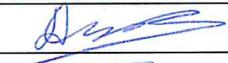
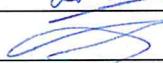
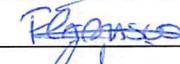
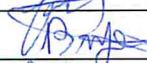
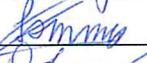
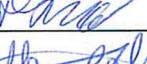
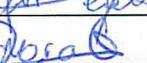
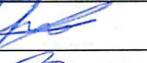
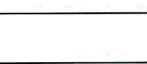
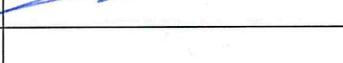


**udp** FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y CIENCIAS

CONTROL DE ASISTENCIA

TIPO DE EVALUACIÓN: EXAMEN DE TITULACIÓN

FECHA:	07/06/2023	HORA:	9:00 AM
CARRERA:	ING. INF. Y TELECOM	PROFESOR:	CARLOS GARCÍA
ASIGNATURA:		CODIGO:	
SALA:	LAB. INFORMATICA	Nº ALUMNOS:	

Nº	NOMBRE	RUT	FIRMA
1	Diego Alejandro Bocerra Lopez	18638976-K	
2	Nicolás Esteban Reyes Correa	19137861-K	
3	Francisca Lamasco Barañao	19431852-9	
4	Felipe Espinoza Ortega	19672243-3	
5	Benjamín Rojas Latorre	19953459-0	
6	Tommy Ríos Ildi	20898902-2	
7	Diego Lagos	19.648.854-5	
8	Fler Callon	14761190-0	
9	Diana Pizarro	18431083-K	
10	José Cormo	20124155-3	
11	Héctor Saravia	19.647.829-9	
12	Diego Vencillas	19421868-0	
13	Ricardo Caballero	19721.864-9	
14	Nicolás Porro Moreno	19648502-3	
15	Cristóbal Urna Piñón	19644357-8	
16			
17			
18			
19			
20			
21			

22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			



Universidad Diego Portales  
Escuela de Ingeniería en Informática y Telecomunicaciones  
Examen de Titulación - Redes de Datos y Telecomunicaciones

07 de junio de 2023

Nombre: CRISTÓBAL URRA B.

RUT: 19644373-8

Puntaje: 173 puntos

## 1. Pregunta de Desarrollo:

### 1.1. Introducción

Este examen de título tiene solo un escenario sobre el cual se realizarán una serie de preguntas. Cada una de ellas DEBE tener un desarrollo que justifique su respuesta.

La empresa de distribución eléctrica ENEL tiene una serie de subestaciones eléctricas en distintas comunas de la región metropolitana. Cada subestación tiene varios servicios de datos que entregan la continuidad operacional a la subestación. A nivel de *networking* una subestación puede ser considerada como una oficina remota de ENEL y cada servicio de datos puede ser visto como una subred.

### 1.2. Consideraciones de diseño para radio enlaces

En esta sección se explican todas las consideraciones a la hora de diseñar los enlaces de radiofrecuencia. Se utilizará el equipo punto a punto (PtP) de la marca *Ubiquity* modelo *airFiber 5XHD*. El manual del equipo puede encontrarse en la sección 2.1.

- Todas las subestaciones tienen una torre de comunicaciones de 54 metros de altura.
- El edificio Headquarter de ENEL tiene una altura de 60 metros. Su azotea puede ser utilizada para instalar equipos.
- En su diseño considere que todas las subestaciones tienen LOS (Line of sight) a 54 metros de altura.
- La frecuencia de operación (frecuencia de la portadora) de los equipos de radio es 5200 MHz
- La constante para la velocidad de la luz es de 299792458 m/s.
- La potencia máxima a utilizar es de 15 dBm (*Suggested Max. TX Power*).
- Siempre utilice canales con un ancho de banda de 100 MHz (ver tabla *TDD Capacity (Mbps)* en el manual de la sección 2.1)
- Siempre utilice la antena con la menor ganancia necesaria (siempre que sus cálculos lo permitan), ya que así evita sobrecargar la torre de comunicaciones.
- Siempre utilice la misma antena en ambos extremos del enlace.

El manual de los equipos de radio enlace microondas puede ser encontrado en la sección 2.1. Este manual tiene varios términos que es importante aclarar:

- *Suggested Max. TX Power*: Es la potencia máxima sugerida. La potencia máxima que escoge depende de la tasa de modulación o *modulation rate*. Por ejemplo, si escoge un *modulation rate* de 8X podrá transmitir con una potencia máxima de 22 dBm.
- *Receive Sensitivity (dBm)*: Es la mínima potencia de la señal de radio que el equipo puede operar. Si la potencia es más baja que este valor, no es posible establecer una comunicación exitosa.
- *TDD Capacity (Mbps)*: Esta tabla indica la capacidad en Mbps que soporta el enlace tanto de subida como bajada. Esta capacidad depende del *Modulation Coding Scheme (MCS)*. Por ejemplo, si se escoge una modulación de 16QAM MIMO y se utiliza un ancho de banda de canal de 100 MHz, podrá transmitir a una tasa máxima de 218,88 Mbps.
- En el mismo manual existe un listado de las antenas que se pueden utilizar con estos equipos de radio
  - AF-5G23-S45: antena directiva con una ganancia de 23 dBi.
  - AF-5G30-S45: antena directiva con una ganancia de 30 dBi.
  - AF-5G34-S45: antena directiva con una ganancia de 34 dBi.

La figura 1 muestra la ubicación geográfica de las subestaciones en el mapa de Santiago de Chile.



Figura 1: Ubicación de las subestaciones de ENEL utilizadas en este examen

La tabla del cuadro 1 muestra la distancia entre las distintas subestaciones.

Cuadro 1: Matriz de distancias (metros) para las subestaciones en estudio.

Nombre	S/E Santa Rosa Sur	S/E Santa Raquel	S/E Florida	S/E La Reina	S/E Santa Elena	Headquarter ENEL
S/E Santa Rosa Sur	0	3600	6250	13690	11980	15880
S/E Santa Raquel	3600	0	5450	10430	8390	12320
S/E Florida	6250	5450	0	9640	10010	14700
S/E La Reina	13690	10430	9640	0	4350	7720
S/E Santa Elena	11980	8390	10010	4350	0	4730
Headquarter ENEL	15880	12320	14700	7720	4730	0

### 1.3. Consideraciones de diseño para equipamiento de red

- El equipo de radio *airFiber 5XHD* se comporta como un switch. Por lo tanto al crear un enlace punto a punto es como que conecte dos switch.
- Para todas las subestaciones la distancia entre la sala de comunicaciones (donde está el gabinete para la instalación de equipos) y la base de la torre es de 50 metros.
- La distancia entre la azotea del edificio ENEL y el datacenter en el mismo edificio es de 200 metros (el datacenter está en el subterráneo).

Cada servicio de datos en cada subestación debe ser tratado como una subred. La siguiente lista muestra todos los servicios disponibles:

- Telefonía:** Teléfonos IP ubicados en distintas oficinas dentro de cada subestación.
- Videovigilancia de Seguridad:** Cámaras de video IP encargadas de la seguridad perimetral de la subestación .
- Red de datos para usuarios administrativos (RDUA):** Red de computadores para personal de mantenimiento y operación en terreno. Se utiliza principalmente para entregar acceso a Internet y a servidores ubicados en los *datacenters* de ENEL en Santiago de Chile.

- **Servicio de control SCADA:** Sensores y actuadores responsables de la apertura y cierre de interruptores eléctricos. medidores de corriente y voltaje.

La lista de *hosts* para cada servicio en cada subestación se muestra en la tabla del cuadro 2.

Cuadro 2: Cantidad de hosts por servicio y por subestación (sin contar default gateway)

Cantidad de hosts (sin contar default gateway)	Telefonía	Videovigilancia de Seguridad	Red de datos para usuarios administrativos (RDUA)	Servicio de control SCADA
S/E Santa Rosa Sur	1	5	10	28
S/E Santa Raquel	2	5	10	30
S/E Florida	1	5	13	28
S/E La Reina	2	2	11	40
S/E Santa Elena	1	2	10	20

## 1.4. Preguntas

### 1.4.1. Diseño de la capa de transporte

- Utilizando el equipo de red mostrado en la sección 2.1, diseñe la red de enlaces punto a punto microondas entre las siguientes subestaciones: (*30 puntos en total*)

- a) Headquarter ENEL y S/E La Reina
- b) Headquarter ENEL y S/E Santa Elena
- c) S/E La Reina y S/E Florida
- d) S/E Santa Elena y S/E Santa Raquel
- e) S/E Santa Raquel y S/E Florida
- f) S/E Santa Raquel y S/E Santa Rosa Sur

Considerando maximizar la tasa de transferencia (Mbps). Para cada enlace se debe calcular:

- Ganancia de antenas en ambos extremos. (2 puntos por enlace)
- Potencia de recepción en cada extremo (2 punto por enlace)
- Capacidad del enlace agregado (en Mbps)<sup>1</sup> (1 punto por enlace)

