

Practica de radioenlaces:

Diseño de una red de radioenlaces
utilizando Radiomobile.

Pablo Moreno Vera (GIST + ADE)

Antonio Gómez Vergara (GIST)

Indice

- **1.- Introducción ----- pág. 3**
- **2.- Materiales para diseño ----- pág. 3**
- **3.- Emplazamientos nodos B ----- pág. 3**
- **4.- Plan de canalización ----- pág. 5**
 - **4.1.- Parámetros de propagación ----- pág. 5**
 - **4.2 .- Cálculo de modulación y
elección de canalización ----- pág. 6**
- **5.- Información de enlaces ----- pág. 8**
- **6.- Diseño ----- pág. 10**
- **Anexo ----- pág. 11**

1.- Introducción

Realización de práctica para dar cobertura 3G en localidades cercanas a Valladolid mediante enlaces de *backhaul* por medio de radioenlaces con punto de destino de las conexiones situado en Palencia.

2.- Materiales para el diseño

- Antena modelo VHLP2-18/B.
- Transceptor Alcatel-Lucent 9500 Microwave Packet Radio.
- Cables y conectores con pérdidas de 0.1dB/m y resto de pérdidas de 2dB.
- Torres de segmentos de 6 metros.

3.- Emplazamiento de los nodos B

Los nodos B son las estaciones base (a partir de ahora denominadas “BS”) en los puntos que se listan en la tabla 1 a continuación, a parte, se listan también el tráfico requerido (en Mbps) que deben ir los enlaces, coordenadas (latitud y longitud), si está sobre terreno o edificio (T o E respectivamente) y altura sobre el terreno en ese punto (si está sobre un edificio, se asume una altura de 10 metros inicial).

Emplazamiento	Tráfico (Mbps)	Coordenadas	Terreno/Edificio	Altura (m)
Palencia	-	42° 2' 0'' N 4° 32' 42'' O	E	747,9
Medina de Rioseco	50	41° 53' 0'' N 5° 2' 32,3'' O	E	746,8
Villanueva del Campo	30	41°59'6,8'' N 5° 24'25,6''O	E	754,1
Cigales	40	41°45'23,8''N 4°41'54,6''O	E	746,5
Valderas	30	42°4'35,3''N 5°26,52'7''O	E	754,5
Villada	30	42°14'8''N 4°58,12'3''O	E	802,1
Paredes de Nava	30	42°9,13'5''N 4°41,32'3''O	E	785,5
San Martín del Valle	30	42°26,17'3''N 4°47,12'7''O	T	898,8

Tabla 1: localización de las BS

La mayoría están situados en un edificio cercano al centro del pueblo ya que cubre en su totalidad el área del pueblo, ofreciendo cobertura a todos sus habitantes, por el contrario, el emplazamiento de San Martín del Valle está sobre terreno ya que, al ser un pueblo pequeño, éste emplazamiento está cercano y cubre sin problemas todo el pueblo.

Por otro lado, para llegar desde el emplazamiento de Palencia hasta el resto de emplazamientos, se han necesitado 16 repetidores en cascada con una configuración de reserva 1+1 ya que aporta mayor robustez en caso de que este nodo fallase.

4.- Plan de canalización

Para hallar la canalización necesaria, los datos están apoyados en:

- Notas de aplicación del Cuadro Nacional de Frecuencias (CNAF) [3].
- Recomendación UIT-R P.837 y UIT-R P838.3 para los cálculos de atenuación por lluvia.

Las canalizaciones permitidas son: 55 MHz, 27.5 MHz, 13.75 MHz y 7.5 MHz en la banda de 18GHz.

