es distribuir la

potencia sobre el área de cobertura de manera que la intensidad de campo sea constante en función de la distancia.

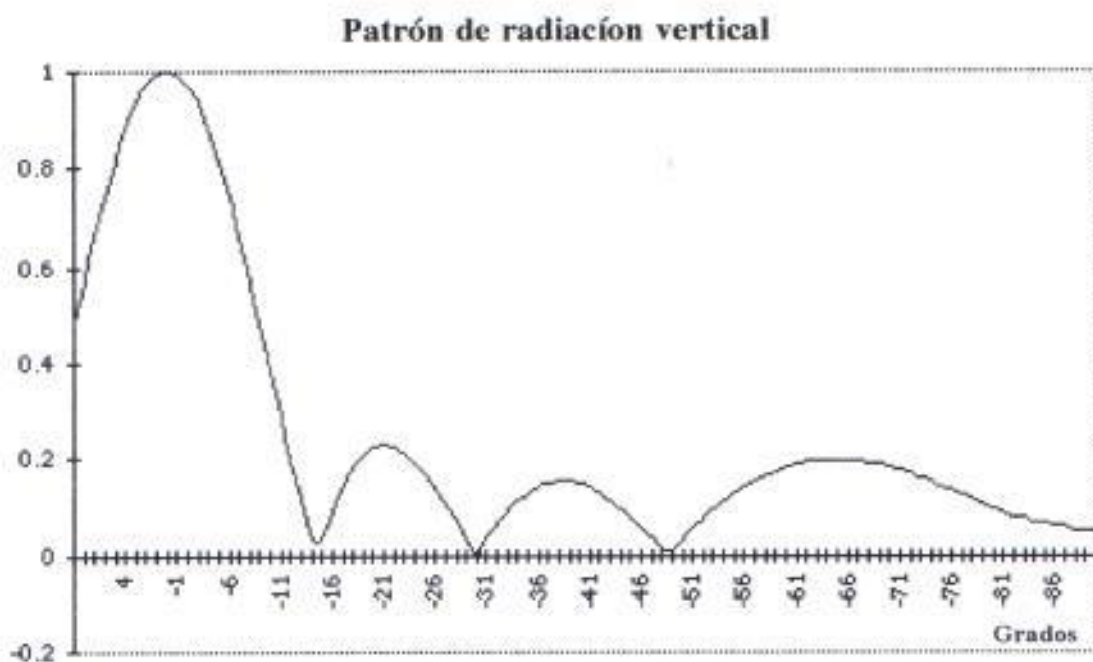


figura 6

La figura 6 muestra la gráfica la potencia relativa versus el ángulo de depresión con respecto al eje de radiación del patrón de radiación vertical de un sistema sin *Beam Tilt* y sin *Null Fill*¹².

Los 15 primeros grados contienen el lóbulo principal, esto es donde está contenida la mayor parte de la energía radiada. Los otros máximos son los lóbulos secundarios que ocurren a 22°, 39° y 66° bajo el eje de radiación. Nótese que existen ciertas direcciones en las que la potencia radiada es casi cero. A esto se lo llama *Null*.

En el caso particular de la antena de ECUAVISA se la escogió sin *Beam Tilt* debido a que se pretendía iluminar el horizonte. Como veremos en las conclusiones esto no fue una desición adecuada.

¹² Null Fill: Relleno de nulos, proceso mediante el cual se utiliza parte de la potencia radiada sobre el eje principal para lograr que la potencia en la dirección donde ocurre un Null, no sea cero.

3.1.4 Compensación de nulos

La compensación de nulos se lleva a cabo cuando uno de los nulos cae en una zona poblada o de interés. De no rellenarse los nulos, la recepción en estos puntos será marginal y en algunos casos nula.

El Null Fill, al igual que el Beam Tilt, se logra variando las fases y las amplitudes con las que son alimentadas las antenas para lograr que parte de la potencia se distribuya sobre la zona de interés. Al igual que en el caso del Beam Tilt eléctrico, variar las fases de alimentación conlleva una pérdida de la ganancia total del arreglo, por lo que el Null Fill es siempre un compromiso. En el caso de ECUAVISA el patrón de radiación vertical de la antena es el que se muestra en la figura 6. Como se puede ver de éste, el primer Null cae a -14° del eje de radiación. Tomando en cuenta que el sistema radiante no tiene Beam Tilt, podemos calcular la distancia de la torre en la cual ocurrirá el Null.

ec # 12

$$D_n = H / \sin(\alpha)$$

Donde:

| | |
|-----------------|---|
| D_n [m]: | Distancia al Null |
| H [m]: | Altura del eje de radiación sobre el promedio del terreno |
| α [rad]: | Angulo de Null |

En el caso de ECUAVISA el Null está a 690m. Lo que en su mayor parte cae dentro del Cementerio y del Hospital Luis Vernaza, por lo que no nos preocuparemos por ello.