### 1.4.2. Diseño de la capa de red

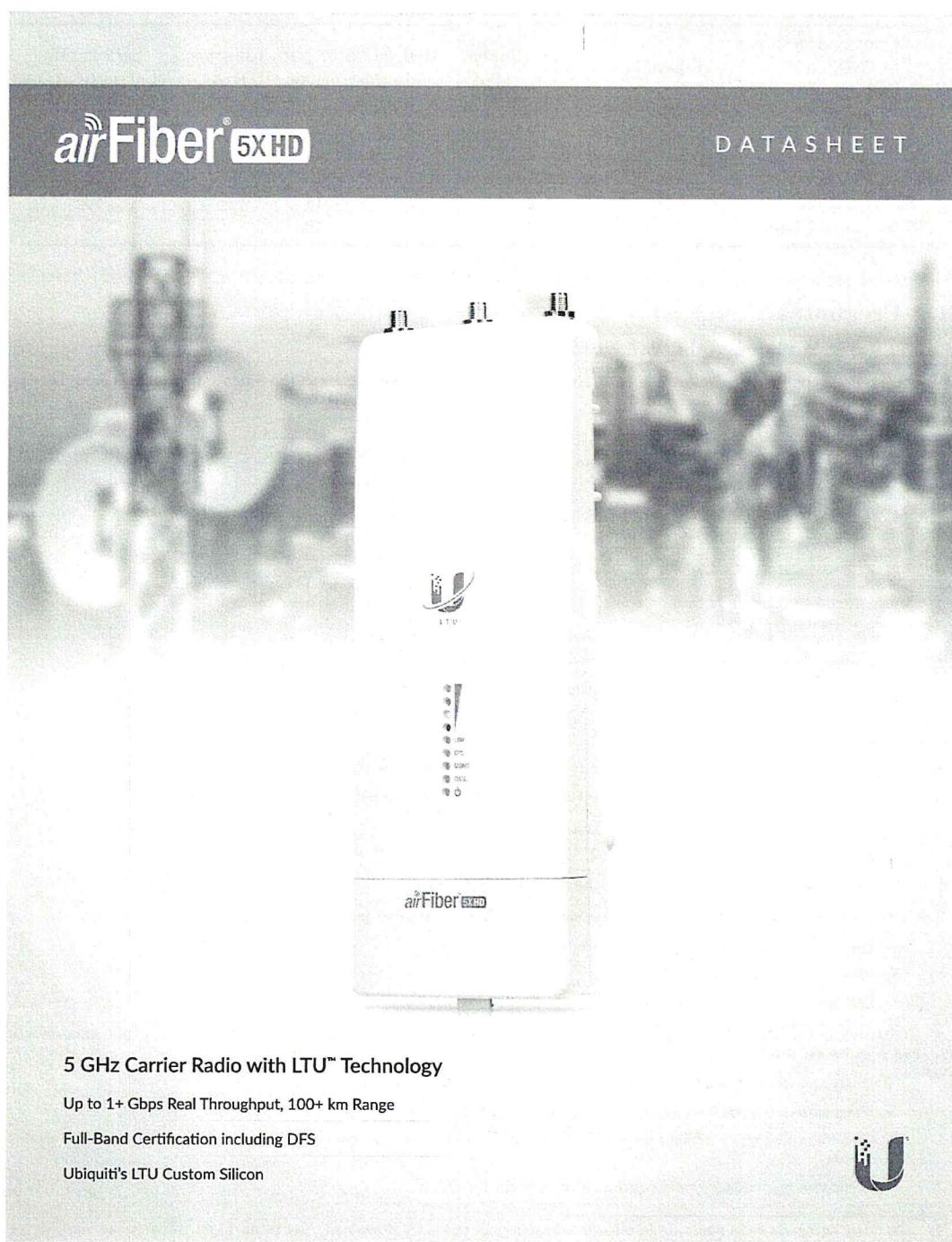
Para las siguientes preguntas considere que le han entregado la red 10.20.48.0/20 para poder subdividirla.

- Calcule para cada servicio en la tabla del cuadro 2 los siguientes parámetros: (*60 puntos en total*)
  - Dirección de subred. (1 punto por cada servicio)
  - Máscara de subred. (1 punto por cada servicio)
  - Dirección IP del *default gateway*. (1 punto por cada servicio)
- Calcule para cada enlace punto a punto los siguientes parámetros: (*28 puntos en total*)
  - Dirección de subred. (1 punto por cada enlace)
  - Máscara de subred. (1 punto por cada enlace)
  - Dirección IP de cada extremo. (1 punto por cada extremo)
- Construya la topología de red lógica de toda la red, considerando routers y switch necesarios. La topología debe incluir: (*55 puntos en total*)
  - Diagrama de red para cada subestación (5 puntos por subestación)
  - Diagrama de red de los enlaces microondas (5 puntos por enlace)
  - Considere que en el edificio de ENEL existe un Router al cual se conectan los enlaces de microondas ubicados en la azotea.
  - Considere que cada servicio equivale a un switch.

<sup>1</sup>la capacidad agregada es la suma de la tasa de transferencia upload y download. Ver tabla TDD Capacity en sección 2.1

## 2. Anexos

### 2.1. Equipos de Radio





## DATASHEET

**Deployment Flexibility**

The AF-5XHD can be used with existing airFiber slant-polarized antennas for improved noise immunity and Signal-to-Noise Ratio (SNR). It is compatible with multiple Ubiquiti airFiber X antennas offering gain of 23 to 34 dBi. The compact form factor of the AF-5XHD allows it to fit into the radio mount of airFiber X antennas, so installation requires no special tools.

**airFiber X Antenna Model Summary**

The airFiber X antennas are purpose-built with 45° slant polarity for seamless integration with the AF-5XHD. Pair the AF-5XHD with one of the following airFiber X antennas:



	AF-5G23-S45	AF-5G30-S45	AF-5G34-S45
Freq.	5 GHz	5 GHz	5 GHz
Gain	23 dBi	30 dBi	34 dBi

**RocketDisk Model Summary**

You can also pair the AF-5XHD with one of the RocketDisk antennas shown below using the included Universal Bracket or by using a kit to convert the RocketDisk to 45° slant polarity.



	RD-5G30	RD-5G34
Freq.	5 GHz	5 GHz
Gain	30 dBi	34 dBi

**Conversion Kit**

The 5 GHz RocketDisk to airFiber Antenna Conversion Kit (model AF-5G-OMT-S45) converts the RocketDisk RD-5G30 or RD-5G34 antenna for use with the AF-5XHD.



Suggested Max. TX Power	
12x	12 - 15 dBm
10x	19 - 20 dBm
8x	21 - 22 dBm
6x	23 - 24 dBm
4x	29 dBm
2x	29 dBm
1x	29 dBm

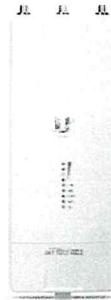
Modulation Rate	Modulation	Receive Sensitivity (dBm)							
		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
12x	4096QAM	-56	-53	-51	-49	-47	-44	-42	-39
10x	1024QAM	-66	-63	-61	-59	-57	-55	-53	-51
8x	256QAM	-72	-69	-67	-65	-63	-61	-59	-57
6x	64QAM	-78	-75	-73	-71	-69	-67	-65	-63
4x	16QAM MIMO	-84	-81	-79	-77	-75	-73	-71	-69
2x	QPSK MIMO	-88	-85	-83	-82	-81	-80	-79	-78
1x	½ Rate QPSK xRT	-90	-87	-85	-84	-83	-82	-81	-80



## SPECIFICATIONS

		TDD Capacity (Mbps)*								
		Channel Width								
MCS		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz	
QPSK SISO	Upload	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72	
	Download	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72	
	Aggregate	<b>11.52</b>	<b>24.32</b>	<b>36.48</b>	<b>48.64</b>	<b>59.52</b>	<b>70.40</b>	<b>90.88</b>	<b>109.44</b>	
QPSK MIMO	Upload	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44	
	Download	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44	
	Aggregate	<b>23.04</b>	<b>48.64</b>	<b>72.96</b>	<b>97.28</b>	<b>119.04</b>	<b>140.80</b>	<b>181.76</b>	<b>218.88</b>	
16 QAM MIMO	Upload	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88	
	Download	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88	
	Aggregate	<b>46.08</b>	<b>97.28</b>	<b>145.92</b>	<b>194.56</b>	<b>238.08</b>	<b>281.60</b>	<b>363.52</b>	<b>437.76</b>	
64 QAM MIMO	Upload	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64	328.32	
	Download	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64	328.32	
	Aggregate	<b>69.12</b>	<b>145.92</b>	<b>218.88</b>	<b>291.84</b>	<b>357.12</b>	<b>422.40</b>	<b>545.28</b>	<b>656.64</b>	
256 QAM MIMO	Upload	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76	
	Download	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76	
	Aggregate	<b>92.16</b>	<b>194.56</b>	<b>291.84</b>	<b>389.12</b>	<b>476.16</b>	<b>563.20</b>	<b>727.04</b>	<b>875.52</b>	
1024 QAM MIMO	Upload	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40	547.20	
	Download	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40	547.20	
	Aggregate	<b>115.20</b>	<b>243.20</b>	<b>364.80</b>	<b>486.40</b>	<b>595.20</b>	<b>704.00</b>	<b>908.80</b>	<b>1,094.40</b>	
4096 QAM MIMO	Upload	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64	
	Download	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64	
	Aggregate	<b>138.24</b>	<b>291.84</b>	<b>437.76</b>	<b>583.68</b>	<b>714.24</b>	<b>844.80</b>	<b>1,090.56</b>	<b>1,313.28</b>	

\* For 2 ms frame length



Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at [ubnt.com/support/warranty](#).  
 The limited warranty covers the use of Ubiquiti products on an individual basis, and is not applicable to third party products or services.  
 © 2012-2020 Ubiquiti Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti U logo, the Ubiquiti bean logo, airFiber, airMAX, airOS, airCloud, LRU, NanoStation, Prism, Rocket, RocketDish, UniFi, and iFi are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and in other countries. Aipilot and the Aipilot logo are trademarks of Aipilot Inc., registered in the U.S. and other countries. Android, Google, Google Play, and other marks are trademarks of Google LLC. All other trademarks are the property of their respective owners.



