



Instituto Politécnico Nacional



*Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y
Tecnologías Avanzadas*

Sistemas celulares

Tarea 2

Profesor

Olivia Alva Vargas

Alumno

Alvarado Balbuena Jorge Anselmo

Grupo

2TV7

23/09/2019

Índice

1. Conetxto	3
2. Análisis	4
2.1. Área del patrón de radiación	4
2.2. Niveles de comunicación	5
2.3. Establecimiento de células	6
3. Análisis y asignación de frecuencias	8
3.1. Asignación de frecuencias	9
4. Análisis de áreas vulnerables	10
5. Cálculos de eficiencia espectral y cantidad de llamadas	11
6. Conclusión	12
7. Anexo	13
7.1. Rutina	13
7.2. Mapa	18

Índice de figuras

1. AMPS.	3
2. Evolución demográfica.	4
3. Cardiode.	4
4. Tabla de referencia.	8
5. Método i, j.	8
6. Tabla Erlang A.	11

Índice de tablas

1. Niveles de recepción.	5
2. Estudio.	7
3. Distribución de canales.	9

1. Conetxto

El siguiente análisis tiene por objetivo diseñar una red celular bajo el marco de trabajo AMPS que cubra el municipio de Nezahualcóyotl que fue el área de estudio del trabajo anterior. Advanced Mobile Phone Service (AMPS) es un sistema estándar para el servicio de telefonía celular con señal analógica.

AMPS asigna rangos de frecuencia dentro del espectro de 800 y 900 Megahertz (MHz) al teléfono celular. Cada proveedor de servicios puede utilizar la mitad de la gama de 824-849 MHz para recibir señales de teléfonos celulares y la mitad de la gama de 869-894 MHz para transmitir a teléfonos celulares. Las bandas se dividen en sub-bandas de 30 kHz, llamadas canales. Los canales de recepción se denominan canales inversos y los canales de envío se denominan canales de avance. La división del espectro en canales de sub-banda se consigue utilizando el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

Las señales recibidas de un transmisor cubren un área llamada célula. A medida que un usuario se mueve fuera del área de la célula hacia una célula adyacente, el usuario comienza a captar las señales de la nueva célula sin ninguna transición notable. Las señales en la célula adyacente son enviadas y recibidas en canales diferentes a las señales de la célula anterior para que las señales no interfieran entre sí.

A continuación se presenta un diagrama general del concepto.

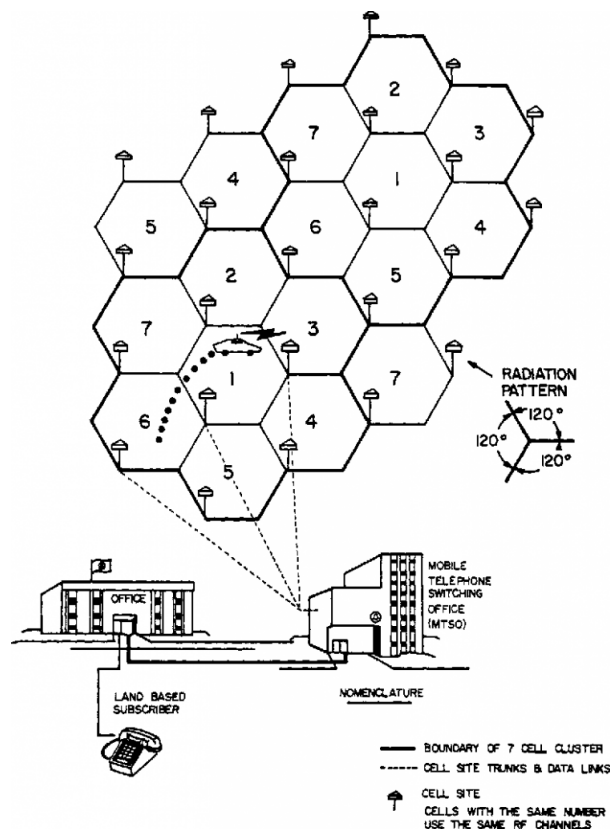


Figura 1: AMPS.