3.2 Selección de equipo

Con una idea de lo que se requería se inició el contacto con varios fabricantes, entre ellos Katrein, CO-EL, SIRA, Bogner, Harris y Jampro.

La elección fue Jampro básicamente por precio y tiempo de entrega. La antena escogida sería diseñada y construída según nuestro diseño en Sacramento, California. Estaba compuesta de dieciseis reflectores de esquina y tres divisores de potencia..

Con la elección hecha se tuvo los primeros diagramas mecánicos de la antena y surgió el reto de adaptar 16[Tm] de acero galvanizado a la punta de nuestra torre.

3.3 Diseño de acoples mecánicos para la torre

Se entregó toda la información a INECA y en conjunto se diseñaron los arneses de sujeción.

Debido al "Offset" de las antenas y al tamaño de estas hubo que construir una estructura fuera de la torre hecha de tubos de acero galvanizado de 4". Sobre estos tubos irían montadas las antenas.

3.4 Presupuesto estimado

El costo del nuevo sistema radiante ascendió a US\$120.000 incluidos los arneses de la torre, los gastos de traslado y desaduanización. Es decir un 1000% del costo del arreglo anterior.

3.5 Cronograma de trabajo

Con el propósito de ganar el mayor tiempo posible, se prefabricó todos los arneses de tal manera de instalarlos tan pronto llegaran las antenas. Pero antes de eso había que hechar a abajo el sistema radiante anterior. Se cordinó con Ecuatronix para que lleven este trabajo a cabo. Mientras tanto estuvios al aire con el sistema radiante Canadian GE.

El cronograma "macro" de los trabajos quedo como se describe a continuación:

| | | |
|-----|---|----|
| 1) | Antena en el Cerro del Carmen | 0 |
| 2) | Desmotaje de sistema nacional. | -2 |
| 3) | Inicio del ensamblaje de las antenas. | 0 |
| 4) | Inicio del montaje de los arneses. | -1 |
| 5) | Terminación del ensamblaje de las antenas. | +3 |
| 6) | Inicio de montaje en la torre de las antenas. | +2 |
| 7) | Instalación del Divisor de Potencia y líneas de distribución. | +3 |
| 8) | Instalación de línea coaxial flexible. | +4 |
| 9) | Presurización y pruebas. | +4 |
| 10) | Prueba de fábrica. | +5 |

Los números a la derecha de las actividades indican la semana, contada a partir de la llegada de las antenas, en la que se llevarían a cabo.

4 INSTALACIÓN

4.1 Recepción e inventario de partes.

Las antenas llegaron el día que estaba previsto, pero desaduanizarlas llevó dos días más de lo previsto. Las antenas venían en un contenedor de 40 pies cúbicos. Un camión capaz de cargar con tal volumen no podía ser llevado hasta la cima del Cerro de Carmen debido a lo pronunciado de las curvas del camino. Por esta razón se decidió hacer un trasbordo a varios camiones más pequeños.

El punto que se escogió para llevar a cabo el trasbordo fue las instalaciones del Complejo Deportivo de Senefelder, otra de las empresas del Grupo ALCOR. Adicionalmente se solicitó a Senefelder el préstamo de un montacargas.

Se esperaba la carga en el complejo para las 10H00, sin embargo el camión no apareció sino hasta las 16H50, hora para la cual el operador del montacarga nos había abandonado llevándose el equipo con él.

Luego de varias llamadas infructuosas decidimos contratar estibadores y bajar la carga a pulso. Uno de los camioneros contratados apareció al poco rato con 13 estibadores que sumados al Ing. Cobos, al Tec. Luis Abad y Yo formamos la fuerza que permitió pasar 16 [Tm] de acero galvanizado del contenedor a los vehículos pequeños.

Llegamos al canal a las 22H30 con la carga completa y a salvo. La falta del montacargas nos significó s/.250.000, tres jabas de colas, varias magulladuras y una extenuación no presupuestadas. Cada vez que pienzo lo que hicimos para mover cajas, algunas de las cuales tenía dos metros de alto y pesaban sobre las 5 [Tm], reflexiono en lo que el ingenio, la tenacidad y la fuerza bruta bien usadas, son capaces hacer.

