

MODELO DE CALCULO DE RADIOENLACE

Referido al proceso de cálculo para radioenlaces fijos terrestres. Consideración del fading selectivo, la lluvia y las mejoras por uso de diversidad.

1- DIAGRAMA DE FLUJO DEL CALCULO

En este trabajo se resumen los pasos a seguir en el diseño de un radioenlace de micro-ondas digital. El desarrollo de los ítems en particular se tratan en otros trabajos, solo se menciona la lógica de análisis.

El diagrama de flujo a desarrollar durante el cálculo de un radioenlace de micro-ondas para señales digitales se muestra en la **Fig 01**. A continuación se describen las partes constituyentes del mismo.

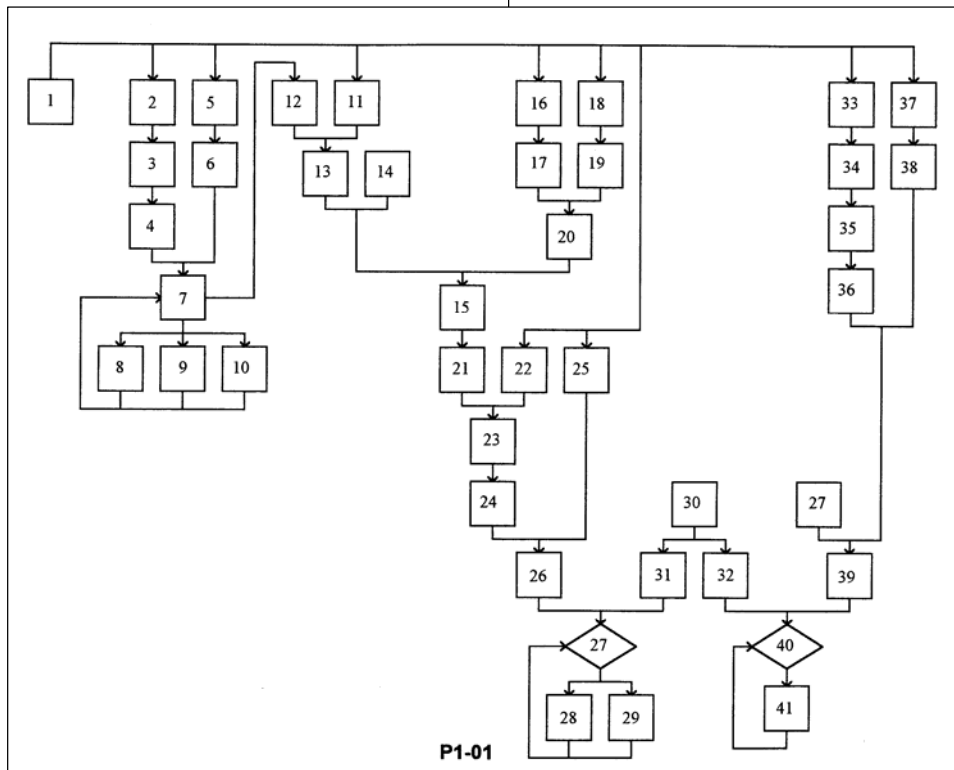
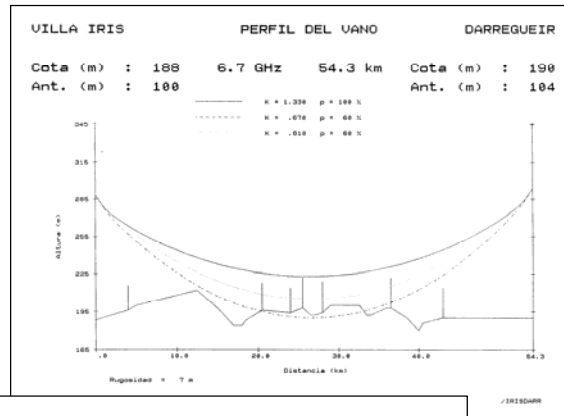


Fig 01. Diagrama de flujo para el modelo de cálculo del radioenlace.