4.1.- Parámetros de propagación

Todos los cálculos están realizados mediante un script en Matlab (adjunto con el resto de archivos [*params.m*]) donde devuelve la sensibilidad del vano en polarización vertical y horizontal tanto si es un enlace terminal o uno en cascada dada una sensibilidad obtenida mediante una tabla (Anexo 1, figura 1), una distancia entre nodos, frecuencia de referencia (según la recomendación UIT.R F.595-10) y las constantes k y α en polarización vertical y horizontal (según la recomendación UIT.R - 838.3):

Dato	Valor
Frecuencia de referencia (fr)	18.7 MHz
Kv	0.07708
Kh	0.07078
α_v	1.0025
α_h	1.0818
R _{0.01}	25 mm/h
Indisponibilidad enlaces en cascada (Uc)	0.001%
Indisponibilidad enlaces terminal (Ut)	0.005%

Con estos datos podemos proceder a calcular la atenuación por lluvia tanto para enlaces en cascada como para enlaces en terminal:

$$A_{0.001} = A_{0.01} \bullet 0.07 \bullet p^{-(0.855+0.139 \log p)}$$

$$A_{0.005} = A_{0.01} \bullet 0.07 \bullet p^{-(0.855+0.139 \log p)}$$

$$A_{0.01} = \gamma_{0.01} \bullet L_{ef}$$

$$\gamma_{0.01} = k R_{0.01}^{\alpha}$$

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

$$d_0 = 35 \bullet e^{-(0.015 R_{0.01})}$$

Siendo p la probabilidad de fallo, es decir, la indisponibilidad en terminal y cascada.

Estos cálculos se deben realizar para toda combinación posible: para nodos en cascada en polarización vertical y horizontal y para nodos terminales en polarización vertical y horizontal.

Con estos cálculos se obtiene el margen por lluvia que hay que tener en cuenta, junto con la sensibilidad obtenida por la modulación y la canalización elegida más 5dB por otros desvanecimientos (multitrayecto, gases atmosféricos, etcétera).

4.2.- Cálculo de modulación y elección de canalización

Para enlaces directos, se tiene en cuenta un overhead del 20% respecto a la tasa de bit y para enlaces confluyentes hay un factor de multiplexación de 0.8.

Accediendo en Radiomobile al mapa, se observa que únicamente un enlace es directo (pasando por varios repetidores) y el resto confluye en algún repetidor (o varios), procedemos a calcular su modulación, el plan de canalización y, con ello, su sensibilidad (Anexo 1, figura 2):

Emplazamiento	Tasa de bit (Mbps)	Modulación	Canalización (MHz)	Sensibilidad (dBm)
Cigales-Palencia	48	8PSK	27,5	-81,5
Villanueva-Valderas	36	16QAM	13,75	-83
R4Medina-Villanueva-Valderas	48	8PSK	27,5	-81,5
R5Medina-Medina	60	8PSK	27,5	-81,5
Medina-Villanueva-Valderas	96	32QAM	27,5	-76
Villada-San Martin	48	8PSK	27,5	-81,5
Paredes-San Martin-Villada	72	QPSK	55	-82,5
RVillada – Villada	36	16QAM	13,75	-83
R1 San Martin –San Martin	36	16QAM	13,75	-83

5.-Información de enlaces

Al usar una red por cada vano, hay 25 enlaces, en la siguiente tabla se exponen los datos de canalización elegida, frecuencia de las portadoras (usando las ecuaciones listadas en la recomendación UIT.R F.595-10), altura de las antenas, polarización vertical u horizontal (V o H respectivamente), nivel de recepción, nivel de recepción umbral, modulación, configuración de reserva y la tasa de bit neta en cada vano (Figura 2)

Los nombres tanto de repetidores como de estaciones base son los mismos que encontraremos si accedemos al Radiomobile.