## Hoja de Respuesta

1.4.1

distancias entre estaciones

$$2 - Head Quarter FNCI - S/E La reina = 7720 [m]$$

$$3 - Head Quarter FNCI - S/E SANTA ELENA = 4730 [m]$$

$$4 - S/E LA REINA - S/E LA FLORIDA = 9640 [m]$$

$$5 - S/E SANTA ELENA - S/E LA FLORIDA = 8390 [m]$$

$$6 - S/E SANTA ELENA - S/E LA FLORIDA = 5450 [m]$$

$$7 - S/E SANTA ELENA - S/E SANTA ROSA SUR = 3600 [m]$$

Como todas las Torres DC Subsistanciales alcanzan los 84 m, para tener los, solo nos preocupamos de verificar que las distancias de transmisión entre antenas de cada torre sea igual o mayor a la distancia real.

$$\Rightarrow \sqrt{2R_{h_1}} + \sqrt{2R_{h_2}} \geq 7720 [m]$$

$$\Rightarrow \sqrt{2 \cdot (8497 \times 10^3 [m]) \cdot 60 [m]} + \sqrt{2 \cdot (8497 \times 10^3 [m]) \cdot 54 [m]} \geq 7720$$

$$\Rightarrow 31931,80 [m] + 30293,16 [m] \geq 7720 [m]$$

$$\Rightarrow 62224,96 [m] \geq 7720 [m] \checkmark$$

## Hoja de Respuesta

Para edificio b (Head Quarter ENEL y S/E suiza Eleca) tiene las mismas características que el edificio A (alturas de 60[m] y 54[m]), por lo que podemos decir que:

$$d_b \Rightarrow 62224,96 [m] \geq 4730 [m] \checkmark$$

$$\begin{aligned} d_c &\Rightarrow \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 [m]} \cdot 54 [m] \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 [m] \cdot 54 [m]} \geq 9640 [m] \\ &\Rightarrow 60586,33 [m] \geq 9640 [m] \checkmark \end{aligned}$$

Para los edificios D, E y F, tienen las mismas alturas que el edificio C (tanto de 54m), por lo que podemos decir que:

$$d_D \Rightarrow 60586,33 [m] \geq 8390 [m] \checkmark$$

$$d_E \Rightarrow 60586,33 [m] \geq 5450 [m] \checkmark$$

$$d_F \Rightarrow 60586,33 [m] \geq 3600 [m] \checkmark$$

Una vez verificadas las distancias de transmisión podemos calcular la Pr, G y Bitrate de cada edificio

## Hoja de Respuesta

AS CONDICIONES QUE NOS ENTREGAN SON LAS SIGUIENTES:

- Usar una potencia max sugerida de 15 [dBm]
- Trabajar con canales de ancho de banda de 100 [MHz]
- Con portadoras de los equipos de radio con frecuencias de 5200 [MHz]
- Trabajar con las antenas AF-SG23-S45, AF-SG30-S45 O A-SG34-S45

CON LA DE MEJOR FRANJA DE SER POSIBLE.

Considerando esto tenemos que:

$$Pr = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{299792458 \left[ \frac{m}{s} \right]}{100 \times 10^6 \left[ \frac{Hz}{s} \right]} = 2,99792458 \left[ m \right]$$

$$\Rightarrow P_t = 15 \text{ [dBm]} \Rightarrow 10^{\frac{15}{10}} \text{ [mW]} = 31,6 \text{ [mW]}$$

$$= 31,6 \times 10^3 \text{ [W]}$$

AL TENER QUE USAR UNA POTENCIA MÁXIMA SUGERIDA DE 15 [dBm], SEGÚN EL CATÁLOGO, DEBEMOS USAR UN MODULACIÓN RATE DE 12x, Y CONSIDERANDO QUE EL TENER QUE USAR UNA MODULACIÓN DE 4096 QAM Y -39 [dBm] DE

## Hoja de Respuesta

SUS medidas de recepción, y una TDD capacity de 656.64 [mbps] de upload y download, y 1513,28 [mbps] de aggregate.

Ahora analizan las antenas a usar y las ganancias, tenemos que usar la misma antena para cada extremo de cada enlace, siendo las conexiones de los enlaces, gráficamente así:

Head Office ENEL



Al tener tantas interconexiones, implica usar la misma antena para todos los puntos, y por ende la misma ganancia, lo que implica  $G_T = G_R \Rightarrow G^2$

## Hoja de Respuesta

$$\therefore P_r = \frac{31,6 \text{ [mW]} \cdot G^2 \cdot 29,9792 \text{ [m]}}{(4\pi d)^2}$$

Sabiendo que la P recepción no puede ser menor a  $-39 \text{ [dBm]}$  queremos probar que antenas sea 6 m. Necesitamos multiplicar los enlaces

a)  $\frac{31,6 \text{ [mW]} \cdot G^2 \cdot 29,9792 \text{ [m]}}{(4\pi \cdot 6)^2} \quad |G = 23 \text{ dBi} = 10^{\frac{23}{10}} = 199,53 \text{ veces}$

$\therefore G = 199,53 \text{ veces} \Rightarrow P_r = 0,11202 \text{ [mW]} \Rightarrow 10 \log(0,11202) = -9,02 \text{ [dBm]}$

$P_r = -9,02 \text{ [dBm]} \geq -39 \text{ [dBm]}$

b)  $\frac{31,6 \text{ [mW]} \cdot G^2 \cdot 29,9792 \text{ [m]}}{(4\pi \cdot 4730)^2} \quad (G = 199,53 \text{ veces})$

$P_r = 0,326 \text{ [mW]} \Rightarrow -9,98 \text{ [dBm]}$

$P_r = -9,94 \text{ [dBm]} \geq -39 \text{ [dBm]}$

## Hoja de Respuesta

$$c) \frac{31,6 \text{ [mW]} G^2 \cdot 29,9792 \text{ [m]}^2}{(4\pi \cdot 9640)^2} \quad / G = 199,53 \text{ veces}$$

$$\Rightarrow P_r = 0,0321 \text{ [mW]} \Rightarrow -14,12 \text{ [dBm]}$$

$$P_r = -14,12 \text{ [dBm]} \geq -39 \text{ [dBm]}$$

$$d) \frac{31,6 \text{ [mW]} \cdot 29,9792 \text{ [m]}^2 \cdot G^2}{(4\pi \cdot 8390 \text{ [m]})^2} \quad / G = 199,53 \text{ veces}$$

$$\Rightarrow P_r = 0,0128 \text{ [mW]} \Rightarrow -21,92 \text{ [dBm]}$$

$$P_r = -21,92 \text{ [dBm]} \geq -39 \text{ [dBm]} \quad \checkmark$$

$$e) \frac{31,6 \text{ [mW]} \cdot 29,9792 \text{ [m]}^2 \cdot G^2}{(4\pi \cdot 5450 \text{ [m]})^2} \quad / G = 199,53 \text{ veces}$$

$$\Rightarrow P_r = 0,0241 \text{ [mW]} \Rightarrow -16,77 \text{ [dBm]}$$

$$\Rightarrow P_r = -16,77 \text{ [dBm]} \geq -39 \text{ [dBm]} \quad \checkmark$$

$$t) \frac{3,6 \text{ [m} \omega \text{]} \cdot 6^2 \cdot 29,9792^2 \text{ [m]}}{(4\pi \cdot 3600)^2} \quad | G = 199,53 \text{ veces}$$

$$Pr = 0,553 \text{ [J} \omega \text{]} \Rightarrow -2,572 \text{ [dBm]}$$

$$Pr = -2,572 \text{ [dBm]} \geq -39 \text{ [dBm]}$$

1.4.2

Cristóbal Urre

Calcularemos un VLSM con una subred para servicio  
y edificios (punto 2 punto) (4 octetos de mayor o igual)

2.1. S/E Santa Agnés

Nombre subred:

S/E Santa Agnés - SCADA

Dirección de Subred = 10.20.48.0 /26

MASCARA de subred = 255.255.255.192

Dirección IP GATEWAY: 10.28.48.1

2. Nombre subred: S/E Santa Agnés - SCADA

Dirección de Subred = 10.20.48.48 /27

MASCARA de subred = 255.255.255.224

Dirección IP GATEWAY = 10.20.48.68

3. Subred: S/E Santa Rosa sur SCADA

Dirección de Subred = 10.20.48.96 /27

MASCARA de subred = 255.255.255.224

De DEFAULT GATEWAY = (10.20.48.97)

4. Subnet = S/E LA Florida Scans

Dir. Summed = 10.20.48.128 /27

MASK = 255.255.255.224

IP Gateway = 10.20.48.129

5. Subnet S/E Santa Ana Scans

Dir. Summed = 10.20.48.160 /27

MASK = 255.255.255.255.224

IP Gateway = 10.20.48.161

6. Subnet = S/E Florida NDU

Dir. Summed = 10.20.48.192 /28

MASK = 255.255.255.240

IP Gateway = 10.20.48.193

7. Summed = S/E LA news NDU

Dir Summed = 10.20.48.208 /28

MASK = 255.223.255.240

IP Gateway = 10.20.48.222

8. Sumred : Sanz Rosa RDVA

Dvr Sumred = 10.20.48.224 /28

Mask = 255.255.255.240

IP Gateway = 10.20.48.285

9. Sumred : Sanz Negra RDVA

Dvr Sumred = 10.20.48.240 /28

Mask = 255.255.255.240

IP, Gateway = 10.20.48.241

10. Sumred = Santa Evans RDVA

Dvr Sumred = 10.20.49.0 /28

Mask = 255.255.255.240

IP Gateway = 10.20.49.1

Cristobal Vaz

A Sureed :



Universidad Diego Portales  
Escuela de Ingeniería en Informática y Telecomunicaciones  
Examen de Titulación - Redes de Datos y Telecomunicaciones

07 de junio de 2023

Nombre: Nicolás Posse Morcino

RUT: 19642502-3

Puntaje: 173 puntos

## 1. Pregunta de Desarrollo:

### 1.1. Introducción

Este examen de título tiene solo un escenario sobre el cual se realizarán una serie de preguntas. Cada una de ellas DEBE tener un desarrollo que justifique su respuesta.

La empresa de distribución eléctrica ENEL tiene una serie de subestaciones eléctricas en distintas comunas de la región metropolitana. Cada subestación tiene varios servicios de datos que entregan la continuidad operacional a la subestación. A nivel de *networking* una subestación puede ser considerada como una oficina remota de ENEL y cada servicio de datos puede ser visto como una subred.

### 1.2. Consideraciones de diseño para radio enlaces

En esta sección se explican todas las consideraciones a la hora de diseñar los enlaces de radiofrecuencia. Se utilizará el equipo punto a punto (PtP) de la marca *Ubiquity* modelo *airFiber 5XHD*. El manual del equipo puede encontrarse en la sección 2.1.

- Todas las subestaciones tienen una torre de comunicaciones de 54 metros de altura.
- El edificio Headquarter de ENEL tiene una altura de 60 metros. Su azotea puede ser utilizada para instalar equipos.
- En su diseño considere que todas las subestaciones tienen LOS (Line of sight) a 54 metros de altura.
- La frecuencia de operación (frecuencia de la portadora) de los equipos de radio es 5200 MHz
- La constante para la velocidad de la luz es de 299792458 m/s.
- La potencia máxima a utilizar es de 15 dBm (*Suggested Max. TX Power*).
- Siempre utilice canales con un ancho de banda de 100 MHz (ver tabla *TDD Capacity (Mbps)* en el manual de la sección 2.1)
- Siempre utilice la antena con la menor ganancia necesaria (siempre que sus cálculos lo permitan), ya que así evita sobrecargar la torre de comunicaciones.
- Siempre utilice la misma antena en ambos extremos del enlace.