Las condiciones iniciales del estudio parten de la época de los 80s, que fue cuando AMPS fue introducido a México. Es así como se propone que el estimado de población usuaria de un dispositivo móvil presente en la región sea del 5 % de la población actual. De acuerdo con información publicada por el INEGI, la población actual del municipio es de 1,228,654 habitantes. Este supuesto nos deja con una población usuaria de un dispositivo celular sea de 61432.7 personas. Otra condición importante para señalar es el de evitar radiar las zonas de escuelas, hospitales, parques, cementerios y zonas inhabitadas, por mencionar algunas.

Evolución demográfica de Nezahualcóyotl

1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
580,436	1,341,230	1,255,456	1,233,681	1,225,972	1,136,300	1,104,585	1,039,867	1,228,654

Figura 2: Evolución demográfica.

2. Análisis

Como se mencionó en la sección anterior hay zonas que no se busca que sean radiadas. Estas áreas se mostrarán sombreadas dentro del mapa que se anexará al estudio. Otro dato importante que debe obtenerse es el área del patrón de radiación que tendrá la antena.

2.1. Área del patrón de radiación

Teniendo como referencia la siguiente imagen, se obtiene el área del cardiode.

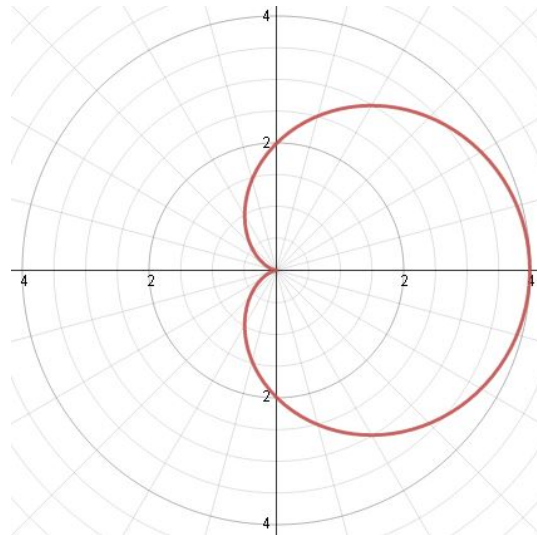


Figura 3: Cardiode.

Partiendo de la siguiente expresión.

$$A = \int_0^{\pi} \rho^2 d\theta = \frac{3}{2} a^2 \pi \quad (1)$$

Y resolviendo para a .

$$a^2 = \frac{2(1km^2)}{3\pi} = 212.2 m^2 \quad (2)$$

Es así como el área del cardiode cubre un área de $212.2 m^2$.

2.2. Niveles de comunicación

Tomando como referencia los niveles de recepción vistos en clase, se proponen los siguientes intervalos para el estudio.

P_{Rx} [dB]	Niveles de comunicación
[0, -40]	Comunicación buena
[-41, -70]	Comunicación normal
[-71, -90]	Alta posibilidad de perdida de comunicación

Tabla 1: Niveles de recepción.

Lo que se pretende es ofrecer un servicio normal de comunicación, por lo que el siguiente paso es encontrar la distancia, la cual permitirá una comunicación normal, es decir, que la potencia de recepción (P_{Rx}) tenga un valor aproximado a -70dB.

Partiendo de los datos del estudio anterior.

Datos del estudio anterior.

- hb: 19m.
- hm: 1.7m.
- d: 462.94m.
- f: 900 MHz.
- $L_o=84.817$ dB.
- P_{Tx} : 0.1 W.
- G_{Rx} : 4.6 dB.
- G_{Tx} : 14.56 dB.
- P_{Rx} : -57.46 dBm.