Emplazamiento	Banda/Canalización	Freq. Portadoras (MHz)	Altura antenas (m)	Nivel recepción (dB)	Nivel recepción umbral (dBm)	Modulación	Config. Reserva	Tasa de bit neta a soportar	Polarización
Valderas/R1Valderas	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	16 m/12 m	-47,9	-76,5	16QAM	1+0/1+1	36 Mbps	Vertical
R1 Valderas/Villanueva	18GHz/13, 75MHz	F2= 18607,5 F2= 19617,5	12 m/34 m	-49	-75,8	16QAM	1+1/1+0	36 Mbps	Horizontal
Villanueva/R3 Villanueva	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	16 m/12 m	-64,7	-76	32QAM	1+0/1+1	48 Mbps	Vertical
R3 Villanueva/R2 Villanueva	18GHz/13, 75MHz	F2= 18607,5 F2= 19617,5	12 m/12 m	-52,2	-75,3	32QAM	1+1/1+1	48 Mbps	Horizontal
R2 Villanueva/R1 Villanueva	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	12 m/12 m	-48,6	-75,8	32QAM	1+1/1+1	48 Mbps	Vertical
R1 Villanueva/R4 Medina	18GHz/13, 75MHz	F2= 18607,5 F2= 19617,5	12 m/12 m	-54,6	-74,6	32QAM	1+1/1+1	48 Mbps	Horizontal
Medina /R5 Medina	18GHz/27, 5MHz	F1= 17727,5 F1= 18737,5	18 m/12 m	-50,4	-73,1	8PSK	1+0/1+1	60 Mbps	Horizontal
R5 Medina / R4 Medina	18GHz/27, 5MHz	F3= 17782,5 F3= 18792,5	12 m/12 m	-35,3	-73,9	8PSK	1+1/1+1	60 Mbps	Vertical
R4 Medina / R3 Medina	18GHz/27, 5MHz	F1= 17727,5 F1= 18737,5	12 m/12 m	-52,1	-68,3	32QAM	1+1/1+1	96 Mbps	Horizontal
R3 Medina / R2 Medina	18GHz/27, 5MHz	F2= 17755 F2= 18765	12 m/12 m	-48,7	-69,5	32QAM	1+1/1+1	96 Mbps	Vertical
R2 Medina / R1 Medina	18GHz/27, 5MHz	F1= 17727,5 F1= 18737,5	12 m/12 m	-38,7	-70,8	32QAM	1+1/1+1	96 Mbps	Horizontal
R1 Medina/ Palencia	18GHz/27, 5MHz	F2= 17755 F2= 18765	12 m/24 m	-50	-69,7	32QAM	1+1/1+0	96 Mbps	Vertical
Cigales / R3 Cigales	18GHz/13, 75MHz	F2= 18607,5 F2= 19617,5	16 m/12 m	-43,2	-72,8	32QAM	1+0/1+1	48 Mbps	Horizontal
R3 Cigales / R2 Cigales	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	18 m/12 m	-54,4	-72,7	32QAM	1+1/1+1	48 Mbps	Vertical
R2 Cigales / R1 Cigales	18GHz/13, 75MHz	F2= 18607,5 F2= 19617,5	12 m/12 m	-50,8	-72,7	32QAM	1+1/1+1	48 Mbps	Horizontal
R1 Cigales / Palencia	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	12 m/18 m	-48,6	-72	32QAM	1+1/1+0	48 Mbps	Vertical
Villada / R Villada, Martín	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	28 m/12 m	-44,5	-76,6	16QAM	1+0/1+1	36 Mbps	Vertical
San Martín / R1 San Martín	18GHz/13, 75MHz	F1= 18593,7 F1= 19603,75	22 m/12 m	-46,5	-74,7	16QAM	1+0/1+1	36 Mbps	Vertical
R1 San Martín / R Villada, Martín	18GHz/13, 75MHz	F2= 18607,5 F2= 19617,5	16 m/12 m	-53,7	-76,4	16QAM	1+1/1+1	36 Mbps	Horizontal
R1 Villada, Martín / R1 Villada	18GHz/27, 5MHz	F2= 17755 F2= 18765	12 m/12 m	-51	-75,3	8PSK	1+1/1+1	48 Mbps	Vertical
R1 Villada / Paredes	18GHz/27, 5MHz	F1= 17727,5 F1= 18737,5	12 m/22 m	-59,6	-71,5	8PSK	1+1/1+1	48 Mbps	Horizontal
Paredes / R1 Paredes	18GHz/55 MHz	F1= 17755 F1= 18765	22 m/12 m	-63,7	-76,8	QPSK	1+1/1+1	72 Mbps	Vertical
R1 Paredes / Palencia	18GHz/55 MHz	F2= 17810 F2= 18820	12 m/24 m	-57,6	-70,7	QPSK	1+1/1+0	72 Mbps	Horizontal

Figura 2: Tabla de cada vano.