MODELO DE CALCULO DE RADIOENLACE

1.1- CALCULO DE LA ALTURA DE ANTENAS

El primer paso consiste en determinar la posición geográfica de las estaciones y desarrollar sobre un plano de alturas del terreno el perfil geográfico entre las estaciones. Se considera entonces una propagación en el «espacio libre», ignorando la atmósfera y los obstáculos. Se obtiene entonces el nivel de potencia nominal de recepción y el margen de desvanecimiento del enlace. La inclusión de la atmósfera implica una curvatura del rayo de unión entre antenas, mientras que la inclusión de un obstáculo implica el despejamiento de la zona de Fresnel. Se concluye el cálculo cuando, mediante criterios de despejamiento, se admite un nivel de recepción igual al del espacio libre. Se tomará en cuenta la presencia de obstáculos, la atenuación introducida por los mismos o la necesidad de repetidores pasivos para eludirlos. Se tendrá en cuenta además posibles reflexiones en el terreno.

CALCULO DE LA ALTURA DE LAS ANTENAS

DATOS	1- Datos iniciales. Para el cálculo se requieren, entre otros datos la posición de las estaciones, el perfil del terreno, la altura de las estaciones y los obstáculos.
REFRACCION	2- Efecto de la Refracción. Se debe determinar el valor estándar para el coeficiente de curvatura de la tierra K de acuerdo con la zona geográfica y altura del enlace. Generalmente se utiliza, por costumbre, el valor medio $K = 4/3$.
FACTOR K	3- Determinación del valor de K crítico. Se trata del peor caso, con ocurrencia más del 99,9% del tiempo. El valor se incrementa con la longitud del enlace y corresponde a $K = 0,8$ para 50 Km de longitud del enlace.
CURVATURA C	4- Cálculo de la curvatura C de la Tierra. Se calcula en el obstáculo más evidente. Es una función inversa del valor K y función directa de la distancia. El horizonte cambia su curvatura debido a variaciones del índice de refracción (K).
DIFRACCION	5- Efecto de la Difracción. Se calcula el radio de la primer zona del elipsoide de Fresnel (F1) en el obstáculo más evidente. F1 depende de la distancia y en forma inversa de la frecuencia.
DESPEJAR	6- Cálculo del valor de Despejamiento D. Se trata de la separación entre el rayo de unión entre antenas y el obstáculo. Es una fracción del radio F1.
CRITERIOS	7- Criterios para determinar la altura de antenas. Se selecciona entre los varios criterios existentes. Posteriormente se considera el enlace "despejado" y solo se tiene en cuenta la atenuación del espacio libre. El criterio comúnmente aplicado es tomar el peor valor de altura entre $[K=4/3; D/F1=1]$ y $[K=0,8; D/F1=0,6]$.
OBSTRUCCION	8- Obstrucción por obstáculo. En caso que no pueda despejarse el enlace, se determina la atenuación por obstrucción Aobs en función de la relación D/F1 obtenido en el cálculo. Ciertos tipos de obstáculos producen atenuación por absorción y por dispersión, en tanto que otros producen despolarización de la onda.
REFLEXION	9- Reflexiones en el terreno. De existir las reflexiones en el terreno plano debe calcularse la altura de antena para lograr que el rayo reflejado llegue en fase con el directo. En caso contrario se usará el sistema antireflectivo de diversidad de espacio.
REPETIDOR	10- Repetidores pasivos. En muchos casos donde no se puede superar un obstáculo es necesario usar repetidores pasivos del tipo espejo o espalda-espalda. Estos permiten cambiar la dirección del enlace. En algunos casos se adoptan repetidores activos amplificadores de radiofrecuencia con bajo consumo de energía para áreas de difícil acceso.