Y de la siguientes expresiones.

$$L_o = 32.44 + 20 \log f MHz + 20 \log d Km \quad (3)$$

$$P_{Rx} = \left(\frac{hb * hm}{d^2}\right)^2 \left(\frac{G_{Tx} * G_{Rx}}{L_0}\right) P_{Tx} \quad (4)$$

Resolviendo para d y tomando de referencia el estudio anterior se obtiene que la distancia a la cual el nivel de comunicación está en el límite de la potencia de recepción de -70dB es de 936.5 metros.

$$L_o = 32.44 + 20 \log 900MHz + 20 \log 0.9365Km = 90.915 \text{ dB} \quad (5)$$

$$P_{Rx} = \left(\frac{19 * 1.7}{936.5^2}\right)^2 \left(\frac{14.56 * 4.6}{L_0}\right) 0.1 = 9.992x10^{-11}W \quad (6)$$

$$P_{Rx} = 10 \log \frac{P_{Rx}}{0.001} = -70dB \quad (7)$$

2.3. Establecimiento de células

Se tomará como punto de referencia el ayuntamiento del municipio, el cual puede considerarse una zona de interés la cual debe contar con un buen servicio de comunicación. A partir de ahí, se colocarán las células tomando en cuenta la áreas que no deben radiarse.

Se presenta una tabla donde se exponen los parámetros usados en la expresión número 6, con su respectiva potencia de recepción. La rutina usada para calcular las potencias de recepción se muestra en el anexo de este estudio.

Clúster	Célula	Sector	hb[m]	d[m]	G_{Tx} [dB]	G_{Rx} [dB]	L_o [dB]	P_{Rx} [dB]
1	1	1	21	936.5	14.56	4.6	90.92	-69.13
1	1	2	20	930	14.56	4.6	90.85	-69.43
1	1	3	20	950	14.56	4.6	91.04	-69.81
1	2	1	19	930	14.56	4.6	90.85	-69.88
1	2	2	19.5	940	14.56	4.6	90.95	-69.84
1	2	3	20	938	14.56	4.6	90.93	-69.59
1	3	1	22	935	14.56	4.6	90.9	-68.7
1	4	1	22	920	14.56	4.6	90.76	-68.41
1	5	1	20	936	14.56	4.6	90.91	-69.55
1	5	2	19	938	14.56	4.6	90.93	-70.03
1	6	1	19	940	14.56	4.6	90.95	-70.07
1	6	2	19.5	933	14.56	4.6	90.88	-69.71
1	7	1	21	930	14.56	4.6	90.85	-69.01
1	7	2	20	935	14.56	4.6	90.9	-69.53
2	1	1	19	937	14.56	4.6	90.92	-70.01
2	1	2	20	936	14.56	4.6	90.91	-69.55
2	1	3	22	938	14.56	4.6	90.93	-68.76
2	2	1	24	940	14.56	4.6	90.95	-68.04
2	3	1	25	936	14.56	4.6	90.91	-67.61
2	3	2	22	942	14.56	4.6	90.97	-68.83
2	3	3	21	950	14.56	4.6	91.04	-69.39
2	4	1	19	937	14.56	4.6	90.92	-70.01
2	4	2	19.5	938	14.56	4.6	90.93	-69.81
2	5	1	26	937	14.56	4.6	90.92	-67.29
2	5	2	25	936.5	14.56	4.6	90.92	-67.62
2	6	1	20	940	14.56	4.6	90.95	-69.62

Tabla 2: Estudio.

3. Análisis y asignación de frecuencias

Una vez establecidas las células, sigue la asignación y reutilización de frecuencias. Esta tarea se realizará con el método $[i, j]$, estudiado en clase. Se tomará como base un clúster formado por 7 células. Así, los valores que tomarán i y j son 1 y 2 respectivamente. La siguiente imagen muestra la tabla en la cual se basa esta propuesta.

$j \backslash i$	0	1	2	3	4	5	6
1	1	3					
2	4	7	12				
3	9	13	19	21			
4	16	21	28	37	48		
5	25	31	39	49	61	75	
6	36	43	52	63	76	91	108

Figura 4: Tabla de referencia.

Este método indica, que al tomar una célula de referencia se deberá desplazarse dos células en j y una en i . Por conveniencia se tomará la célula central como se muestra en la siguiente figura. Esto asegura que no exista un traslape en las frecuencias asignadas a los sectores de las células.