6.-Diseño

Una vez realizados todos los cálculos por lluvia, sensibilidad, tasa, etcétera y vistos cuántos repetidores hacen falta para que llegue la señal bien con unos valores de prueba, la topología a utilizar es en árbol ya que tenemos un nodo central (Palencia) que debe surtir a diversos nodos repartidos en distintos puntos.

La mayoría en emplazamientos están situados en edificios debido a que tienen una altura inicial, no partimos del nivel del suelo, si suponemos que la altura de los edificios son 10 metros y que las torres se construyen por tramos de 6 metros, se utiliza la altura inicial de 10 metros con una torre de 6 para la mayoría de casos, abaratando los costes ya que la torre es lo más costoso de realizar.

Los repetidores están situados en zonas montañosas accesibles por la misma razón, empezar con una altura inicial y una pequeña torre.

Anexo 1

Antenas utilizadas:

- Antena modelo VHLP2-18/B a frecuencia de 18GHz con 38,9dBi de ganancia, peso de 11Kg y de tamaño 0.6 metros:
<https://www.winncom.com/es/products/Am-2-18-A>

Valores de potencia mínima para una BER de 10^{-6} y para diferentes modulaciones y bandas.

Threshold@10-6 BER [1] [2]	CS (MHz)	13 GHz	15 GHz	18 GHz	26 GHz	38 GHz
QPSK	3,5	-94,5 dBm	-95,5 dBm	-94,5 dBm	-94,0 dBm	-92,0 dBm
8PSK		-90,0 dBm	-90,5 dBm	-89,5 dBm	-89,0 dBm	-87,0 dBm
16QAM		-88,5 dBm	-89,0 dBm	-88,0 dBm	-87,5 dBm	-85,5 dBm
32QAM		-85,0 dBm	-85,0 dBm	-84,0 dBm	-83,5 dBm	-81,5 dBm
64QAM		-82,0 dBm	-82,5 dBm	-81,5 dBm	-81,0 dBm	-79,0 dBm
128QAM						
256QAM						
QPSK	7,5	-92,0 dBm	-93,0 dBm	-92,0 dBm	-91,5 dBm	-89,5 dBm
8PSK		-87,5 dBm	-88,0 dBm	-87,0 dBm	-86,5 dBm	-84,5 dBm
16QAM		-86,0 dBm	-86,5 dBm	-85,5 dBm	-85,0 dBm	-83,0 dBm
32QAM		-82,5 dBm	-82,5 dBm	-81,5 dBm	-81,0 dBm	-79,0 dBm
