TRANSMISIÓN VHF BANDA III DEL CANAL INTERNACIONAL ECUATORIANO EN LA ISLA SAN CRISTÓBAL DE LAS ISLAS GALÁPAGOS.

Juan Basilio G.[1], Juan Ponce Valverde.[2], Juan Perero González.[3], Alejandro Aguilar.[4]

RESUMEN

Debido que en las Islas Galápagos existe la poca comunicación entre la comunidad insular y la comunidad continental, con la intervención de emisoras extranjeras. Actualmente gracias a la tecnología moderna, proponemos comunicar a la región insular con el Ecuador Continental por medio del servicio de la Televisión Abierta.

Con la ayuda del Servicio Satelital de INTELSAT para la transmisión de Televisión Digital y las recomendaciones de la normativa ETS 300-421, comúnmente llamada DVB-S, recibiremos la señal proveniente de la Estación Terrena, ubicada en Guayaquil, del Canal Internacional Ecuatoriano.

Las señales analógicas de audio y video, recuperadas, serán enviadas hacia un transmisor de televisión analógico para que se difundan, hacia la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno de la isla San Cristóbal en Galápagos, como la señal del canal 11 de televisión de VHF banda III. Y de esta manera mantener siempre comunicado a los pobladores de la región insular con el Ecuador continental a través de la televisión ecuatoriana.

Todo la infraestructura y el equipamiento que serán utilizados para la implementación del diseño deberá cumplir con todas las normativas de operación y funcionamiento que exigen los principales organismos regulatorios nacionales e internacionales como son la Superintendencia de Telecomunicaciones, la FCC, CCIR, ITU, INTELSAT, DVB. Como también deberá cumplir con las normas de construcción para este tipo de servicio.

Toda la infraestructura deba ser reutilizable para el caso de una expansión en el desempeño del sistema de acuerdo con el crecimiento poblacional.

INTRODUCCION

Ha pasado más de medio siglo desde que la aparición de la televisión revolucionó al mundo como una nueva forma de comunicación, entretenimiento y educación. Pero también con el pasar de los años, la televisión ha experimentado muchos cambios desde sus inicios como un sistema monocromático, pasando luego al sistema de color (ambos como sistemas análogos), para llegar al sistema digital actual.

Desde luego que estos cambios también involucraron a la tecnología que permite la difusión de las señales televisivas. Por ejemplo, antiguamente las señales satelitales de televisión eran analógicas y estas necesitaban ocupar todo un transpondedor para su emisión. Pero con la llegada de la digitalización y la compresión de las imágenes, es posible optimizar tanto los recursos satelitales que actualmente es posible enviar muchas señales televisivas en un solo transpondedor y además utilizar al mismo para enviar otro tipo de servicio como la Internet, telefax, etc.

[1] Ingeniero Eléctrico en Electrónica, 2004
[2] Ingeniero Eléctrico en Electrónica, 2004
[3] Ingeniero Eléctrico en Electrónica, 2004
[4] Director de Tópico, Ingeniero Electrónico, Escuela Superior Politécnica 1988, Televisión Digital España 1991.

La tendencia actual del mundo, es de proporcionar servicios de televisión enteramente digitales. Pero en nuestro país, las señales televisivas son aún analógicas, y pasarán algunos años hasta que los usuarios reciban una señal de televisión digital, ya que esto actualmente representa una altísima inversión económica para las emisoras televisivas ecuatorianas y para los propios usuarios. Además, aún existen lugares que aún no tienen el servicio de televisión convencional y que se mantienen poco comunicados con el resto del país.

Debido a la situación actual de nuestro país y a la tendencia mundial, nuestro trabajo ofrece como solución utilizar una señal de televisión digital para difundirla en forma analógica a una determinada población de nuestro país.

Nuestro estudio esta dirigido para dar servicio en forma particular a la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno de la isla San Cristóbal en la provincia de Galápagos, para que tengan acceso a la programación del Canal Internacional de Televisión Ecuatoriana con sede en la ciudad de Guayaquil.

Para lograr este propósito, se diseñará un sistema receptor demodulador satelital que permita capturar la señal digital que transmite el Canal Internacional de Televisión Ecuatoriano a través del transpondedor 805 de INTELSAT.

Luego diseñaremos el sistema que permita la codificación y transmisión analógica de la señal televisiva hacia la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno.