El manual de los equipos de radio enlace microondas puede ser encontrado en la sección 2.1. Este manual tiene varios términos que es importante aclarar:

- ***Suggested Max. TX Power***: Es la potencia máxima sugerida. La potencia máxima que escoge depende de la tasa de modulación o *modulation rate*. Por ejemplo, si escoge un *modulation rate* de 8X podrá transmitir con una potencia máxima de 22 dBm.
- ***Receive Sensitivity (dBm)***: Es la mínima potencia de la señal de radio que el equipo puede operar. Si la potencia es más baja que este valor, no es posible establecer una comunicación exitosa.
- ***TDD Capacity (Mbps)***: Esta tabla indica la capacidad en Mbps que soporta el enlace tanto de subida como bajada. Esta capacidad depende del *Modulation Coding Scheme (MCS)*. Por ejemplo, si se escoge una modulación de 16QAM MIMO y se utiliza un ancho de banda de canal de 100 MHz, podrá transmitir a una tasa máxima de 218,88 Mbps.
- En el mismo manual existe un listado de las antenas que se pueden utilizar con estos equipos de radio
  - AF-5G23-S45: antena directiva con una ganancia de 23 dBi.
  - AF-5G30-S45: antena directiva con una ganancia de 30 dBi.
  - AF-5G34-S45: antena directiva con una ganancia de 34 dBi.

La figura 1 muestra la ubicación geográfica de las subestaciones en el mapa de Santiago de Chile.

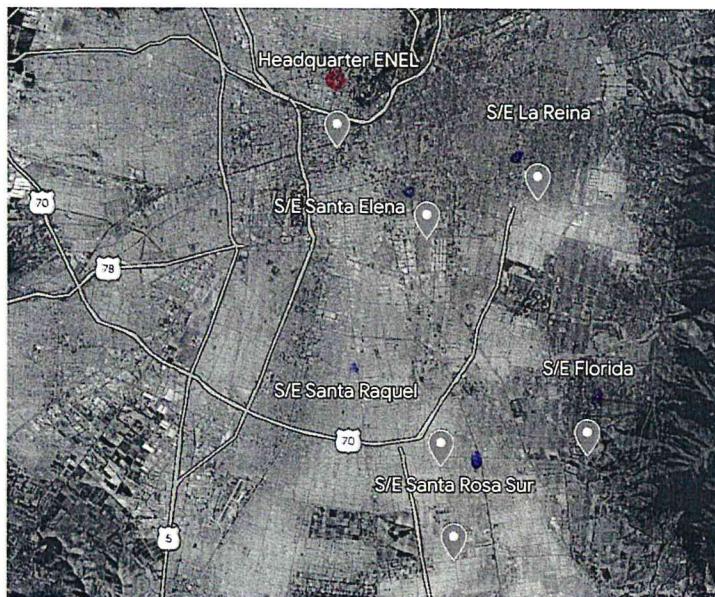


Figura 1: Ubicación de las subestaciones de ENEL utilizadas en este examen

La tabla del cuadro 1 muestra la distancia entre las distintas subestaciones.

Cuadro 1: Matriz de distancias (metros) para las subestaciones en estudio.

Nombre	S/E Santa Rosa Sur	S/E Santa Raquel	S/E Florida	S/E La Reina	S/E Santa Elena	Headquarter ENEL
S/E Santa Rosa Sur	0	3600	6250	13690	11980	15880
S/E Santa Raquel	3600	0	5450	10430	8390	12320
S/E Florida	6250	5450	0	9640	10010	14700
S/E La Reina	13690	10430	9640	0	4350	7720
S/E Santa Elena	11980	8390	10010	4350	0	4730
Headquarter ENEL	15880	12320	14700	7720	4730	0

### 1.3. Consideraciones de diseño para equipamiento de red

- El equipo de radio *airFiber 5XHD* se comporta como un switch. Por lo tanto al crear un enlace punto a punto es como que conecte dos switch.
- Para todas las subestaciones la distancia entre la sala de comunicaciones (donde está el gabinete para la instalación de equipos) y la base de la torre es de 50 metros.
- La distancia entre la azotea del edificio ENEL y el datacenter en el mismo edificio es de 200 metros (el datacenter está en el subterráneo).

Cada servicio de datos en cada subestación debe ser tratado como una subred. La siguiente lista muestra todos los servicios disponibles:

- Telefonía:** Teléfonos IP ubicados en distintas oficinas dentro de cada subestación.
- Videovigilancia de Seguridad:** Cámaras de video IP encargadas de la seguridad perimetral de la subestación .
- Red de datos para usuarios administrativos (RDUA):** Red de computadores para personal de mantenimiento y operación en terreno. Se utiliza principalmente para entregar acceso a Internet y a servidores ubicados en los datacenters de ENEL en Santiago de Chile.

- **Servicio de control SCADA:** Sensores y actuadores responsables de la apertura y cierre de interruptores eléctricos, medidores de corriente y voltaje.

La lista de *hosts* para cada servicio en cada subestación se muestra en la tabla del cuadro 2.

Cuadro 2: Cantidad de hosts por servicio y por subestación (sin contar default gateway)

Cantidad de hosts (sin contar default gateway)	Telefonía	Videovigilancia de Seguridad.	Red de datos para usuarios administrativos (RDUA)	Servicio de control SCADA
S/E Santa Rosa Sur	1	5	10	28
S/E Santa Raquel	2	5	10	30
S/E Florida	1	5	13	28
S/E La Reina	2	2	11	40
S/E Santa Elena	1	2	10	20

## 1.4. Preguntas

### 1.4.1. Diseño de la capa de transporte

- Utilizando el equipo de red mostrado en la sección 2.1, diseñe la red de enlaces punto a punto microondas entre las siguientes subestaciones: (*30 puntos en total*)

- a) Headquarter ENEL y S/E La Reina
- b) Headquarter ENEL y S/E Santa Elena
- c) S/E La Reina y S/E Florida
- d) S/E Santa Elena y S/E Santa Raquel
- e) S/E Santa Raquel y S/E Florida
- f) S/E Santa Raquel y S/E Santa Rosa Sur

Considerando maximizar la tasa de transferencia (Mbps). Para cada enlace se debe calcular:

- Ganancia de antenas en ambos extremos. (2 puntos por enlace)
- Potencia de recepción en cada extremo (2 punto por enlace)
- Capacidad del enlace agregado (en Mbps)<sup>1</sup> (1 punto por enlace)

### 1.4.2. Diseño de la capa de red

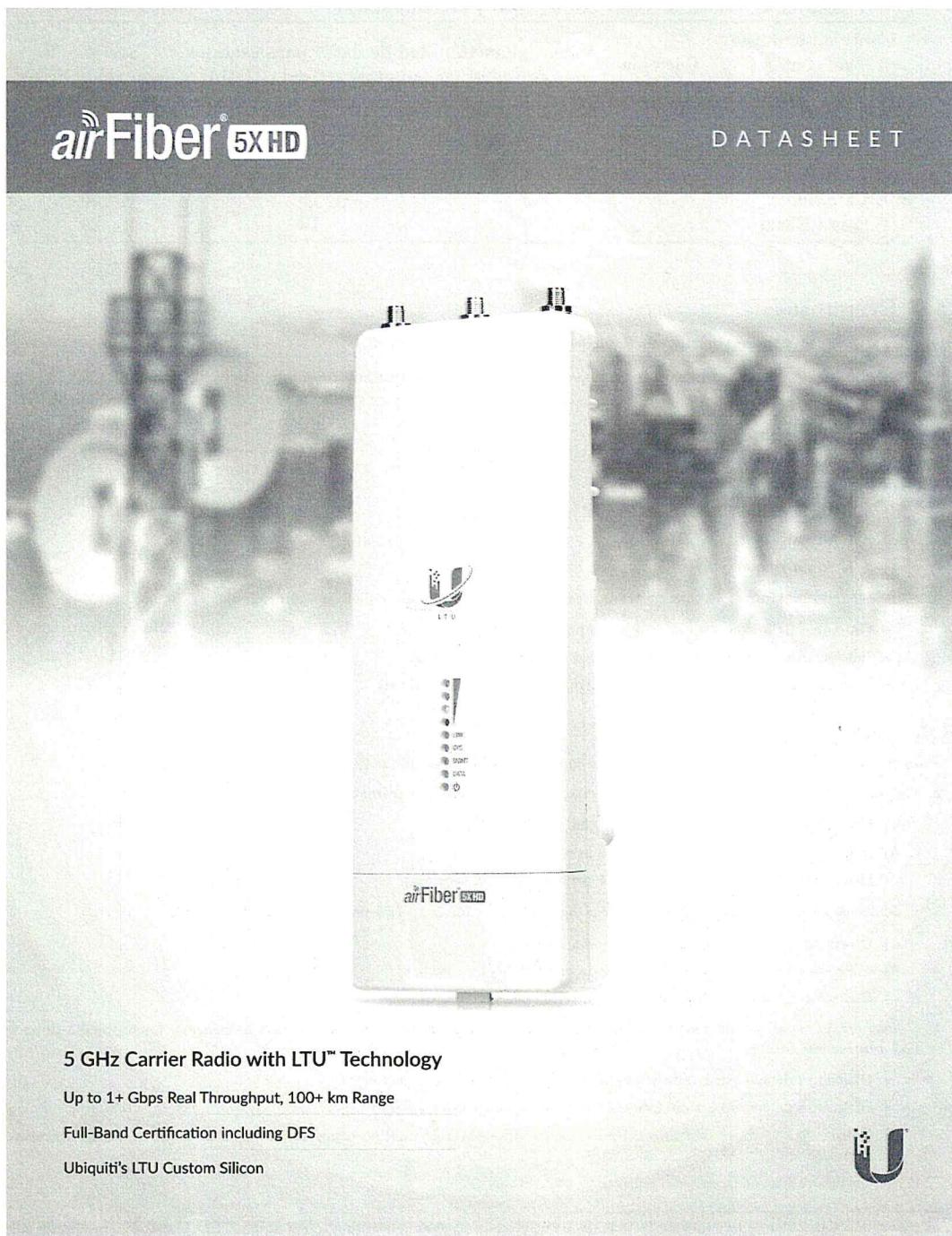
Para las siguientes preguntas considere que le han entregado la red 10.20.48.0/20 para poder subdividirla.