64QAM		-80,0 dBm	-80,5 dBm	-79,5 dBm	-79,0 dBm	-77,0 dBm
128QAM		-76,5 dBm	-77,0 dBm	-76,0 dBm	-75,5 dBm	-73,5 dBm
256QAM		-73,0 dBm	-74,0 dBm	-73,0 dBm	-72,5 dBm	-70,5 dBm
QPSK	13,75 14	-89,5 dBm	-90,0 dBm	-89,0 dBm	-88,5 dBm	-86,5 dBm
8PSK		-85,0 dBm	-85,5 dBm	-84,5 dBm	-84,0 dBm	-82,0 dBm
16QAM		-83,0 dBm	-84,0 dBm	-83,0 dBm	-82,5 dBm	-80,5 dBm
32QAM		-80,0 dBm	-80,0 dBm	-79,0 dBm	-78,5 dBm	-76,5 dBm
64QAM		-77,0 dBm	-77,5 dBm	-76,5 dBm	-76,0 dBm	-74,0 dBm
128QAM		-74,0 dBm	-74,5 dBm	-73,5 dBm	-73,0 dBm	-71,0 dBm
256QAM		-71,0 dBm	-71,5 dBm	-70,5 dBm	-70,0 dBm	-68,0 dBm
QPSK	28 27,5	-86,5 dBm	-87,5 dBm	-86,5 dBm	-86,0 dBm	-84,0 dBm
QPSK Unified		-86,5 dBm	-87,5 dBm	-86,5 dBm	-86,0 dBm	-84,0 dBm
8PSK		-82,5 dBm	-82,5 dBm	-81,5 dBm	-81,0 dBm	-79,0 dBm
16QAM		-80,5 dBm	-80,5 dBm	-79,5 dBm	-79,0 dBm	-77,0 dBm
16QAM Unified		-80,5 dBm	-80,5 dBm	-79,5 dBm	-79,0 dBm	-77,0 dBm
32QAM		-77,0 dBm	-77,0 dBm	-76,0 dBm	-75,5 dBm	-73,5 dBm
64QAM		-74,0 dBm	-74,5 dBm	-73,5 dBm	-73,0 dBm	-71,0 dBm
128QAM		-71,0 dBm	-71,0 dBm	-70,0 dBm	-69,5 dBm	-67,5 dBm
128QAM (1xSTM1)		-70,0 dBm	-70,0 dBm	-69,0 dBm	-68,5 dBm	-66,5 dBm
256QAM		-68,0 dBm	-68,0 dBm	-67,0 dBm	-66,5 dBm	-64,5 dBm
QPSK	55 56	-83,5 dBm	-83,5 dBm	-82,5 dBm	-82,0 dBm	-80,0 dBm
8PSK		-79,5 dBm	-79,5 dBm	-78,5 dBm	-78,0 dBm	-76,0 dBm
16QAM		-78,0 dBm	-78,3 dBm	-77,3 dBm	-76,8 dBm	-74,8 dBm
16QAM Unified		-78,0 dBm	-78,3 dBm	-77,3 dBm	-76,8 dBm	-74,8 dBm
32QAM		-74,5 dBm	-74,5 dBm	-73,5 dBm	-73,0 dBm	-71,0 dBm
64QAM		-72,0 dBm	-72,0 dBm	-71,0 dBm	-70,5 dBm	-68,5 dBm
128QAM		-68,5 dBm	-68,5 dBm	-67,5 dBm	-67,0 dBm	-65,0 dBm
128QAM (2xSTM1)		-67,0 dBm	-67,0 dBm	-66,0 dBm	-65,5 dBm	-63,5 dBm
256QAM		-66,0 dBm	-66,0 dBm	-65,0 dBm	-64,5 dBm	-62,5 dBm

Figura 1: Valores de potencia mínima para una VER de 10^6 y para diferentes modulaciones y bandas.