1. SELECCION DEL SITIO PARA LA ESTACION DE RECEPCIÓN SATELITAL y TRANSMISIÓN TERRESTRE.

La localización de los equipos, tanto para la recepción satelital como el transmisor VHF, estará ubicada en la periferia de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno (isla San Cristóbal), según las coordenadas descritas abajo, porque en dicho lugar no solo que permite la mejor visibilidad para la transmisión de la señal VHF hacia la ciudad, sino que también posee facilidad de acceso vial, suministro de energía eléctrica, servicios de agua potable y de alcantarillado.

Las coordenadas geográficas del sitio de recepción satelital y transmisión broadcast se obtuvieron con la ayuda de mapas topográficos proporcionados por el INOCAR de la armada ecuatoriana y son las siguientes:

Longitud : 89º 36’ 56” Oeste.
Latitud: 0º 53’ 56” Sur.
Altura: 6 metros sobre el nivel del mar.

2. ANALISIS Y DISEÑO TÉCNICO

Aquí trataremos los criterios para la selección de las partes constitutivas del proyecto, y para una mejor comprensión del análisis técnico, hemos dividido el diseño del proyecto en dos etapas:

- Diseño del sistema de recepción satelital
- Diseño del sistema de transmisión terrestre.

3. DISEÑO SISTEMA SATELITAL

- **Angulo de elevación:**

$$EL = \arctan\left[\frac{\cos\alpha - 0.15127}{sen\alpha}\right]$$

$$\alpha = \arccos\left[\cos \Delta w \times \cos \varphi\right]$$

donde:
Δ w = diferencia de longitud entre la estación terrena y el satélite
φ = latitud de la estación terrena, referida al hemisferio norte.

Datos de coordenadas:

- **ORBITA INTELSAT VIII 805:** 304.5º Longitud ESTE (55.5º OESTE)
- **ESTACION TERRENA San Cristóbal en Puerto Baquerizo Moreno:**

Latitud: 0º 53' 56" Sur.
Longitud: 89º 36' 56" Oeste = 270.384º Este

ELEVACION = 50.33º

- **Angulo acimutal.**

El ángulo de acimut depende de la posición relativa de la estación terrena a la línea ecuatorial y el satélite en cuestión.
Las ecuaciones que el manual de INTELSAT nos da para los dos hemisferios son:

$$AZ = \arctan\left[-\frac{\tan\Delta w}{sen\varphi}\right] + 180 \quad \text{para hemisferio Norte}$$

$$AZ = \arctan\left[-\frac{\tan\Delta w}{sen\varphi}\right] \quad \text{para hemisferio Sur}$$

En nuestro caso la estación terrena se encuentra en el hemisferio sur. Así pues, procedemos a realizar él cálculo del azimut tomando los datos del satélite y la estación terrena.

ACIMUT = 88.67º

Esto significa que la antena receptora debe apuntar a 50.33º sobre el horizonte y a 88.67º hacia el nordeste.

3.1 CÁLCULO DE LA DISTANCIA ENTRE LA ESTACIÓN TERRENA Y EL SATÉLITE.

La distancia entre una estación terrena y un satélite geoestacionario es:

$$d^2 = R^2 + Ro^2 - 2R \times Ro \times \cos\alpha$$

d = distancia desde la estación terrena al satélite
R = distancia del satélite al centro de la Tierra = 42,164 km
Ro = radio terrestre = 6,378 km
α = ángulo del círculo mayor, obtenido anteriormente.

Distancia al satélite = 37041.48 km

3.2 SELECCIÓN ANTENA SATELITAL

Características de las antenas:									
Tamaño [m]	1.8	2	2.4	2.8	3.1	3.8	4.5	5	6.1
Grx @ 4Ghz[dBi]	35.7	36.9	38.5	39.8	40.7	42.4	43.1	45	46.4
Tant @50º EL [ºK]	22	22	21	20	26	23	23	23	23
VSWR	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Lwaveguide[dB]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
T LNB [ºK]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Preliminares:									
Lvswr[dB]	0.0745233	0.0745233	0.07452328	0.0745233	0.0745233	0.0745233	0.0745233	0.0745233	0.0745233
Lfeed [dB]	0.2745233	0.2745233	0.27452328	0.2745233	0.2745233	0.2745233	0.2745233	0.2745233	0.2745233
Lfeed	1.0652519	1.0652519	1.06525193	1.0652519	1.0652519	1.0652519	1.0652519	1.0652519	1.0652519
Tsys [ºK]	58.41632	58.41632	57.4775748	56.53883	62.1713	59.355065	59.355065	59.355065	59.355065
Tsys [dBK]	17.665342	17.665342	17.5949844	17.523468	17.935899	17.734578	17.734578	17.734578	17.734578
Downlink:									
Pire(saturación)	37.5	dBW							
Output back-off	13.3	dB							
Pattern Advantage	-0.8	dB							
Path – Loss	195.91497	dB							
Margen_down	1	dB							
G/T [dB/K] a 4 GHz	18.034658	19.234658	20.9050156	22.276532	22.764101	24.665422	25.365422	27.265422	28.665422
C/T[dBw/K]	-155.75487	-154.55487	-152.884508	-151.51299	-151.02542	-149.1241	-148.4241	-146.5241	-145.1241
C/N [dB]	7.2616833	8.4616833	10.1320409	11.503557	11.991126	13.892447	14.592447	16.492447	17.892447