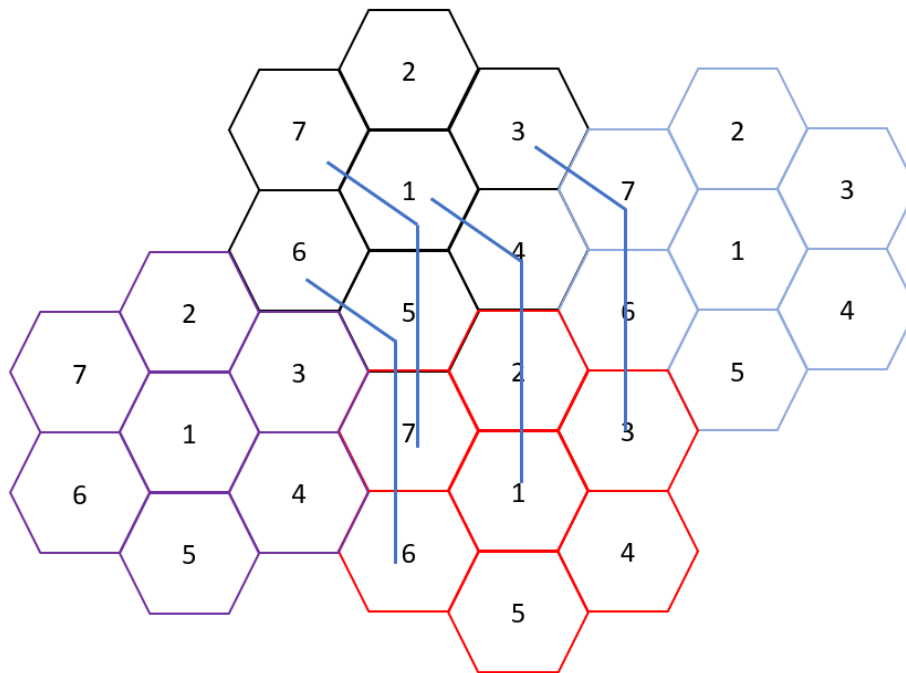


Figura 5: Método i, j .

Es importante señalar que el procedimiento que se muestra en la imagen anterior es ideal y no siempre se podrá seguir de manera exacta. Para el caso particular de este estudio, la distribución geográfica del municipio y la distribución de las zonas que no se deben radiar impiden aplicar este método al pie de la letra. Pero se sigue teniendo presente el objetivo de este método, que es el de evitar traslapes en la distribución de canales en los sectores de las células.

3.1. Asignación de frecuencias

La siguiente tabla muestra la asignación de frecuencias.

Clúster	Célula	Sector	Número de canales	Canales
1	1	1	95	[1,31]
1	1	2		[32,63]
1	1	3		[64,95]
1	2	1	95	[96,127]
1	2	2		[128,159]
1	2	3		[160,191]
1	3	1	95	[192,287]
1	4	1	95	[288,383]
1	5	1	95	[384,431]
1	5	2		[432,479]
1	6	1	95	[480,527]
1	6	2		[528,575]
1	7	1	95	[576,623]
1	7	2		[624,671]
2	1	1	95	[1,31]
2	1	2		[32,63]
2	1	3		[64,95]
2	2	1	95	[96,191]
2	3	1	95	[192,223]
2	3	2		[224,255]
2	3	3		[256,287]
2	4	1	95	[288,335]
2	4	2		[336,383]
2	5	1	95	[384,431]
2	5	2		[432,479]
2	6	1	95	[480,575]

Tabla 3: Distribución de canales.

4. Análisis de áreas vulnerables

El análisis de las áreas vulnerables se hará con fundamento en que deben de ser áreas no deben ser radiadas y no tengan cobertura indirecta de los sectores. Las áreas mas vulnerables que se analizaron son las siguientes. Los siguientes resultados también fueron calculados con la rutina anexada.