Al día siguiente, el Sábado, revisamos con el Ing. Cobos, los 16 marcos de acero galvanizado, los 16 dipolos, los 64 soportes de fibra de vidrio para los dipolos, los 128 ángulos galvanizados preformados, los 128 acoples de sujeción, los 352 tubos galvanizados, los 1088 pernos inoxidables de varias medidas con sus respectivas arandelas, anillos de presión y tuercas y demás piezas como latillas de acero inoxidable, pernos "U" de varas medidas, etc ...

4.2 Ensamblaje

Todo este rompecabeza llegó con un “*paking list*”¹³ y un instructivo de unas pocas páginas que indicaba de manera muy a lo “hágalo usted mismo” como ensamblar esta mole.

Mientras nosotros descifrábamos para qué servía cada pieza y donde encajaba dentro de la estructura, INECA estaba dando los últimos toques a la estructura que soportaría al Sistema Radiante.

Decidimos armar una de las dieciseis antenas que componían el arreglo, para ver como se veía y de esta manera decidir la mejor manera de llevarlas 72[m] hacia arriba a su posición final.

Empezamos con lo fácil, que era armar el reflector de esquina, pero no fue hasta que estuvo totalmente ensamblado que nos dimos cuenta de las reales dimensiones de cada antena. Esta gigantesca pantalla tenía 3.5[m] de ancho y colocada sobre el piso viendo hacia arriba se alzaba poco más de 2.5[m]. Su longitud total era de 5.5[m].

4.3 Montaje

Se decidió que las subiríamos por caras, alternando las caras para que el peso total sobre la torre se fuera balanceando. Adicionalmente decidimos subirlas completamente armadas, ya que no era práctico, ni seguro, ensamblarlas arriba. Se diseñó un procedimiento de armado sujeción, izado y colocación bastante eficiente que nos permitió tener la antena instalada en una semana y media. Hubiéramos podido avanzar más rápido, pero las dimensiones del patio del Canal no permitían tener más de tres antenas armadas a la vez.

Durante la etapa de instalación se declaró zona de alto peligro todo el patio del Canal y se construyeron pasajes especiales para las personas que necesariamente tenían que circular por ahí. Todos los que trabajamos en la construcción de las antenas usábamos cascos de alto impacto ya cada perno caído desde 72[m] de altura era una arma mortal. Un día sin embargo nos dimos cuenta de lo inútil de usar los cascos cuando una tuerca de 1”¹⁴, de uno de los arneses de sujeción, resbaló de la mano de uno de los torreros, cayendo sobre techo de la carpintería, abriendo un hueco de 1” en la plancha de fibrocemento, torciendo una varilla de la estructura de metal que sostenía la cubierta, abriendo otro hoyo

¹³ Paking list: Lista de embarque. Inventario completo de las piezas y/o partes enviadas.

de 3" en la plancha del tumbado falso Armstrong® y golpeando y despostillando el concreto pulido del piso. Viendo eso uno se pregunta que haría una llave francesa de 12".

Para subir las antenas, las izábamos utilizando una "pateca"¹⁴ y varios cabos a manera de "vientos"¹⁵ para evitar que la antena golpeará contra la torre. No fue una tarea sencilla, pero como mencioné anteriormente, a medida que avanzábamos depuramos el sistema hasta hacerlo bastante eficiente.

Luego de ubicar cada una de las dieciséis antenas en posición, subimos el divisor de potencia y lo colocamos en su sitio. Durante el proceso de interconexión encontramos una incongruencia en las marcas de identificación de varias líneas coaxiales. Como el sistema radiante tenía "offset", cada cara del sistema radiante estaba alimentada con un desfase de $\lambda/4$ y por lo tanto las longitudes de las líneas coaxiales variaban en esta medida unas de otras. Sin embargo sin el sentido lógico era caras 1, 2, 3 y 4 para el incremento de longitud en las líneas, estas habían venido rotuladas 1,3,2 y 4 lo que desbalancearía el sistema con respecto al offset mecánico y crearía un patrón de radiación muy distinto del deseado además de no cumplir con su propósito de proveer un alto aislamiento a reflexiones del sistema radiante hacia el transmisor.