Tabla 1: ESTUDIO COMPARATIVO PARA ELEGIR EL TAMAÑO DE LA ANTENA RECEPTORA

Intermodulación del satélite:			***Uplink:***						
SAT im @ BE	-21	dBW/4kHz	**Pire up**	62.9	dBW				
C/Tsat-im	-147.3794	dBw/ºK	**Path-Loss**	199.29841	dB				
Interferencia Co-canal:			**G/T satélite**	-8	dB/ºK				
C/I	20.8	dB	**pattern advtg**	2.3	dB				
C/Tco	-142.21651	dBw/ºK	**C/T up**	-142.09841	dBW/ºK				
Intermodulación E/T TX:			**C/No**	86.501595	dB-Hz				
HPA-im@10º elevac	16	dBW/4kHz	**C/N**	20.91811	dB				
Correción K1	3.32964		**Márgen-up**	1	dB				
C/T HPA-im	-142.36436	dBw/ºK	**Frec-up**	6	Ghz				
TOTAL Link-budget:			**Dist. - sat**	36456	km				
Margen adicional[5]	2.2	dB	**IBO**	15.1	dB				
Tamaño de antenas [m]	1.8	2	2.4	2.8	3.1	**3.8**	4.5	5	6.1
C/T [dBw/K]	-159.06021	-158.16019	-157.01935	-156.19207	-155.92332	-155.00553	-154.71934	-154.07437	-153.71042
C/No [dB-Hz]	69.539788	70.439806	71.5806504	72.407929	72.676677	73.594468	73.880659	74.525625	74.889583
Eb/No [dB]	2.5500877	3.4501058	4.59095034	5.4182287	5.6869768	6.6047682	6.8909592	7.5359253	7.8998825
C/N [dB]	3.9563026	4.8563207	5.9971653	6.8244436	7.0931918	8.0109832	8.2971742	8.9421402	9.3060974
C/N-márgen [dB]	-3.3436974	-2.4436793	-1.3028347	-0.4755564	-0.2068082	**0.7109832**	0.9971742	1.6421402	2.0060974
Eb/No-márgen [dB]	-3.3499123	-2.4498942	-1.30904966	-0.4817713	-0.2130232	**0.7047682**	0.9909592	1.6359253	1.9998825

Tabla 2: ESTUDIO COMPARATIVO PARA ELEGIR EL TAMAÑO DE LA ANTENA RECEPTORA

[5] El margen adicional involucra pérdidas por interferencia de satélites adyacentes, pérdidas de tipo terrestres y cualquier otro tipo de pérdidas por interferencia.