- Calcule para cada servicio en la tabla del cuadro 2 los siguientes parámetros: (*60 puntos en total*)
  - Dirección de subred. (1 punto por cada servicio)
  - Máscara de subred. (1 punto por cada servicio)
  - Dirección IP del *default gateway*. (1 punto por cada servicio)
- Calcule para cada enlace punto a punto los siguientes parámetros: (*28 puntos en total*)
  - Dirección de subred. (1 punto por cada enlace)
  - Máscara de subred. (1 punto por cada enlace)
  - Dirección IP de cada extremo. (1 punto por cada extremo)
- Construya la topología de red lógica de **toda la red**, considerando routers y switch necesarios. La topología debe incluir: (*55 puntos en total*)
  - Diagrama de red para cada subestación (5 puntos por subestación)
  - Diagrama de red de los enlaces microondas (5 puntos por enlace)
  - Considera que en el edificio de ENEL existe un Router al cual se conectan los enlaces de microondas ubicados en la azotea.
  - Considera que cada servicio equivale a un switch.

<sup>1</sup>la capacidad agregada es la suma de la tasa de transferencia upload y download. Ver tabla TDD Capacity en sección 2.1

## 2. Anexos

### 2.1. Equipos de Radio





## DATASHEET

**Deployment Flexibility**

The AF-5XHD can be used with existing airFiber slant-polarized antennas for improved noise immunity and Signal-to-Noise Ratio (SNR). It is compatible with multiple Ubiquiti airFiber X antennas offering gain of 23 to 34 dBi. The compact form factor of the AF-5XHD allows it to fit into the radio mount of airFiber X antennas, so installation requires no special tools.

**airFiber X Antenna Model Summary**

The airFiber X antennas are purpose-built with 45° slant polarity for seamless integration with the AF-5XHD. Pair the AF-5XHD with one of the following airFiber X antennas:



	AF-5G23-S45	AF-5G30-S45	AF-5G34-S45
Freq.	5 GHz	5 GHz	5 GHz
Gain	23 dBi	30 dBi	34 dBi

**RocketDish Model Summary**

You can also pair the AF-5XHD with one of the RocketDish antennas shown below using the included Universal Bracket or by using a kit to convert the RocketDish to 45° slant polarity.



	RD-5G30	RD-5G34
Freq.	5 GHz	5 GHz
Gain	30 dBi	34 dBi

**Conversion Kit**

The 5 GHz RocketDish to airFiber Antenna Conversion Kit (model AF-5G-OMT-S45) converts the RocketDish RD-5G30 or RD-5G34 antenna for use with the AF-5XHD.



# en c/sob estación NB wh. router

Suggested Max. TX Power	
12x	12 - 15 dBm
10x	19 - 20 dBm
8x	21 - 22 dBm
6x	23 - 24 dBm
4x	29 dBm
2x	29 dBm
1x	29 dBm

Modulation Rate	Modulation	Sensitivity							
		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
12x	4096QAM	-56	-53	-51	-49	-47	-44	-42	-39
10x	1024QAM	-66	-63	-61	-59	-57	-55	-53	-51
8x	256QAM	-72	-69	-67	-65	-63	-61	-59	-57
6x	64QAM	-78	-75	-73	-71	-69	-67	-65	-63
4x	16QAM MIMO	-84	-81	-79	-77	-75	-73	-71	-69
2x	QPSK MIMO	-88	-85	-83	-82	-81	-80	-79	-78
1x	½ Rate QPSK xRT	-90	-87	-85	-84	-83	-82	-81	-80





## SPECIFICATIONS

		TDD Capacity (Mbps)*							
		Channel Width							
MCS		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
QPSK SISO	Upload	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72
	Download	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72
	Aggregate	<b>11.52</b>	<b>24.32</b>	<b>36.48</b>	<b>48.64</b>	<b>59.52</b>	<b>70.40</b>	<b>90.88</b>	<b>109.44</b>
QPSK MIMO	Upload	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44
	Download	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44
	Aggregate	<b>23.04</b>	<b>48.64</b>	<b>72.96</b>	<b>97.28</b>	<b>119.04</b>	<b>140.80</b>	<b>181.76</b>	<b>218.88</b>
16 QAM MIMO	Upload	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88
	Download	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88
	Aggregate	<b>46.08</b>	<b>97.28</b>	<b>145.92</b>	<b>194.56</b>	<b>238.08</b>	<b>281.60</b>	<b>363.52</b>	<b>437.76</b>
64 QAM MIMO	Upload	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64	328.32
	Download	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64	328.32
	Aggregate	<b>69.12</b>	<b>145.92</b>	<b>218.88</b>	<b>291.84</b>	<b>357.12</b>	<b>422.40</b>	<b>545.28</b>	<b>656.64</b>
256 QAM MIMO	Upload	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76
	Download	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76
	Aggregate	<b>92.16</b>	<b>194.56</b>	<b>291.84</b>	<b>389.12</b>	<b>476.16</b>	<b>563.20</b>	<b>727.04</b>	<b>875.52</b>
1024 QAM MIMO	Upload	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40	547.20
	Download	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40	547.20
	Aggregate	<b>115.20</b>	<b>243.20</b>	<b>364.80</b>	<b>486.40</b>	<b>595.20</b>	<b>704.00</b>	<b>908.80</b>	<b>1,094.40</b>
4096 QAM MIMO	Upload	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64
	Download	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64
	Aggregate	<b>138.24</b>	<b>291.84</b>	<b>437.76</b>	<b>583.68</b>	<b>714.24</b>	<b>844.80</b>	<b>1,090.56</b>	<b>1,313.28</b>

\* For 2 ms frame length

656.64 Mbps

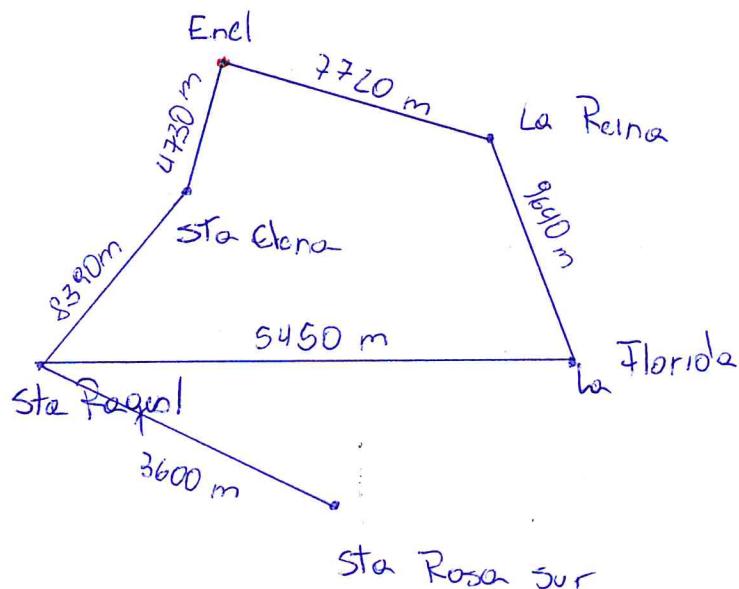


Specifications are subject to change. Ubiquiti products and solutions are a limited trademark of Ubiquiti Networks Inc.  
The limited warranty covers the use of the equipment for its intended purpose in an indoor environment, and, where applicable, strictly prohibits misuse of the unit or other actions  
that may damage the equipment. Ubiquiti, the Ubiquiti logo, airMAX, airMAX Lite, airMAX Cloud, airMAX Instant, airMAX Rocket, RocketDish, UBIQUITI, and SST are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and in other countries. Apple and the Apple logo are trademarks of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries. App Store is a service mark of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries. Android, Google, Google Play, the Google Play logo and other marks are trademarks of Google LLC. All other trademarks are the property of their respective owners.



## Hoja de Respuesta

Diseno capa  
de transporte



$$P_r = \frac{P + G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

a) Enel - La Reina

del enlace, antenas

- Se utiliza para ambos extremos con ganancia 23 dBi cada una
- La distancia total del enlace es:

$$d_1 = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot h_{Enel}}$$

$$d_1 = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot 60}$$

$$d_1 = 31931,8 \text{ m}$$

$$d_2 = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot h_{subestación}}$$

$$d_2 = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot 54}$$

$$d_2 = 30293,1 \text{ m}$$

$$d_t = 62224,9 \text{ m}$$

- La longitud de onda es:

$$\lambda = \frac{c}{f_s} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{299792458}{5200 \times 10^6} \text{ m/s}$$

$$\lambda = 0,057 \text{ m}$$

### Hoja de Respuesta

- La potencia de recepción utilizando la máxima potencia de transmisión (~~45dBm = 31,62 mW~~) . Antenas con ganancia 23 dBi (199,52 veces) cada una

$$\cancel{P_r = \frac{31,62 \cdot (199)^2 \cdot (0,057)^2}{(4\pi \cdot 62224,9)^2}}$$

$$\cancel{= 6,653 \cdot 10^{-9} \text{ veces}}$$

$$\cancel{= -81,76 \text{ dBm}}$$

$$P_r = \frac{199,62 \cdot (199)^2 \cdot (0,057)^2}{(4\pi \cdot 7720)^2}$$

$$P_r = 4,3222 \cdot 10^{-7} \text{ mW} \approx 0,0000022 \text{ mW}$$

$$h = 103,76 \text{ dBm} \approx -55,64 \text{ dBm}$$

- La capacidad del enlace agregado es a 100 MHz con modulación 64 QAM es 328,32 Mbps



## Hoja de Respuesta

b) Enel - Sta Elena

- Elegimos ambas antenas AF-5G23-545 de Ganancia 23 dBi (199 uros)
- Calculamos la distancia entre enlaces que es igual al anterior

$$d_{total} = 62224,9 \text{ m}$$

- Se utiliza el mismo  $\lambda = 0,057 \text{ m}$
- La potencia de recepción obtenida utilizando la máxima potencia de transmisión (~~150 dBm - 34,62 mW~~)

$$Pr = \frac{125,89}{(4\pi \cdot 4730)^2} \cdot (0,057)^2$$

$$\begin{aligned} Pr &= \cancel{0,00000115 \text{ W}} \\ &= \cancel{-59,39 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} Pr &= 6,00000458 \text{ mW} \\ &= -53,34 \text{ dBm} \end{aligned} \right\}$$