Clúster 1

Escuela Secundaria Oficial no. 219 Benjamín Hernández

d=945.4m $P_{Rx}=-69.3\text{dB}$

Escuela Secundaria Federalizada Telpuchcalli

d=945.4m $P_{Rx}=-75.9\text{dB}$

Telesecundaria 10 Amado Nervo

d=945.4m $P_{Rx}=-72.79\text{dB}$

Escuela Telesecundaria Lic. José Vasconcelos

d=945.4m $P_{Rx}=-70.65\text{dB}$

Escuela Secundaria General Dr. Jaime Torres Bodet

d=945.4m $P_{Rx}=-62.69\text{dB}$

Escuela Secundaria Técnica 105 Calpulli

d=945.4m $P_{Rx}=-66.93\text{dB}$

Preparatoria Colegio de la Comunidad de Cd. Nezahualcóyotl

d=945.4m $P_{Rx}=-70.3\text{dB}$

Clúster 2

Escuela Primaria Guadalupe Victoria

d=945.4m $P_{Rx}=-64.79\text{dB}$

Escuela Secundaria Técnica 9 Julián Carrillo

d=945.4m $P_{Rx}=-74.13\text{dB}$

Escuela Preparatoria Oficial No. 86.

d=945.4m $P_{Rx}=-74.27\text{dB}$

Reclusorio Femenil Tepozanes

d=945.4m $P_{Rx}=-72.16\text{dB}$

Cementerio Los Rosales

d=945.4m $P_{Rx}=-82.26\text{dB}$

Panteón Municipal d=945.4m $P_{Rx}=-74.41\text{dB}$

Del análisis anterior se concluye que a pesar de ser zonas vulnerables, aun es posible tener una comunicación aceptable.

5. Cálculos de eficiencia espectral y cantidad de llamadas

Para la decada de los 80s y con el sistema AMPS, se propone un grado de servicio (GoS) de 80 %.

$$\frac{100 - GoS}{100} = \frac{100 - 80}{100} = 0.2 \quad (8)$$

Este valor es buscado en la tabla de Erlang A.

300	273.49	274.80	276.01	277.13	285.71	292.12	302.62	324.98	370.28	497.53	300
301	274.46	275.78	276.98	278.10	286.71	293.13	303.66	326.09	371.52	499.20	301
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
n	Probabilidad de pérdida (E)										n

Figura 6: Tabla Erlang A.

Para los dos clústeres ($N_c=2$) que se tienen, hay un total de 1342 canales ($n_c=1342$).

Con estos valores se puede calcular el numero total de Erlangs para el numero de canales que se tienen.

$$n = 301 \Rightarrow A = 371.52 \text{ Erlang}$$

$$n_c = 1342 \Rightarrow A_c = 1656.411 \text{ Erlang}$$

- BW_{CH} : 30kHz = 0.03MHz.
- BW_{Sis} : 24MHz.
- Área: 46.74 km^2 .

Ahora sustituyendo los datos anteriores en las expresiones de la eficiencia espectral.

$$\eta = \frac{1}{BW_{CH} * N_C * \text{Área}} = \frac{1}{30 * 2 * 46.74} = 356.582 \mu [CH/MHz/km^2] \quad (9)$$

$$\eta = \frac{A \text{ Erlang}}{BW_{Sis} * \text{Área}} = \frac{1656.411}{24 * 46.74} = 1.476 [Erlang * MHz * km^2] \quad (10)$$

Ahora se obtendrá el numero de llamadas con la siguiente expresión.

$$A = \frac{N * \bar{t}}{h_p} \quad (11)$$

Resolviendo para N.

$$N = \frac{A * h_p}{\bar{t}} = \frac{1656.411 * 3600}{180} = 33128.22 \text{ llamadas} \quad (12)$$

Con esta nueva información y recrodando el dato anterior del número de usuarios en la decada de los 80s, se obtiene la relación de llamadas de 3min(180s) que puede hacer un usuario en una hora(3600s).

$$\frac{N}{p(80s)} = \frac{61432}{33128} = 1.854 \left[\frac{\text{llamadas}}{\text{usuarios}} \right] \quad (13)$$

Este número decimal puede indicarnos que un usuario puede empezar una segunda llamada, pero será liberada forzadamente después de un tiempo.