MODELO DE CALCULO DE RADIOENLACE

1.2- CALCULO DEL MARGEN DE DESVANECIMIENTO

MARGEN DE DESVANECIMIENTO

DATOS	1- Datos iniciales. Para el cálculo del margen de desvanecimiento se requiere la frecuencia y longitud del enlace, la altura de antenas sobre la estación, y algunos datos del equipo a ser usado.
ALIMENTADOR	11- Selección de guía de onda o cable coaxial. Dependiendo de la frecuencia se selecciona el medio de alimentación de la antena. El cable coaxial se aplica hasta 3 GHz y la guía de ondas a partir de esta frecuencia. Se seleccionan las antenas dependiendo de la ganancia deseada. Se determina la atenuación y ganancia respectivamente.
ESPACIO LIBRE	12- Efecto del espacio libre. Se calcula la atenuación en función de la distancia y frecuencia. Adicionalmente se considera una atenuación por obstáculo si el enlace se encuentra obstruido.
NOMINAL	13- Cálculo de la potencia nominal de recepción. Se determina la Potencia nominal como diferencia entre la potencia del transmisor y las atenuaciones (<i>branching</i> , guía de ondas o cable coaxial y espacio libre) y ganancias de antenas (en la dirección de máxima directividad).
UMBRAL	14- Determinación de la potencia umbral. Se trata del valor de potencia recibida por el receptor que asegura una tasa de error BER de 10^{-3} y 10^{-6} . No se considera degradación por interferencias, al menos inicialmente.
MARGEN	15- Cálculo del margen de desvanecimiento. Se trata del valor en dB para las BER de 10^{-3} y 10^{-6} obtenido como diferencia entre la potencia nominal de recepción y la potencia umbral del receptor.

1.3- CALCULO DEL EFECTO DE LAS INTERFERENCIAS

Las interferencias producen sobre el enlace un incremento de la tasa de error BER cuando existen condiciones de propagación adversas. Por ello, es necesario estudiar la interferencia dentro del sistema a proyectar como desde y hacia el exterior del mismo. Las interferencias que no pueden despreciarse obligan a una redistribución del plan de frecuencias adoptado o se consideran como una reducción del margen de desvanecimiento.

EFECTO DE LAS INTERFERENCIAS

DATOS	1- Datos iniciales. Son necesarios para el cálculo de interferencias la posición y frecuencia de las estaciones interferentes, potencia de emisión, polarización usada, etc.
IGUAL	16- Interferencias I con igual dirección. En este caso se tiene la misma dirección de la interferencia con la portadora deseada C. Ambas señales sufren el desvanecimiento al mismo tiempo y la relación C/I se mantiene constante.
C/I dB	17- Verificación de la relación C/I dB. El conjunto de interferencias en condición de igual dirección debe cumplir con la relación $C/I > 20$ dB. En tal caso el efecto se supone despreciable; es decir, la BER se degrada en forma imperceptible.
DISTINTA	18- Interferencias I con distinta dirección. En este caso ambas señales (C e I) sufren el desvanecimiento en forma distinta y la relación C/I no es constante. Se debe asegurar que C/I se mantiene aceptable aún cuando el valor de C es igual al valor de potencia umbral.
NIVEL	19- Verificación del nivel de interferencia I dBm. Se debe obtener el conjunto de interferencias en esta condición. Si el valor de $I \leq -100$ dBm se supone despreciable. De lo contrario se encuentra el valor de $C/I = P_u/I$.
C/N dB	20- Valoración de la degradación de la relación C/N. La relación portadora a ruido se degrada en presencia de una interferencia. Se determina un valor en dB de penalización por interferencia sobre la base de mediciones o datos del equipo.
MARGEN	15- Cálculo del nuevo margen de desvanecimiento. Este margen tiene en cuenta las interferencias (FMi3 y FMi6).