- La capacidad del enlace agregado a 100 MHz con modulación 256 QAM es 437,76 Mbps

## Hoja de Respuesta

c) La Reina - La Florida

- Se utilizan antenas de AF-5G 23-S45 con ganancia 23 dBi cada una para el enlace.
- La distancia total del enlace es
 
$$d = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot 54}$$

$$\approx 30293,1 \text{ m}$$
- La longitud de onda  $\lambda$  es: 0,057 m para 5200 MHz de frecuencia
- La potencia de recepción utilizando la máxima potencia de transmisión (~~150,5 mW~~) (23 dBm = 199,52 mW)
 
$$P_r = \frac{199,52 \cdot (199)^2 \cdot (0,057)^2}{(4\pi \cdot 9640)^2}$$

$$= -57,59 \text{ dBm}$$
- La capacidad del enlace agregando a 100 MHz con modulación 64 QAM es 328,32 Mbps

### 1) Sta Elena - Sta Radó

- Se utilizan antenas AF-5G23-545 con ganancia 23 dB, cada una para el enlace
- La distancia total es:

$$d = \sqrt{2 \cdot 8497 \cdot 10^3 \cdot 54}$$

$$= 30293,1 \text{ m}$$

- La longitud de onda  $\lambda$  es: 0,057 m para 5200 MHz de frecuencia

- La potencia de recepción utilizando la máxima potencia de transmisión (~~45 dBm = 31,62 W~~) (23 dBm = 199,52)

$$P_{Rx} = \frac{199,52}{31,62 \cdot (4\pi \cdot 8390)} \cdot (0,057)^2$$

$$P_{Rx} = 3,16 \cdot 10^{-7} \text{ W} \\ = -64,36 \text{ dBm}$$

$$\boxed{P_E = 0,0000023 \text{ mW} \\ = -56,36 \text{ dBm}}$$

- La capacidad del enlace agregado a 100 MHz con modulación 64QAM es 328,32 Mbps

e) Sta Raquel - Florida

- Se utilizan antenas AF-5623-S45 con ganancia 23 dB; cada una para el enlace
- La distancia total es:

$$d = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot 54}$$

$$= 30243,1 \text{ m}$$

- La longitud de onda  $\lambda$  es: 0,057 m para 5200 MHz de frecuencia
- La potencia de recepción utilizando la máxima potencia de transmisión (~~10 dBm = 31,62 mW~~) (21 dBm = 125,89 mW)

$$\Pr = \frac{125,89}{(4\pi \cdot 3600)^2} (0,057)^2$$

$$\Pr = \frac{125,89}{(4\pi \cdot 5450)^2} (0,057)^2$$

Nota

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pr = 0,00000345 \text{ mW} \\ = -54,61 \text{ dBm} \end{array} \right.$$

$$\Pr = \cancel{8,673 \times 10^{-7}} \text{ mW}$$

$$= -60,61 \text{ dBm}$$

- La capacidad del enlace agregado a 100 MHz con una modulación de 256 QAM es 437,76 Mbps

f) Sta Raquel - Sta Rosa Sur

- se utiliza antenas AF-5623-545 con ganancia 23 dBi cada una para el enlace
- La distancia total es:

$$d = \sqrt{2,8497 \times 10^3 \cdot 54}$$

$$= 30293,1 \text{ m}$$

- La longitud de onda  $\lambda$  es 0,057 m para 5200 MHz de frecuencia

- La potencia de recuperación utilizando la máxima potencia de transmisión es (~~21 dBm = 125,89 mW~~) (21 dBm = 125,89 mW)

$$P_r = \frac{125,89}{4,62 \cdot (199)^2 (0,057)^4}{\left(\frac{4\pi}{4\pi + 3600}\right)^2}$$

$$P_r = 12,0000198 \text{ mW}$$

$$\approx -60,61 \text{ dBm}$$

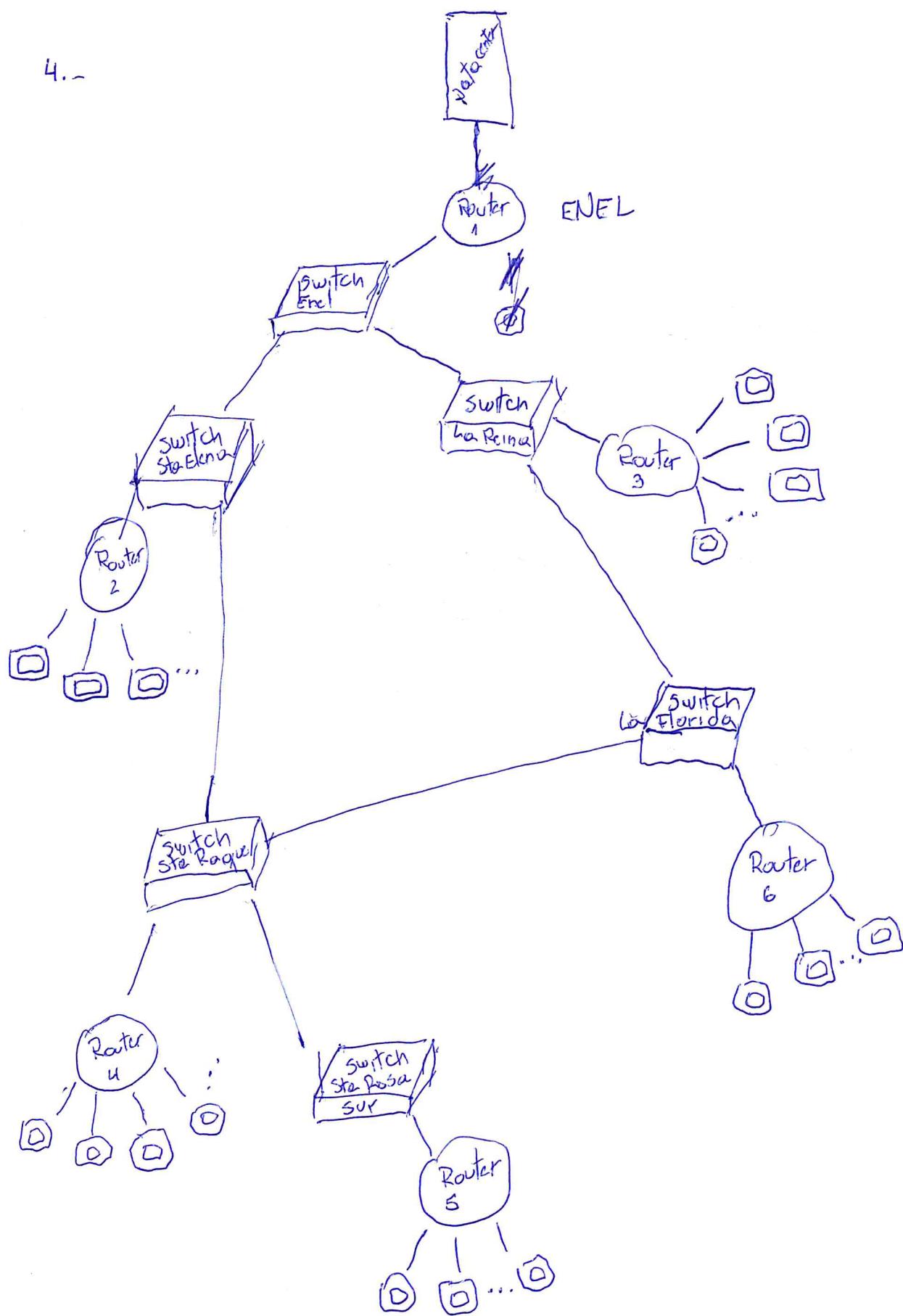
$$\boxed{P_r = 0,00000791 \text{ mW}}$$

$$\approx -51,01 \text{ dBm}$$

- La capacidad del enlace agregado a 100 MHz con una modulación 256 QAM es 437,26 Mbps

# Diseno capa de red

4.-



2. - 10.20.48.0/20 4096

- Para Sta Rosa sur

Subred 10.20.48.0/26

• Para control SCADA

a) Subred 10.20.48.0/27

b) 255.255.255.2~~24~~4

c) 10.20.48.1 Default Gateway

• Para RDU4

a) Subred 10.20.48.32/28

b) 255.255.255.240

c) 10.20.48.33 Default Gateway

• Para videovigilancia

a) Subred 10.20.48.48/29

b) 255.255.255.248

c) 10.20.48.49 Default Gateway

• Para teléfono

a) 10.20.48.56/30 Subred

b) 255.255.255.252

c) 10.20.48.57 Default Gateway

- Para Sta Ragni

Subred 10.20.48.64/26

- Para control scada

a) Subred 10.20.48.64/27

b) 255.255.255.224

c) 10.20.48.65 Default Gateway

- Para RDUA

a) 10.20.48.96/28 subred

b) 255.255.255.240

c) 10.20.48.97 Default Gateway

- Para video vigilancia

a) Subred 10.20.48.112/129

b) 255.255.255.248

c) 10.20.48.113 Default Gateway

- Para telefono

a) Subred 10.20.48.120/30

b) 255.255.255.252

c) 10.20.48.121 Default Gateway

- Para Florida  
Subred 10.20.48.128/26

• Para SCADA

- a) 10.20.48.128/27
- b) 255.255.255.224
- c) 10.20.48.129

• Para RDUU

- a) 10.20.48.160/28
- b) 255.255.255.240
- c) 10.20.48.161

• Para video vigilancia

- a) 10.20.48.176/29
- b) 255.255.255.248
- c) 10.20.48.177

• Para telefono

- a) 10.20.48.184/30
- b) 255.255.255.252
- c) 10.20.48.185





Universidad Diego Portales  
Escuela de Ingeniería en Informática y Telecomunicaciones  
Examen de Titulación - Redes de Datos y Telecomunicaciones

07 de junio de 2023

Nombre: Jose Cornejo

RUT: 20124155 - 3

Puntaje: 173 puntos

## 1. Pregunta de Desarrollo:

### 1.1. Introducción

Este examen de título tiene solo un escenario sobre el cual se realizarán una serie de preguntas. Cada una de ellas DEBE tener un desarrollo que justifique su respuesta.