6. Conclusión

Revisando los resultados obtenidos se puede observar que el diseño propuesto no cumple los requerimientos para que los usuarios de la red realicen una llamada con éxito. Revisando el diseño de la red, se puede sugerir un mayor número de células más cerca entre sí. Es importante recordar que el municipio de Nezahualcóyotl es una de las regiones con mayor densidad poblacional del país. Se debe considerar este dato, ya que cada célula debe de dar servicio a un gran número de usuarios.

7. Anexo

7.1. Rutina

```

1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Text;
4
5 namespace PotenciaRecepcion
6 {
7     internal static class Program
8     {
9         public static void Main()
10         {
11             var potencias = new List<Potencia>
12             {
13                 // Cluster 1 Celula 1
14                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
15                 21, Hm = 1.7, D = 936.5, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
16                 = 900 },
17                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 2, Hb =
18                 20, Hm = 1.7, D = 930, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
19                 = 900 },
20                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 3, Hb =
21                 20, Hm = 1.7, D = 950, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
22                 = 900 },
23
24                 // Cluster 1 Celula 2
25                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 2, NumeroSector = 1, Hb =
26                 19, Hm = 1.7, D = 930, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
27                 = 900 },
28                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 2, NumeroSector = 2, Hb =
29                 19.5, Hm = 1.7, D = 940, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
30                 = 900 },
31                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 2, NumeroSector = 3, Hb =
32                 20, Hm = 1.7, D = 938, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
33                 = 900 },
34
35                 // Cluster 1 Celula 3
36                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 3, NumeroSector = 1, Hb =
37                 22, Hm = 1.7, D = 935, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
38                 = 900 },
39
40                 // Cluster 1 Celula 4
41                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 4, NumeroSector = 1, Hb =
42                 22, Hm = 1.7, D = 920, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
43                 = 900 },
44
45                 // Cluster 1 Celula 5
46                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 5, NumeroSector = 1, Hb =
47                 20, Hm = 1.7, D = 936, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
48                 = 900 },
49                 new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 5, NumeroSector = 2, Hb =
50                 19, Hm = 1.7, D = 938, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
51                 = 900 },
52             }
53         }
54     }
55 }

```

```

32      // Cluster 1 Celula 6
33      new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 6, NumeroSector = 1, Hb =
34      19, Hm = 1.7, D = 940, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
35      new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 6, NumeroSector = 2, Hb =
        19.5, Hm = 1.7, D = 933, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        = 900 },
36
37      // Cluster 1 Celula 7
38      new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 7, NumeroSector = 1, Hb =
        21, Hm = 1.7, D = 930, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
39      new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 7, NumeroSector = 2, Hb =
        20, Hm = 1.7, D = 935, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
40
41      // Cluster 2 Celula 1
42      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
        19, Hm = 1.7, D = 937, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
43      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 2, Hb =
        20, Hm = 1.7, D = 936, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
44      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 3, Hb =
        22, Hm = 1.7, D = 938, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
45
46      // Cluster 2 Celula 2
47      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 2, NumeroSector = 1, Hb =
        24, Hm = 1.7, D = 940, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
48
49      // Cluster 2 Celula 3
50      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 3, NumeroSector = 1, Hb =
        25, Hm = 1.7, D = 936, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
51      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 3, NumeroSector = 2, Hb =
        22, Hm = 1.7, D = 942, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
52      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 3, NumeroSector = 3, Hb =
        21, Hm = 1.7, D = 950, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
53
54      // Cluster 2 Celula 4
55      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 4, NumeroSector = 1, Hb =
        19, Hm = 1.7, D = 937, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        900 },
56      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 4, NumeroSector = 2, Hb =
        19.5, Hm = 1.7, D = 938, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
        = 900 },
57
58      // Cluster 2 Celula 5
59      new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 5, NumeroSector = 1, Hb =
        26, Hm = 1.7, D = 937, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =