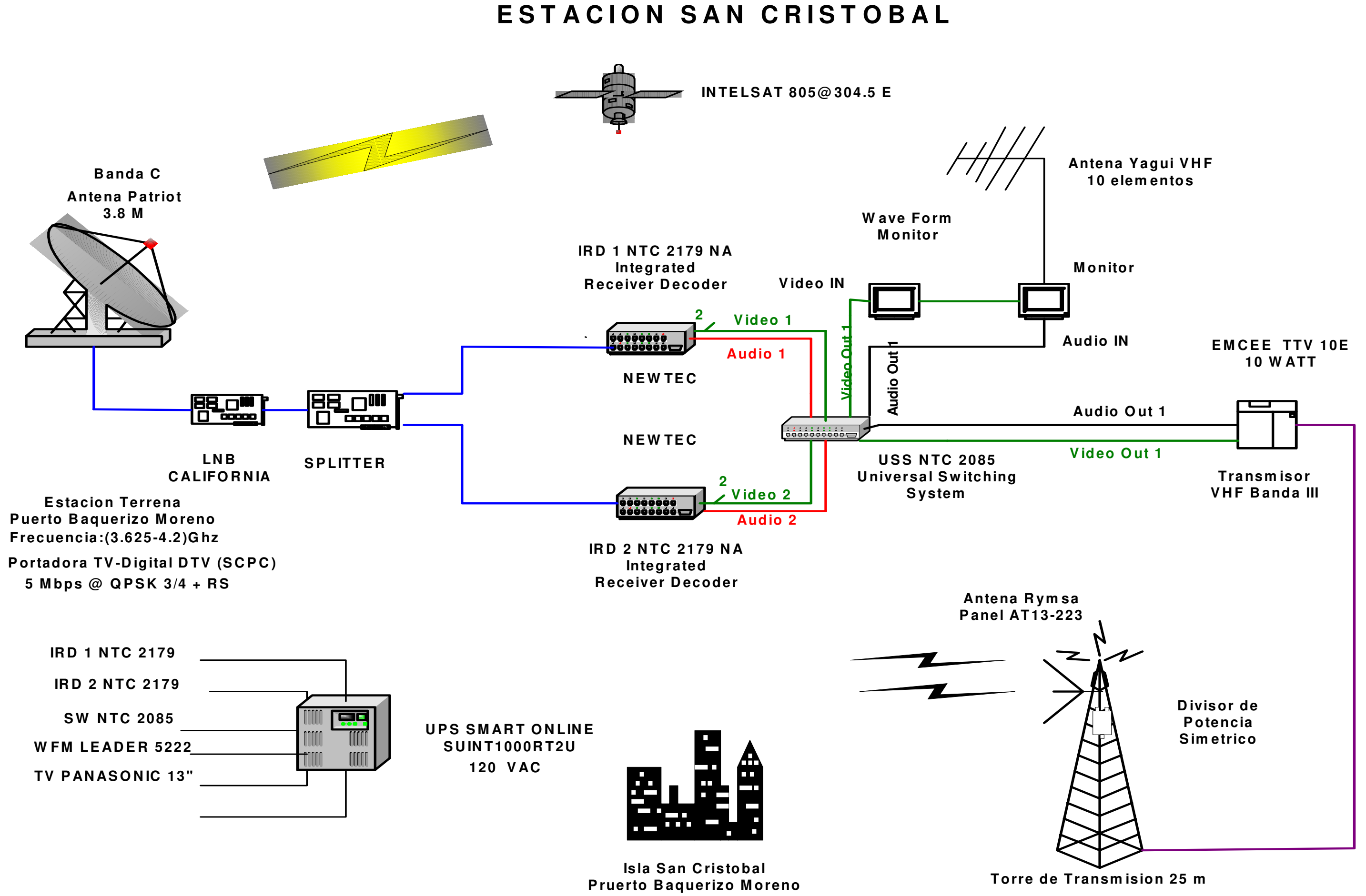

Figura 1 Diagrama del Proyecto

Analizando los resultados de la tabla 1 y 2 observamos, que si escogiéramos cualquier antena que tenga un márgen de Eb/No negativo, significaría utilizar más recursos satelitales para poder captar el mínimo nivel de señal necesario lo que equivaldría a aumentar nuestros costos operativos. Por esto necesitamos una antena que posea un márgen de Eb/No positivo para que los recursos satelitales disponibles se mantengan inalterables y evitar aumentar costos por adquisición de más recursos.

Si es cierto que mientras mayor sea el márgen del Eb/No mejor será el nivel de la señal de portadora, pero debemos considerar que esto equivale también a adquirir una antena más costosa. Así pues, el tamaño adecuado de la antena que me permita optimizar los costos sin afectar el rendimiento del enlace, será aquel de entre las antenas que tengan un márgen de Eb/No positivo, la que posea el menor márgen de Eb/No positivo.

Por tanto de acuerdo con los resultados de la tabla 1 y 2, el mínimo tamaño necesario corresponde a una antena con 3.8 metros de diámetro.

4. DISEÑO SISTEMA TERRESTRE

Previamente determinada la zona a cubrir, en este caso Puerto Baquerizo Moreno, y antes de realizar los cálculos de radio propagación que determinen el nivel de potencia del transmisor que se requerirá, se elegirá el grado de servicio que se dará a la comunidad principal a servir según la banda VHF a utilizar, para esto nos ayudamos de las reglamentaciones FCC para los grados de señal de televisión que se ilustran en la tabla 7.3. Recordemos que nuestro diseño se realizará para el canal 11 de la banda VHF alta y cuya banda de asignación es 198 – 204 Mhz.