MODELO DE CALCULO DE RADIOENLACE

1.4 EFECTO DEL DESVANECIMIENTO POR CAMINOS MÚLTIPLES

La propagación atmosférica produce reflexiones en el terreno y en la atmósfera. Las primeras pueden ser eliminadas mediante un obstáculo cercano a una antena (tapando el rayo reflejado); en este caso es conveniente ubicar una antena más baja que la otra. Si esto no es posible se recurre al sistema anti-reflectivo de diversidad de espacio (dos antenas separadas por una distancia tal que la diferencia entre ambas permite compensar la diferencia de caminos con el rayo reflejado). La reflexión en la atmósfera no es predecible mediante trigonometría y por ello su estudio es estadístico. Involucra variables como el clima, temperatura y humedad, época del año, tipo de terreno y rugosidad, frecuencia y distancia, margen de desvanecimiento y signatura del receptor.

DESVANECIMIENTO POR CAMINOS MULTIPLES

DATOS	1- Datos iniciales. Para este cálculo se requiere información sobre el clima, terreno, frecuencia y distancia del enlace, así como la signatura del receptor.
ATENUACION	21- Efecto de la atenuación plana. Se calcula la componente de atenuación Rayleigh en función del margen de desvanecimiento.
SELECTIVIDAD	22- Efecto de la selectividad. Cálculo de la componente debida a la selectividad introducida por el Notch. Es una función de la signatura del receptor. Esta componente es despreciable para enlaces de baja y media capacidad y debe tomarse en cuenta para enlaces de 140 Mb/s.
TOTAL	23- Cálculo de la suma de atenuación y selectividad. Se efectúa con la ponderación adecuada entre componentes. Solo la primer componente se tiene en cuenta hasta 34 Mb/s; la selectividad es importante para modulación QAM y TCM.
MARGEN NETO	24- Determinación del margen de desvanecimiento neto (NFM3 y NFM6). Se requiere para obtener el efecto sobre enlaces de alta capacidad, por encima de 34 Mb/s, mediante la signatura.
FACTOR Po	25- Determinación del factor de ocurrencia Po. Se trata de una función del clima, rugosidad del terreno, frecuencia y distancia del enlace.
PORCENTAJE	26- Cálculo de la probabilidad. Se trata del porcentaje de tiempo que se puede superar el margen NFM en forma proporcional a Po. Tiene relación con la BER mediante las recomendaciones de calidad G.821 y G.826. La asimilación es desde NFM3 a US/SES y NFM6 a DM.
COMPARACION	27- Comparación de los valores calculados. Se toma como referencia los objetivos proporcionales al Trayecto desde 2500 Km. Si el valor calculado es inferior al objetivo se concluye en forma satisfactoria esta parte del cálculo.
MEJORAS	28- Mejoras sobre la calidad del enlace. Si el valor calculado es superior al objetivo se procede a implementar mejoras sobre el enlace como el incremento del margen de desvanecimiento.
DIVERSIDAD	29- Uso de diversidad. En los casos en que es necesario se aplica la diversidad de frecuencia, diversidad de espacio o combinaciones de frecuencia y espacio. En cada caso se obtienen ventajas en cuanto hace a la calidad y costos crecientes por materiales o uso de portadoras.

1.5- OBJETIVOS PROPORCIONALES DEL ITU-R

Los objetivos que se determinan en el ITU-T y ITU-R permiten fijar umbrales para el diseñador. Los mismos deben ser cumplidos siempre que las condiciones económicas del enlace lo permitan. Solo para enlaces laterales de baja capacidad se toleran incumplimientos de estos objetivos.

OBJETIVOS DEL ITU-T

OBJETIVOS	30- Objetivos para calidad (SES y DM) e indisponibilidad (US). Se trata de los objetivos definidos por los organismos internacionales ITU-T e ITU-R para el trayecto de referencia de 2500 Km de longitud.
CALIDAD	31- Atribución del objetivo de calidad SES y DM. De acuerdo con el ITU-R el valor se distribuye en forma proporcional a la distancia del enlace.
CORTE	32- Atribución del objetivo de indisponibilidad US. También, en este caso, se distribuye en forma proporcional a la distancia.