```

```

900 },
60         new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 5, NumeroSector = 2, Hb =
25, Hm = 1.7, D = 936.5, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
61
62         // Cluster 2 Celula 6
63         new Potencia {NumeroCluster = 2, NumeroCelula = 6, NumeroSector = 1, Hb =
20, Hm = 1.7, D = 940, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F =
900 },
64     };
65
66     var vulnerables = new List<Potencia>
67     {
68         // Cluster 1
69         // Celula 1
70         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 945.4, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
71
72         // Celula 2
73         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1370, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
74
75         // Celula 3
76         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1150, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
77
78         // Celula 4
79         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1020, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
80
81         // Celula 5
82         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 652.05, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1,
F = 900 },
83
84         // Cluster 6
85         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 827.47, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1,
F = 900 },
86
87         // Celula 7
88         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1000, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
89
90         // Cluster 2
91         // Celula 1
92         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 733.64, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1,
F = 900 },
93

```

```

94         // Celula 2
95         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1240, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
96
97         // Celula 3
98         new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1250, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
99
100        // Celula 4
101        new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1110, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
102
103        // Celula 5
104        new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1960, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
105
106        // Cluster 6
107        new Potencia {NumeroCluster = 1, NumeroCelula = 1, NumeroSector = 1, Hb =
21, Hm = 1.7, D = 1260, GtxDbi = 17.7, Gtx = 14.56, GrxDbi=9, Grx = 4.6, Ptx = 0.1, F
= 900 },
108    };
109
110    var reglones = new StringBuilder();
111    var vulnerable = new StringBuilder();
112
113    foreach (var potencia in potencias)
114    {
115        var lo = Math.Round((32.4 + 20 * Math.Log10(potencia.F) + 20 * Math.Log10(
potencia.D / 1000)), 2);
116        var prx = Math.Pow((potencia.Hb * potencia.Hm) / Math.Pow(potencia.D, 2),
2) *
117            ((potencia.Gtx * potencia.Grx) / lo) * potencia.Ptx;
118        potencia.Prx = 10 * Math.Log10(prx / 0.001);
119
120        reglones.Append($"{potencia.NumeroCluster} & {potencia.NumeroCelula} & {
potencia.NumeroSector} & " +
121            $"{potencia.Hb} & {potencia.D} & {potencia.Gtx} & {
potencia.Grx} & " +
122            $"{lo} & {Math.Round(potencia.Prx, 2)} \\\\ \\hline" +
Environment.NewLine);
123    }
124
125    foreach (var potencia in vulnerables)
126    {
127        var lo = Math.Round((32.4 + 20 * Math.Log10(potencia.F) + 20 * Math.Log10(
potencia.D / 1000)), 2);
128        var prx = Math.Pow((potencia.Hb * potencia.Hm) / Math.Pow(potencia.D, 2),
2) *
129            ((potencia.Gtx * potencia.Grx) / lo) * potencia.Ptx;
130        potencia.Prx = 10 * Math.Log10(prx / 0.001);
131    }

```



```
132         vulnerable.Append($"{potencia.NumeroCluster} & {potencia.NumeroCelula} & {  
133         potencia.NumeroSector} & " +  
134         $"{potencia.Hb} & {potencia.D} & {potencia.Gtx} & {  
135         potencia.Grx} & " +  
136         $"{lo} & {Math.Round(potencia.Prx, 2)} \\\n \\\nline" +  
137         Environment.NewLine);  
138     }  
139     var rows = reglones.ToString();  
140     var rows2 = vulnerable.ToString();  
141 }  
142 private class Potencia  
143 {  
144     public double Hb { get; set; }  
145     public double Hm { get; set; }  
146     public double D { get; set; }  
147     public double GtxDbi { get; set; }  
148     public double Gtx { get; set; }  
149     public double GrxDbi { get; set; }  
150     public double Grx { get; set; }  
151     public double Ptx { get; set; }  
152     public double F { get; set; }  
153     public double Prx { get; set; }  
154  
155     public int NumeroCluster { get; set; }  
156     public int NumeroCelula { get; set; }  
157     public int NumeroSector { get; set; }  
158 }  
159 }  
160 }
```

7.2. Mapa