CANAL	FRECUENCIA	PRINCIPAL		GRADO A		GRADO B	
	[Mhz]	[μV/m]	dBμ	[μV/m]	dBμ	[μV/m]	dBμ
2 – 6 (VHF – L)	54 – 88	5010	74	2510	68	224	47
7 – 13(VHF – H)	174 – 216	7080	77	3550	71	631	56
14 – 83 (UHF)	470 – 806	10000	80	5010	74	1585	64

Tabla 3 : GRADOS DE SERVICIO PARA LAS SEÑALES DE TELEVISIÓN.

4.1 SELECCIÓN DEL TRANSMISOR

Con las consideraciones hechas al inicio de esta sección y la tabla 3 que especifica el valor del nivel de señal que se requiere para una óptima calidad de servicio, podemos dimensionar el transmisor a utilizar. También se tuvo presente la existencia de línea de vista entre el sitio de transmisión de la señal hacia la comunidad a servir, de tal forma que solo se consideren pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

Para lo cual se realizo en los radiales nordeste, este y sureste del plano donde se ubicaría la Estación Terrena, porque solamente ellos cubren la zona de interés, a diferencia de los otros cinco que se dirigen hacia zonas despobladas y hacia el mar. Teniendo también presente que la intensidad de campo eléctrico producido por un radiador isotópico en el espacio libre viene dada por:

$$Eo = \frac{\sqrt{30 \times PIRE[W]}}{d[m]}$$ [volts/metros]

Tomamos diferentes niveles de potencia a ciertas distancias sobre la periferia de la ciudad (en los radiales considerados), y teniendo en cuenta la capacidad de los transmisores que se encuentran en el mercado sin considerar perdidas por cable tenemos las siguientes tablas para determinar el grado de señal esperado y en los cuales:

$$Eo[mV/m] = \frac{\sqrt{30 \times PIRE[W]}}{d[m]} \times 1000$$

$$Eo[dBu] = 20\log(1000 \times Eo[mV/m]).$$

Una vez analizo la intensidad de campo electrico en cada uno de los radiales de interes, vemos que para tener una buena calidad de señal sería necesario solamente un transmisor de 6 watts, pero hay que recordar que estos cálculos no toman en consideración las perdidas debido a la línea de transmisión, acoplamiento, reflexión del terreno, lluvia, etc., por lo que se hace es elegir un valor mucho mayor de potencia, de tal forma que al considerar las respectivas pérdidas que se involucran no se vean reflejadas en una disminución severa de la señal.

De esta manera, tentativamente escogeríamos el nivel de 25 watts, pero considerando factores de tipo económicos se prefiere un nivel que sea por lo menos el doble del primer nivel de potencia en que se obtiene señal tipo principal para cada uno de los tres casos, y de acuerdo a eso obtenemos un nivel promedio de 10 watts y nuevamente estaríamos tentados por un nivel superior de 15 watts, pero como no existen transmisores de esta capacidad en el mercado, entonces se decide en utilizar un transmisor de 10 watts de capacidad nominal. Por tanto.

Potencia del transmisor Ptx = 10 watts = 10 dBw

4.2 SISTEMA RADIANTE

Ahora bien, después de ser elegido el nivel de potencia para nuestro transmisor, lo siguiente es determinar las características del sistema radiante que utilizaremos para cubrir a la ciudad. Para realizar esto utilizamos los perfiles topográficos.

Pero preliminarmente necesitaremos establecer la altura a la cual estará ubicada el sistema radiador sobre el nivel del terreno del sitio de transmisión. Para esto se considera que la mínima altura que el sistema radiante debe tener, es de 10 veces la longitud de onda de operación, para el caso nuestro el de la portadora de video, es decir.

$$h\min = 10\lambda$$, donde $\lambda = 1.51$ m

Entonces, **h min. = 15.1** metros sobre el terreno del sitio de transmisión.

Pero considerando también el terreno, la ubicación y la altura de la comunidad principal a servir, de manera que se logre cubrir toda la zona de interés y sus cercanías para lograr un buen el alcance de la señal y que nuestro sistema se encamine junto con el crecimiento de la ciudad. Hemos decidido colocar nuestro sistema radiante a una altura de 24 metros sobre el suelo del sitio de transmisión. Por lo tanto.