Hicimos conocer nuestra preocupación a la fábrica pero conectamos el sistema según nuestra lógica. La fábrica nos informó que el Ingeniero de Campo que haría la verificación en sitio de la antena estaba por llegar. Al día siguiente llegó a Guayaquil el Ing. Jared Seese, con quien pasaría los siguientes cuatro días subiendo y bajando de la torre.

En relación a los cables, revisó las conexiones y nos concedió la razón, había habido un error de rotulación en fábrica. Sin embargo durante las pruebas, algo no marchaba bien había un excesivo ROE en una de las salidas del divisor de potencia.

Lo primero que se nos ocurrió fue que el divisor de potencia estaba defectuoso, lo segundo la línea coaxial y lo tercero fue que talvés habíamos olvidado poner el conector central interno (pincho) en algún conector.

¹⁴ Pateca: Polea montada en la punta de una estructura a manera de pluma, que puede ser utilizada en conjunto con otras poleas a manera de polipasto.

¹⁵ Vientos: Dícese de cuerdas o cables utilizadas para infligir una tracción lateral en una carga o estructura con la intención de dirigirla o balancearla.

Subimos a la torre a verificar y desconectamos la línea de transmisión principal en busca del *inner connector*, pero sí estaba allí. Desconcertados por no poder explicar el excesivo ROE, empezamos a buscar causas menos obvias. Fue entonces que Jared encontró residuos de pegamento de silicón, que bien intencionadamente, habíamos puesto para lograr una perfecta presurización.

Lo que pasamos por alto fue el ahínco de los torreros¹⁶ quienes tomaron en serio su tarea de sellar los conectores al punto de aislar las superficies de bronce de los conectores con silicón. En resumidas cuentas, casi ningún conector estaba haciendo tierra. No nos quedo más que desconectar y limpiar cada uno de los 35 acoples (cada acople tiene cuatro pernos).

Una vez hecho esto la antena nos sonrió y nos dió un valor de R.O.E. de 1.05 con una variación inferior 0.1dB en toda la banda.

Se hicieron gráficas de la curva de acoplamiento, del ancho de banda, del R.O.E. con y sin línea de transmisión, de la respuesta de la amplitud vs. la frecuencia y la respuesta de la fase vs. la frecuencia.

Lo siguiente fue ver su comportamiento con potencia para lo que se conectó la antena nuevamente al transmisor y se le dió potencia a éste de manera gradual, hasta llegar a los 15Kw p.s.¹⁷

¹⁶ torero: operarios con especialidad en trabajos metal mecánicos a altura; del tipo que se requieren al ensamblar una torre metálica.

¹⁷ p.s.: Potencia medida en los picos del sincronismo horizontal del video. Máximo nivel de amplitud de la onda modulada.

5 Pruebas y mediciones

Una vez que se determinó que la antena estaba respondiendo como se esperaba, pasamos a la fase de pruebas. En este capítulo se describirá de la manera más fiel posible la forma en que éstas mediciones fueron hechas y el equipo que se utilizó.

5.1 Relación de Onda Estacionaria

La relación de onda estacionaria define cuán efectivo es el acoplamiento de impedancias entre dos sistemas que transfieren la potencia de uno hacia el otro. La expresión más conocida para calcularla es la siguiente:

ec.#13

$$ROE = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}$$

Donde:

P_i : Potencia incidente.

P_r : Potencia reflejada.

La potencia incidente es aquella que suministra a la carga o sistema receptor, mientras que la potencia reflejada o reversa es aquella que no siendo absorbida por el sistema receptor, es devuelta hacia la fuente de origen.

La relación de onda estacionaria, es entonces una medida de la eficacia de un sistema para transferir su energía a otro; que se dará cuando las impedancias de salida de transmisor y de entrada del receptor sean idénticas. Cuando esto ocurre se dice que los sistemas están sintonizados.

En el caso de la antena de ECUAVISA, el sistema radiante y el transmisor están diseñados para trabajar con una impedancia de 50Ω , en la que idealmente no debe haber ninguna componente reactiva.