La empresa de distribución eléctrica ENEL tiene una serie de subestaciones eléctricas en distintas comunas de la región metropolitana. Cada subestación tiene varios servicios de datos que entregan la continuidad operacional a la subestación. A nivel de *networking* una subestación puede ser considerada como una oficina remota de ENEL y cada servicio de datos puede ser visto como una subred.

### 1.2. Consideraciones de diseño para radio enlaces

En esta sección se explican todas las consideraciones a la hora de diseñar los enlaces de radiofrecuencia. Se utilizará el equipo punto a punto (PtP) de la marca *Ubiquity* modelo *airFiber 5XHD*. El manual del equipo puede encontrarse en la sección 2.1.

- Todas las subestaciones tienen una torre de comunicaciones de 54 metros de altura.
- El edificio Headquarter de ENEL tiene una altura de 60 metros. Su azotea puede ser utilizada para instalar equipos.
- En su diseño considere que todas las subestaciones tienen LOS (Line of sight) a 54 metros de altura.
- La frecuencia de operación (frecuencia de la portadora) de los equipos de radio es 5200 MHz
- La constante para la velocidad de la luz es de 299792458 m/s.
- La potencia máxima a utilizar es de 15 dBm (*Suggested Max. TX Power*). **DSEA |Z X**
- Siempre utilice canales con un ancho de banda de 100 MHz (ver tabla *TDD Capacity (Mbps)* en el manual de la sección 2.1)
- Siempre utilice la antena con la menor ganancia necesaria (siempre que sus cálculos lo permitan), ya que así evita sobrecargar la torre de comunicaciones.
- Siempre utilice la misma antena en ambos extremos del enlace.

El manual de los equipos de radio enlace microondas puede ser encontrado en la sección 2.1. Este manual tiene varios términos que es importante aclarar:

- *Suggested Max. TX Power*: Es la potencia máxima sugerida. La potencia máxima que escoja depende de la tasa de modulación o *modulation rate*. Por ejemplo, si escoge un *modulation rate* de 8X podrá transmitir con una potencia máxima de 22 dBm.
- *Receive Sensitivity (dBm)*: Es la mínima potencia de la señal de radio que el equipo puede operar. Si la potencia es más baja que este valor, no es posible establecer una comunicación exitosa.
- *TDD Capacity (Mbps)*: Esta tabla indica la capacidad en Mbps que soporta el enlace tanto de subida como bajada. Esta capacidad depende del *Modulation Coding Scheme (MCS)*. Por ejemplo, si se escoge una modulación de 16QAM MIMO y se utiliza un ancho de banda de canal de 100 MHz, podrá transmitir a una tasa máxima de 218,88 Mbps.
- En el mismo manual existe un listado de las antenas que se pueden utilizar con estos equipos de radio
  - AF-5G23-S45: antena directiva con una ganancia de 23 dBi.
  - AF-5G30-S45: antena directiva con una ganancia de 30 dBi.
  - AF-5G34-S45: antena directiva con una ganancia de 34 dBi.

La figura 1 muestra la ubicación geográfica de las subestaciones en el mapa de Santiago de Chile.

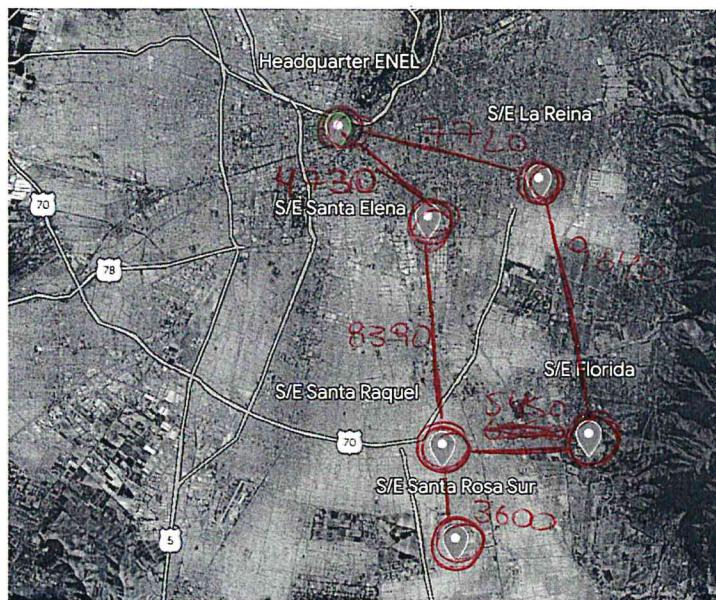


Figura 1: Ubicación de las subestaciones de ENEL utilizadas en este examen

La tabla del cuadro 1 muestra la distancia entre las distintas subestaciones.

Cuadro 1: Matriz de distancias (metros) para las subestaciones en estudio.

Nombre	S/E Santa Rosa Sur	S/E Santa Raquel	S/E Florida	S/E La Reina	S/E Santa Elena	Headquarter ENEL
S/E Santa Rosa Sur	0	3600	6250	13690	11980	15880
S/E Santa Raquel	3600	0	5450	10430	8390	12320
S/E Florida	6250	5450	0	9640	10010	14700
S/E La Reina	13690	10430	9640	0	4350	7720
S/E Santa Elena	11980	8390	10010	4350	0	4730
Headquarter ENEL	15880	12320	14700	7720	4730	0

### 1.3. Consideraciones de diseño para equipamiento de red

- El equipo de radio *airFiber 5XHD* se comporta como un switch. Por lo tanto al crear un enlace punto a punto es como que conecte dos switch.
- Para todas las subestaciones la distancia entre la sala de comunicaciones (donde está el gabinete para la instalación de equipos) y la base de la torre es de 50 metros.
- La distancia entre la azotea del edificio ENEL y el datacenter en el mismo edificio es de 200 metros (el datacenter está en el subterráneo).

Cada servicio de datos en cada subestación debe ser tratado como una subred. La siguiente lista muestra todos los servicios disponibles:

- Telefonía:** Teléfonos IP ubicados en distintas oficinas dentro de cada subestación.
- Videovigilancia de Seguridad:** Cámaras de video IP encargadas de la seguridad perimetral de la subestación .
- Red de datos para usuarios administrativos (RDUA):** Red de computadores para personal de mantenimiento y operación en terreno. Se utiliza principalmente para entregar acceso a Internet y a servidores ubicados en los datacenters de ENEL en Santiago de Chile.

- **Servicio de control SCADA:** Sensores y actuadores responsables de la apertura y cierre de interruptores eléctricos, medidores de corriente y voltaje.

La lista de *hosts* para cada servicio en cada subestación se muestra en la tabla del cuadro 2.

Cuadro 2: Cantidad de hosts por servicio y por subestación (sin contar default gateway)

Cantidad de hosts (sin contar default gateway)	Telefonía	Videovigilancia de Seguridad	Red de datos para usuarios administrativos (RDUA)	Servicio de control SCADA
S/E Santa Rosa Sur	1	5	10	28
S/E Santa Raquel	2	5	10	30
S/E Florida	1	5	13	28
S/E La Reina	2	2	11	40
S/E Santa Elena	1	2	10	20

X  
Total  
44  
47  
47  
55  
33

## 1.4. Preguntas

### 1.4.1. Diseño de la capa de transporte

- Utilizando el equipo de red mostrado en la sección 2.1, diseñe la red de enlaces punto a punto microondas entre las siguientes subestaciones: (30 puntos en total)

- a) Headquarter ENEL y S/E La Reina
- b) Headquarter ENEL y S/E Santa Elena
- c) S/E La Reina y S/E Florida
- d) S/E Santa Elena y S/E Santa Raquel
- e) S/E Santa Raquel y S/E Florida
- f) S/E Santa Raquel y S/E Santa Rosa Sur

Considerando maximizar la tasa de transferencia (Mbps). Para cada enlace se debe calcular:

- Ganancia de antenas en ambos extremos. (2 puntos por enlace)
- Potencia de recepción en cada extremo (2 punto por enlace)
- Capacidad del enlace agregado (en Mbps)<sup>1</sup> (1 punto por enlace)

### 1.4.2. Diseño de la capa de red

Para las siguientes preguntas considere que le han entregado la red 10.20.48.0/20 para poder subdividirla.

- Calcule para cada servicio en la tabla del cuadro 2 los siguientes parámetros: (60 puntos en total)

- a) Dirección de subred. (1 punto por cada servicio)
- b) Máscara de subred. (1 punto por cada servicio)
- c) Dirección IP del *default gateway*. (1 punto por cada servicio)

- Calcule para cada enlace punto a punto los siguientes parámetros: (28 puntos en total)

- a) Dirección de subred. (1 punto por cada enlace)
- b) Máscara de subred. (1 punto por cada enlace)
- c) Dirección IP de cada extremo. (1 punto por cada extremo)