	License	x	MHz	Modem Profile	CDU MPT	Net radio throughput (Mbps)	Number of E1	Ethernet throughput Layer 1			Eth. thr. Layer 2
								64 bytes	512 bytes	1518 bytes	
3.5MHz QPSK class 2	40		3.5	QPSK	HC/MC	5.36	2	4.82	4.88	4.89	8.41
3.5MHz 8PSK class 2	40		3.5	8PSK	HC/MC	8.04	3	7.40	7.49	7.51	9.74
3.5MHz 16QAM class 4	40		3.5	16QAM	HC/MC	9.95	4	9.23	9.33	9.36	12.19
3.5MHz 32QAM class 4	40		3.5	32QAM	HC/MC	12.21	5	11.40	11.54	11.57	15.05
3.5MHz 64QAM class 5	40		3.5	64QAM	HC/MC	15.03	6	14.12	14.28	14.32	18.61
7MHz QPSK class 2	40		7	QPSK	HC/MC	9.9	4	9.7	9.6	8.82	11.4
7MHz 8PSK class 2	40		7	8PSK	HC/MC	14.8	6	13.4	13.5	13.57	17.6
7MHz 16QAM class 4	40		7	16QAM	HC/MC	21.2	9	19.1	19.4	19.41	25.1
7MHz 32QAM class 4	40		7	32QAM	HC/MC	26.0	11	23.8	24.1	24.17	31.1
7MHz 64QAM class 5	40		7	64QAM	HC/MC	31.5	13	29.2	29.5	29.57	38.1
7MHz 128QAM class 5	40		7	128QAM	HC/MC	37.4	16	34.9	35.3	35.36	45.8
7MHz 256QAM class 6	40		7	256QAM	HC	42.8	19	40.1	40.6	40.64	52.6
14MHz QPSK class 2	40		14	QPSK	HC/MC	21.3	9	19.6	19.8	19.86	25.7
14MHz 8PSK class 2	40		14	8PSK	HC/MC	31.8	14	29.7	30.0	30.07	38.4
14MHz 16QAM class 4	40		14	16QAM	HC/MC	43.1	19	40.2	40.6	40.73	52.7
14MHz 32QAM class 4	60		14	32QAM	HC/MC	52.0	23	49.7	50.2	50.35	65.2
14MHz 64QAM class 5	60		14	64QAM	HC/MC	64.8	29	61.2	61.9	62.01	80.1
14MHz 128QAM class 5	80		14	128QAM	HC/MC	76.6	34	72.5	73.3	73.50	95.0
14MHz 256QAM class 6	80		14	256QAM	HC	90.1	41	85.5	86.5	86.69	112.2
28MHz QPSK class 2	40		28	QPSK	HC/MC	43.4	19	40.5	41.0	41.08	53.2
28MHz QPSK class 2 "unified"	40		28	QPSK	HC/MC	45.3	20	42.3	42.8	42.87	55.5
28MHz 8PSK class 2	60		28	8PSK	HC/MC	64.7	29	61.1	61.9	61.99	80.1
28MHz 16QAM class 4	80		28	16QAM	HC/MC	86.3	39	82.0	82.7	83.10	107.6
28MHz 16QAM class 4 "unified"	80		28	16QAM	HC/MC	90.6	41	86.0	87.0	87.20	112.9
28MHz 32QAM class 4	100		28	32QAM	HC/MC	110.9	50	103.3	106.7	106.95	138.3
28MHz 64QAM class 5	130		28	64QAM	HC/MC	132.7	60	126.7	128.1	128.41	166.2
28MHz 128QAM class 5	150		28	128QAM	HC/MC	156.8	71	149.9	151.6	151.94	195.7
28MHz 128QAM class 5	150		28	128QAM	HC/MC	158.4	1xSTM1	152.09	153.84	154.21	199.70
28MHz 256QAM class 6	175		28	256QAM	HC	185.8	85	173.7	179.8	180.19	233.3
56 MHz 4QAM class 2 (TBC)	150		56	QPSK	HC	82.0	36	77.7	78.6	78.74	101.9
56 MHz 16QAM class 4	150		56	16QAM	HC	164.5	75	157.1	158.9	159.28	206.2
56 MHz 16QAM class 4 "unified"	300		56	16QAM	HC	166.6	76	159.0	160.9	161.23	208.7
56 MHz 32QAM class 4	300		56	32QAM	HC	201.7	92	192.9	195.1	195.58	253.2
56 MHz 64QAM class 5	300		56	64QAM	HC	239.7	119	248.7	251.6	252.17	326.3
56 MHz 128QAM class 5	300		56	128QAM	HC	306.0	141	294.1	297.5	298.10	386.0
56 MHz 128QAM class 5	300		56	128QAM	HC	315.13	2xSTM1	302.85	306.34	307.06	397.57
56 MHz 256QAM class 6	350		56	256QAM	HC	349.1	160	334.0	338.7	339.45	439.5

Figura 2: Throughput para diferentes modulaciones y anchos de banda