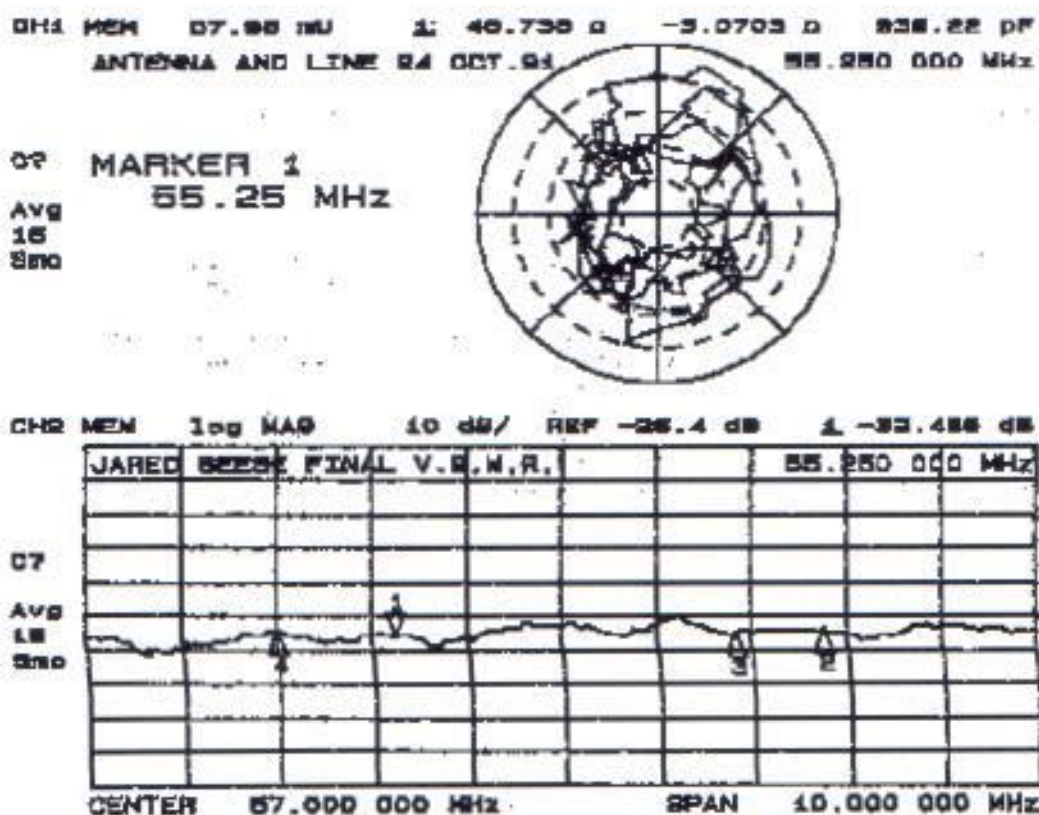
Para verificar eso se pudo medir las potencias incedente y reflejada y aplicar la fórmula indicada arriba, pero el Ing. Seese trajo consigo un Analizador Vectorial de Redes en el

que la impedancia del sistema se grafica directamente de manera polar en función de la frecuencia sobre una gráfica de Smith¹.

El instrumento mostraba el gráfico ampliado del centro de la carta de Smith y las variaciones de la impedancia compleja en función de la frecuencia e indicaba directamente el valor del VSWR.

En una carta de Smith, una resistencia se verá graficada como un punto sobre el eje horizontal de la gráfica; de aparecer componentes reactivas en ella estas desplazaría el punto por encima o por debajo de este eje dependiendo de si se trata de una reactancia capacitiva o inductiva.

En la siguiente figura se muestra una reproducción del gráfico original impreso por Jared Seese del comportamiento del sistema radiante con la línea de transmisión.



¹ Carta de Smith: Representación gráfica del vector resultante de la relación entre voltaje y corriente en un sistema.

5.2 Ancho de Banda

Tener un bajo ROE es importante, pero debe entenderse que la descrita, corresponde al peor caso dentro de la banda de operación. En el caso de transmisión de televisión, el espectro eléctrico utilizado tiene un ancho de banda de 6MHz por canal y es importante verificar que las condiciones de adaptación entre el transmisor y la antena se mantengan más o menos constantes dentro de todo este espectro. Variaciones grandes en el acoplamiento redundan en grandes deficiencias en la respuesta de frecuencia y por ende en un excesivo retardo de grupo, parámetros de los que hablaremos más adelante.

En la gráfica anterior se muestra el comportamiento del sistema de manera escalar y polar. El escalar graficado en la parte inferior es una representación de BODE del sistema.

5.3 Respuesta de Frecuencia

El comportamiento de un parámetro de un sistema en función de la frecuencia, se conoce como respuesta de frecuencia. En un sistema compuesto por un transmisor y una antena, uno de los aspectos más importantes es determinar como varía la señal suministrada por el transmisor en función de la frecuencia y frente a la carga o antena.