MODELO DE CALCULO DE RADIOENLACE

1.6- CALCULO DE CORTE POR LLUVIA

Los enlaces sufren indisponibilidad o corte debido a varias causas: atenuación por lluvia, falla de equipos, variación del índice de refracción (K atmosférico), caminos múltiples. La lluvia es importante en enlaces por encima de 7 GHz. Las fallas de equipo obligan al uso de sistemas conmutados con protección. Solo por razones económicas se puede admitir el uso de sistemas 1+0.

INDISPONIBILIDAD DEBIDO A LA LLUVIA

DATOS	1- Datos iniciales. Para el cálculo de la indisponibilidad por lluvia se requiere información sobre la región geográfica, frecuencia y distancia del enlace y margen de desvanecimiento FM.
DENSIDAD J	33- Densidad instantánea de lluvia J. Se determina en base a la región geográfica y se obtiene un valor medido en mm/h. Se trata de la densidad de lluvia que se supera el 0,01% del tiempo anual.
LONGITUD	34- Cálculo de la atenuación por unidad de longitud en dB/Km. Es proporcional a la densidad de lluvia y a la frecuencia del enlace.
EFFECTIVA	35- Determinación de la longitud efectiva. Se trata del diámetro equivalente de la celda de lluvia en función de la longitud del enlace. En base a este valor se obtiene el cálculo de la atenuación total por lluvia para la longitud efectiva.
ATENUACION	36- Determinación del valor de atenuación en dB. Corresponde al 0,01% del tiempo. Se calcula sobre la base del valor del porcentaje de corte (US%) para el margen de atenuación FM3 dB. Una leve mejora sobre los US puede introducirse mediante el incremento del margen FM3.

1.7- CALCULO DE CORTE POR FALLA DE EQUIPO

INDISPONIBILIDAD POR FALLA DE EQUIPOS

DATOS	1- Datos iniciales. Para el cálculo de la indisponibilidad por falla de equipos se requiere el tiempo medio entre fallas de equipos MTBF y tiempo medio de reparación MTTR. El MTTR es una función de la organización del mantenimiento.
1+0	37- Cálculo de la indisponibilidad de un sistema 1+0. En general, con muy pocas excepciones, no se cumple el objetivo de US y por lo tanto se requiere el uso de protección (1+1) o (N+1).
N+1	38- Cálculo de la indisponibilidad de un sistema con protección N+1. Debe ser usado en todos los enlaces para dar cumplimiento al objetivo de US. Solo por razones económicas puede admitirse enlaces 1+0 en baja capacidad (2 y 8 Mb/s).
TOTAL	39- Sumatoria de las componentes. Se trata de obtener el valor total de corte debido a las componentes de desvanecimiento por caminos múltiples, al efecto de la lluvia y a la falla de equipos.
OBJETIVO	40- Comparación con el objetivo de indisponibilidad US. Es proporcional a la distancia. En caso de no cumplir dicho objetivo debido a la lluvia puede intentarse un incremento del margen FM3, reducción en la banda de frecuencia usada o reducción de la longitud del enlace. Si la causa es la falla de equipos por usar un sistema sin protección 1+0 se debe colocar una protección del tipo <i>Hot Standby</i> .
MEJORAS	41- Falta de cumplimiento del objetivo de corte. Se requiere analizar la causa principal e implementar las acciones contra la falla de equipos (usar protección con conmutación) o lluvia (reducir la longitud del enlace).

MODELO DE CALCULO DE RADIOENLACE

LAMINA. Componentes de una instalación de radioenlace terrestre: equipo electrónico de modulación, sistema de presurización de guía de ondas, guía de ondas sobre la torre y antena.