Altura del sistema radiante: 24 metros (sobre el terreno)

CONCLUSIONES

Después de analizar minuciosamente los resultados obtenidos al culminar el proyecto, determinamos los siguientes:

Refiriéndonos a la antena parabólica, a pesar de haber elegido el mínimo tamaño requerido para satisfacer las condiciones de umbral del enlace satelital, la antena de 3.8 metros que elegimos nos permite obtener un nivel de 0.7 dB por encima del umbral Eb/No exigido de 5.9 dB. Es decir que obtendremos un B.E.R ligeramente mejor que 10^{-10} y aún así nos garantiza una buena calidad de nivel de señal.

Pero recordemos que los cálculos se realizaron considerando las peores condiciones de degradación de enlace, por tanto podemos asegurar que en condiciones de cielo despejado obtendremos un B.E.R > 10^{-10}. En otras palabras, el nivel de señal de portadora que se espera tener en las mejores condiciones del enlace satelital será excelente.

Lo anterior también se corrobora al analizar el nivel de señal que ingresa al demodulador del IRD-DVB, el cual está por encima del mínimo nivel requerido (-65 dBm según el fabricante) en 20 dB, aproximadamente, y aún en las peores condiciones de degradación del enlace satelital. Lo que comprueba que tendremos un mejor nivel de señal IFL a la entrada del demodulador IRD cuando tengamos condiciones de cielo despejado.

Analizando los cálculos concernientes al transmisor, vimos que para tener una buena calidad de señal hubiera sido necesario solamente un transmisor de 6 watts, pero hay que recordar que los cálculos no tomaron en consideración las pérdidas debido a la línea de transmisión, lluvia, reflexión del terreno, etc., y que se utilizó también la antena isotrópica para dichos cálculos. Por lo tanto para considerar las pérdidas no involucradas elegimos un nivel de potencia mucho mayor, de tal forma que cualquier pérdida que afecte a la señal de televisión transmitida, no provoque una disminución severa de la calidad de señal receptada por los televisores de los usuarios. De esta manera, tentativamente pudimos escoger el nivel de 25 watts, pero para optimizar económicamente el proyecto se eligió el de 10 watts, ya que no existen capacidades de 15 watts en el mercado.

Como se demostró, el sistema radiante proporcionado por RYMSA si satisface las condiciones de cobertura de la ciudad tanto verticalmente como acimutalmente. Es decir, que los patrones de radiación horizontal (tipo cardioide) y vertical del arreglo de antenas recomendado si logran cubrir completamente a la comunidad de Puerto Baquerizo Moreno y no es necesario pedirle al fabricante que realice una inclinación electrónica del haz ni que realice rellenos de nulos al mismo.

Y como se esperaba, el nivel de señal recibido por los usuarios en sus receptores siempre será de buena calidad (clase principal), aún cuando el transmisor trabajase al 50% de su capacidad nominal y / o existiera algún factor que produzca pérdidas, como la lluvia. Esto es muy importante, ya que la Superintendencia de Telecomunicaciones de nuestro país exige que se cumpla lo antes dicho.

BIBLIOGRAFÍA

Henry Jasik: *Antenna Engineering Handbook.* McGraw – Hill Book Company, New York, Primera Edición, 1961.
Keith Henney: *Radio Engineering Handbook*, McGraw – Hill Book Company, New York, Quinta Edición, 1959.
Howard W. Sams & Co., Inc.: *Reference Data for Radio Engineers*, International Telephone and Telegraph Corporation (ITT), Quinta Edición, 1974.
Intelsat Co.: *Earth Station Technology Handbook*, Intelsat's Assistance and Development Program (IADP), Quinta Edición, 1999.
Normas de Estaciones Terrenas: *Documentaciones IESS 410, IESS 412, IESS 418, IESS 503, IESS 601,* INTELSAT Co
Carlos Rosado: *Comunicación por Satélite*, Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones (AHCIET), Primera Edición, 1998
Pritchard Wilbur L. and Sciulli J.: *Satellite Communications Systems Engeneering*, Prentice – Hall Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 1986
Lewis Geoffrey E.: Communication Services Via Satellite, A Handbook of Desing, Intallation and Service Engeneers, Second Edition, Jordan Hill, Oxford 1988.
Bernard Grob: *Televisión Practica*, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, España, Segunda Edición, 1987.
Wayne Tomasi: *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., México, Segunda Edición, 1996.
Apuntes del tópico de graduación: Televisión Analógica y Digital.