Siendo la señal transmitida un vector, son importantes sus respuestas de frecuencia tanto de amplitud como de fase. Con ellos se puede determinar la magnitud de las distorsiones causadas por las etapas de amplificación.

Las variaciones de amplitud dentro del ancho de banda causan una distorsión de la señal de video en la que los niveles de luminancia y saturación de color se verán afectados. A esto se conoce como error de Ganancia Diferencial.

Las variaciones de fase dentro del ancho de banda causa una distorsión de la señal de video en la que el HUE o tinte se verá afectado reproduciendo colores falsos. A esto se conoce como error de Fase Diferencial.

Cuando las respuestas en fase y amplitud no son planas se producen otras distorsiones derivadas de éstas. Talvés la más notoria en teledifusión, sea el Retardo de Grupo en la que la luminancia está retazada o adelantada con respecto a la crominancia, provocando una imagen en la que los niveles de luz tienen el color fuera de registro.

En el transmisor de Canal 2 GYE, se verificaron todos los parámetros antes y después de las mediciones para garantizar fidelidad en la transmisión. Para ello se utilizaron procedimientos rutinarios basados en señales de prueba e instrumental de demodulación y comprobación de video.

5.4 Intensidad de campo

Luego de haber superado con éxito las pruebas que miden las características eléctricas de la antena, quedaba por demostrar si el sistema radiaba como se había planificado. Para poder determinar esto, se procedió a llevar a cabo mediciones de intensidad de campo, con lo cual se mide el campo eléctrico generado por la antena utilizando un dipolo calibrado un BALUN² ponderado y un medidor demodulador.

Las mediciones de intensidad de campo tienen dos objetivos principales:

- Determinar la ganancia del arreglo
- Determinar el patrón de radiación.

El procedimiento utilizado consistió en definir varios puntos en la ciudad de Guayaquil y otros en la periferia rural donde existieran poblaciones importantes.

De los puntos escogidos se dividieron en sub grupos de ubicaciones. Dependiendo de la finalidad de la medición, estas pueden categorizarse como:

- Mediciones para definir posicionamiento competitivo.
- Mediciones para definir patrón de radiación y ganancia.

Los primeros, pueden ser puntos escogidos al azar, buscados más bien por la concentración de población o por estratos sociales y su objetivo es el de hacer un estudio comparativo del nivel de servicio frente a la competencia.

Los segundos fueron escogidos con criterios más técnicos y deben cumplir con los ciertos requisitos mínimos que se listan a continuación.

² BALUN: Del inglés BALanced - UNbalanced. Elemento diseñado para Balancear un sistema desbalanceado.

- Deben estar en la región de campo lejano.
- Deben tener perfecta línea de vista con el sistema radiante.
- Deben tener una ubicación geográfica bien definida, verificable en sitio y de fácil acceso.

Como campo lejano se define a la región en la que el campo eléctrico radiado por la antena está libre de la influencia de sus componentes individuales y por ellos presenta una distribución uniforme. Esta zona está comprendida entre 10λ (longitudes de onda) y el horizonte radioeléctrico. Para el caso de ECUAVISA radiando en Canal 2 (54-60Mhz) desde 162m de altura, esta zona estaría definido por el área entre dos círculos concéntricos cuyos radios serían 53m y 52Km medidos desde la torre.

Tener línea de vista implica que entre la antena receptora y la antena transmisor no existe ningún obstáculo al menos para el 60% del Elipsoide de Fresnel. Donde el radio del elipsoide de Fresnel es función de la frecuencia y de la distancia según la siguiente fórmula:

ec. #14

$$H_0 = 2280 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * (d_1 + d_2)}}$$

Los puntos escogidos deben ser fácilmente accesibles, a fin de que se pueda regresar una y otra vez para hacer nuevas mediciones y compararlas con las anteriores. Esto permitirá a través de mediciones periódicas establecer variaciones en la ganancia y/o patrón de radiación debido a estrés mecánico de la antena o fatiga de sus componentes.

Una vez definidos el propósito y ubicación de cada punto, se lleva a cabo la inspección, registrando en cada punto su nombre o direcciones, la distancia a la torre y las lecturas de intensidad de campo en las frecuencias de las subportadoras de video y audio; tanto para la señal propia como para las de la competencia.

Con suficiente mediciones isodistantes, se puede determinar la forma del patrón de radiación.

De no ser posibles mediciones isodistantes una normalización puede efectuarse para determinar la magnitud de los vectores en cada dirección de propagación.

De cada punto se puede determinar de manera aproximada la ganancia del arreglo en esa dirección, obteniéndose una referencia de la ganancia general del arreglo.

6 Mantenimiento periódico.

La cadena de transmisión, como se conoce a los equipos que permiten radiar el vídeo hasta los televisores, está compuesta por varios sistemas y equipos que por su naturaleza requieren de mantenimiento y/o revisiones periódicas. Este capítulo quiere hacer un breve recuento de las partes que constituyen la cadena de transmisión y cuales son aquellas susceptibles de deterioro y que deben ser controladas para garantizar un funcionamiento óptimo, por el mayor tiempo posible.

6.1 Sistema radiante

El sistema radiante como tal, requiere poco o ningún mantenimiento si su instalación se hizo apropiadamente. Por lo general están fabricados de materiales resistentes a la corrosión y poco o nada debe hacerse en este sentido.

Los principales daños a esperarse provendrán de efectos sobre la estructura causados por el viento, aves o trato inapropiado. Efectos de corrosión en conectores y válvulas de presurización aunque menos comunes, pueden también ocurrir en la vida útil de un sistema radiante, que para fines prácticos se define en 20 años; no necesariamente por la fatiga o destrucción del material que la constituye, sino debido a que para entonces se espera que el área a cubrir haya variado tanto que se requerirá de un nuevo patrón de radiación.

6.2 Línea de transmisión

Con seguridad lo que más atención requiere del sistema radiante es la línea de transmisión y en ella el sistema de presurización. Éste está conformado por un compresor deshidratador, válvulas y el juego de empaques. El presurizador como todo motor eléctrico requiere de eventuales cambios de rodamientos los que debido a su robusta construcción son muy poco frecuentes. No así el gel de silicio que retiene la humedad del aire comprimido dentro de la guía del conductor coaxial, que requiere una inspección periódica y eventualmente reemplazo y desecación.

Los conductores coaxiales se presurizan para impedir que humedad entre a estos, previniendo así que debido a las altas tensiones existentes entre el conductor central y el blindaje, se produzca un arco eléctrico.

Una operación prolongada sin presurización adecuada puede en ciertos casos destruir internamente la línea de transmisión, aun sin provocar un arco, la humedad retenida dentro de ésta, corroe la superficie del conductor central sobre la que fluye la mayor parte de la corriente debido al efecto piel.

Corrosión en el conductor central causará seguramente variación en los parámetros distribuidos de la línea de transmisión y con ello el cambio de la impedancia y el aumento de la relación de onda estacionaria.

6.3 Balizaje

El balizaje si bien no afecta directamente el funcionamiento del sistema radiante es un dispositivo de seguridad importante. La responsabilidad civil implícita en dejar un torre sin señalización apropiada es seguramente el mejor incentivo para asegurar su operación.

Por lo general el mantenimiento del sistema de balizaje se reduce a reemplazar los focos de alta duración tan pronto se queman, con eventuales verificaciones de la fotocelda y dependiendo de la complejidad del sistema, su circuitería interna.

Un punto importante sobre el balizaje es su conexión eléctrica. Con frecuencia cables expuestos en la torre pueden causar arcos y eventualmente cortocircuitos, que ponen en peligro al personal técnico.

Las acometidas a balisajes deben instalarse siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante en tubería metálica debidamente puesta a tierra. Todos los empalmes se harán en cajas perfectamente herméticas especiales para tal propósito.

6.4 Torre

La torre como estructura metálica expuesta a tensiones y corrosión debe ser inspeccionada al menos cada dos años por un profesional experto y calificado. Partiendo del hecho que su diseño debe considerar un buen margen de carga, una revisión de los pernos y de las juntas soldadas debe hacerse cada cinco años o inmediatamente después de un sismo.

Una renovación anual de la capa de pintura es aconsejable. Hoy en día sin embargo existen pinturas epóxicas de alta resistencia que pueden hacer innecesario pintar la torre tan seguido.

Un análisis de costo contra beneficio es importante en el momento de determinar la pintura que se utilizará.

6.5 Sistema de tierra

En un sistema radiante, el sistema de tierra cumple un doble propósito. El primero es el de constituir un plano de referencia para la propagación electromagnética de la señal transmitida. El segundo es el de constituir un camino de baja impedancia para descargas atmosféricas.

El sistema de tierra diseñado dependerá del tipo de terreno, pero en general su mantenimiento se reduce a mantener su impedancia lo más baja posible.

En tierras de nodos con varillas de cobre, se debe revisar periódicamente el contacto entre ésta y el cable de mallado. Es común que la corrosión reduzca el contacto y deteriore la conexión a tierra.

Es muy recomendable que todas las conexiones de la malla de tierra se efectúen con soldadura de plata; si bien este procedimiento elevará el costo de instalación, garantizará un excelente contacto y reduce notablemente las revisiones y los cambios periódicos de elementos.

En tierras con nodos de barras de dispersión química, la revisión y reemplazo de sus catalíticos debe ser una tarea rutinaria y constante. Si bien son una excelente solución para terrenos de baja conductividad, a más de ser costosos, requieren de mucho mantenimiento, por lo que su uso debe justificarse plenamente en el análisis.

7 Conclusiones y recomendaciones

La moraleja atrás de toda la descripción del proceso de diseño contratación erección y puesta en marcha del nuevo sistema radiante de ECUA VISA, puede sintetizarse en que, la observancia de los detalles garantizan buena parte del éxito de un proyecto y que sin duda la información adecuada es la mejor herramienta de cualquier Ingeniero.

La experiencia ganada en base a los errores cometidos han sido la más significativa contribución que la ejecución de éste proyecto dejó en mi formación profesional.

Tratar de hacer las cosas bien desde el principio ha sido la mejor política. Gracias a ella he sabido llevar adelante y con éxito muchos otros proyectos, que a lo largo de mis casi diez años de trabajo con ECUA VISA, también han contribuido a especializarme.

Del proyecto de renovación del sistema de ECUA VISA hay dos graves errores que rescatar:

I

El costo total del sistema radiante se pudo haber reducido acudiendo a otros fabricantes tanto o más reputados que Jampro, como son CO-EL, Thomcast, SIRA, RYMSA, Kathrein, etc ...

Mi desconocimiento del mercado en la época en la que se contrató la antena, hacen muy probable que se haya gestionado una compra poco efectiva desde el punto costo / beneficio. Hoy sinembargo mi relación con los fabricantes y mi conocimiento de las líneas de cada uno, me han permitido gestionar otras inversiones similares con ahorros considerables para la empresa y con resultados técnicos muy satisfactorios.

II

El patrón de radiación que se contrató no es el mejor para la situación de la ciudad de Guayaquil. La falta de adecuados elementos de análisis, la falta de información y mi falta de conocimientos profundos en la materia me llevaron a pedir un arreglo de antenas sin inclinación y sin relleno de nulos. Cosa que no ha resultado crítica debido a las condiciones de frecuencia y potencia de transmisión, pero que debieron haber sido

tomadas en cuenta a fin de optimizar la distribución de radiación sobre la ciudad y sus zonas aledañas.

Debido a la variación en la distribución de la ciudad en los últimos siete años he diseñado un nuevo patrón de radiación para la ciudad de Guayaquil utilizando las mismas antenas y reemplazando sólo las líneas coaxiales de distribución. Con esto se optimizarán la señal, el patrón de radiación los nivel de campo eléctrico y el área de cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

- NAB, Engineering Handbook Seventh Edition , Howard T. Head - Joseph W. Stielper "The Measurements of FM and TV Field Strengths (54 MHz - 806 MHz)", Capítulo 2.7
- NAB, Engineering Handbook Seventh Edition , Tomas J. Vaughan "Antennas For Television Broadcast", Capítulo 2.6
- NAB, Engineering Handbook Seventh Edition John Design, Erection and Maintenance of Antenna Structures", Capítulo 2.1
- SAMS, Edward C. Jordan, Reference Data for Engineers: Radio, Electronics, Computer and Communications Seventh Edition, Douglass D. Crombie, "Electromagnetic- Wave Propagation", Capítulo 33
- SAMS, Edward C. Jordan, Reference Data for Engineers: Radio, Electronics, Computer and Communications Seventh Edition, Robert Hansen, "Antennas"
- SAMS, Edward C. Jordan, Reference Data for Engineers: Radio, Electronics, Computer and Communications Seventh Edition, Tatsuo Itoh, "Transmission Lines"
- McGraw Hill, Andrew F. Inglis, Electronic Communications Handbook 1988, " Part I Transmission and Switching Technologies -1) Radio-Wave Propagation"
- McGraw Hill, Andrew F. Inglis, Electronic Communications Handbook 1988, " Part I Transmission and Switching Technologies -2) Antennas"
- Linear Equipamentos Eletrônicos Ltda., Prof. Aurelio Garcia Ribeiro, Linhas de Transmissão, Antenas e Propagação, 1992