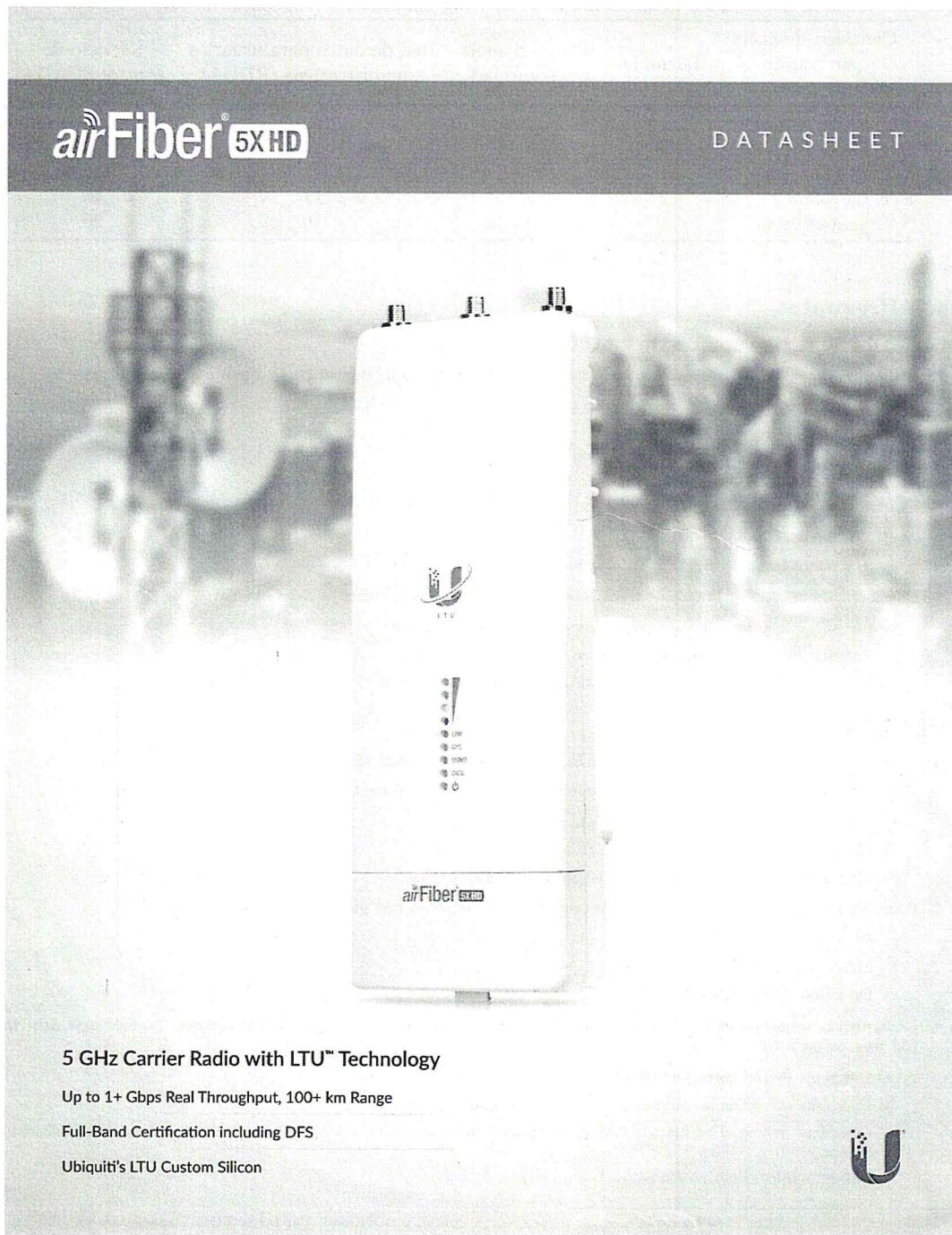
- Construya la topología de red lógica de toda la red, considerando routers y switch necesarios. La topología debe incluir: (55 puntos en total)

- Diagrama de red para cada subestación (5 puntos por subestación)
- Diagrama de red de los enlaces microondas (5 puntos por enlace)
- Considere que en el edificio de ENEL existe un Router al cual se conectan los enlaces de microondas ubicados en la azotea.
- Considere que cada servicio equivale a un switch.

<sup>1</sup>la capacidad agregada es la suma de la tasa de transferencia upload y download. Ver tabla TDD Capacity en sección 2.1

## 2. Anexos

### 2.1. Equipos de Radio



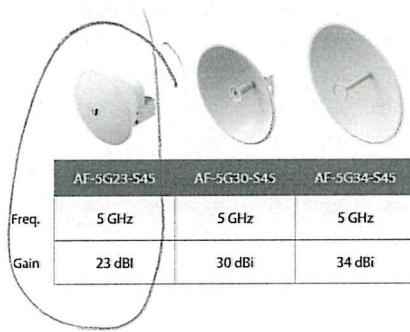

airFiber XHD
DATASHEET

### Deployment Flexibility

The AF-5XHD can be used with existing airFiber slant-polarized antennas for improved noise immunity and Signal-to-Noise Ratio (SNR). It is compatible with multiple Ubiquiti airFiber X antennas offering gain of 23 to 34 dBi. The compact form factor of the AF-5XHD allows it to fit into the radio mount of airFiber X antennas, so installation requires no special tools.

### airFiber X Antenna Model Summary

The airFiber X antennas are purpose-built with 45° slant polarity for seamless integration with the AF-5XHD. Pair the AF-5XHD with one of the following airFiber X antennas:



	AF-5G23-S45	AF-5G30-S45	AF-5G34-S45
Freq.	5 GHz	5 GHz	5 GHz
Gain	23 dBi	30 dBi	34 dBi

Menor  
dBi



### RocketDish Model Summary

You can also pair the AF-5XHD with one of the RocketDish antennas shown below using the included Universal Bracket or by using a kit to convert the RocketDish to 45° slant polarity.



	RD-5G30	RD-5G34
Freq.	5 GHz	5 GHz
Gain	30 dBi	34 dBi

### Conversion Kit

The 5 GHz RocketDish to airFiber Antenna Conversion Kit (model AF-5G-OMT-S45) converts the RocketDish RD-5G30 or RD-5G34 antenna for use with the AF-5XHD.



Suggested Max. TX Power	
12x	12 - 15 dBm
10x	19 - 20 dBm
8x	21 - 22 dBm
6x	23 - 24 dBm
4x	29 dBm
2x	29 dBm
1x	29 dBm

→ 12 dBm  
¡Sugerencia!

Modulation Rate	Modulation	Sensitivity							
		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
12x	4096QAM	-56	-53	-51	-49	-47	-44	-42	-39
10x	1024QAM	-66	-63	-61	-59	-57	-55	-53	-51
8x	256QAM	-72	-69	-67	-65	-63	-61	-59	-57
6x	64QAM	-78	-75	-73	-71	-69	-67	-65	-63
4x	16QAM MIMO	-84	-81	-79	-77	-75	-73	-71	-69
2x	QPSK MIMO	-88	-85	-83	-82	-81	-80	-79	-78
1x	½ Rate QPSK xRT	-90	-87	-85	-84	-83	-82	-81	-80



## SPECIFICATIONS

		TDD Capacity (Mbps)*								
		Channel Width								
MCS		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz	
QPSK SISO	Upload	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72	JL
	Download	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72	JL
	Aggregate	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44	JL
QPSK MIMO	Upload	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44	U
	Download	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44	U
	Aggregate	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88	U
16 QAM MIMO	Upload	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88	
	Download	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88	
	Aggregate	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76	
64 QAM MIMO	Upload	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64	328.32	
	Download	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64	328.32	
	Aggregate	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64	
256 QAM MIMO	Upload	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76	
	Download	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52	437.76	
	Aggregate	92.16	194.56	291.84	389.12	476.16	563.20	727.04	875.52	
1024 QAM MIMO	Upload	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40	547.20	
	Download	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40	547.20	
	Aggregate	115.20	243.20	364.80	486.40	595.20	704.00	908.80	1,094.40	
4096 QAM MIMO	Upload	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64	
	Download	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28	656.64	
	Aggregate	138.24	291.84	437.76	583.68	714.24	844.80	1,090.56	1,313.28	

\* For 2 ms frame length.

Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at [ubnt.com/support/warranty](http://ubnt.com/support/warranty).  
The limited warranty requires the use of arbitration to resolve disputes on an individual basis and, where applicable, seeks injunctive relief instead of jury trials or class actions.  
Ubiquiti, the Ubiquiti logo, airFiber, airMAX, airMAX ac, airMAX HD, airMAX Lite, airMAX Cloud, airMAX Beam, airMAX Instant, airMAX Pro, airMAX Pocket, RocketDish, UMAi, and UST are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and in other countries. Aeria and the Aeria logo are trademarks of Aeria Inc., registered in the U.S. and other countries. Android, Google, Google Play and other marks are trademarks of Google LLC. All other trademarks are the property of their respective owners.

AUAU0120

## Hoja de Respuesta

Revisemos si Pueden conectarse por (LOS)

$$\text{Headquarter} := \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot 60 \text{mt}} \\ = 31,931 \text{ km}$$

$$\text{Cualquier S/E} = \sqrt{2 \cdot 8497 \times 10^3 \cdot 54} \\ = 30,293 \text{ KM}$$

Con esto nos damos cuenta que en el caso de los casos Sta Rosa Sur / Headquarter (15 KM) se pueden ver

$$P_t = 15 \text{ dBm} \rightarrow 10 \frac{15-30}{10} = 0,032 \text{ } \frac{\text{Pr}}{32 \text{ MW}} = \frac{P_t G_r G_t \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

$$G_r = 23 \text{ dBi} \rightarrow 10 \frac{23}{10} = 199,5 \text{ veces}$$

$$G_t = 23 \text{ dBi} \rightarrow$$

$$\lambda = \frac{300 \times 10^6}{5200 \times 10^6} = 0,058 \text{ m}^{+6,923} \text{ Redondeo}$$

$$\text{Headquarter: } \text{Pr} = \frac{32 \cdot 199,5^2 \cdot 0,058^2}{(4 \cdot \pi \cdot 15880)^2}$$

/  
Sta Rosa Sur

$$= 1,0769 \times 10^{-7}$$

$$= -69,67 \text{ dBm}$$

Por lo que no se utiliza!

$$\text{Por lo tanto} = \frac{32 \cdot 199,5^2 \cdot 0,058^2}{(4\pi \cdot 9640)^2} = 2,92252 \times 10^{-7} = -85,34 \text{ dBm}$$

x lo que no sirve

lo que la sensibilidad es de -39 dBm

## Hoja de Respuesta

\* Usar una Mejor Antena

con 30dbi → 1000 veces

$$= \frac{0,32 \cdot 1000^2 \cdot 0,058^2}{(4\pi \cdot 9540)^2}$$

$$= 7.34298 \times 10^{-5} = -51 \text{ dBm}$$

\* Otra Mejor =  $4,6229 \times 10^{-5} = -43 \text{ dBm}$       34 dbi → 2511 veces

Para poder transmitir + Necesitaremos un Repetidor para lograr transmitir a 4096 QAM ya que su sensibilidad es de -39 dBm

Si colocamos una antena entre la reina y la florida la distancia se reduce a la mitad siendo de 4820 mts

Calculamos:

$$= \frac{0,32 \cdot 1000^2 \cdot 0,058^2}{(4\pi \cdot 4820)^2} \quad (30 \text{ dbi})$$

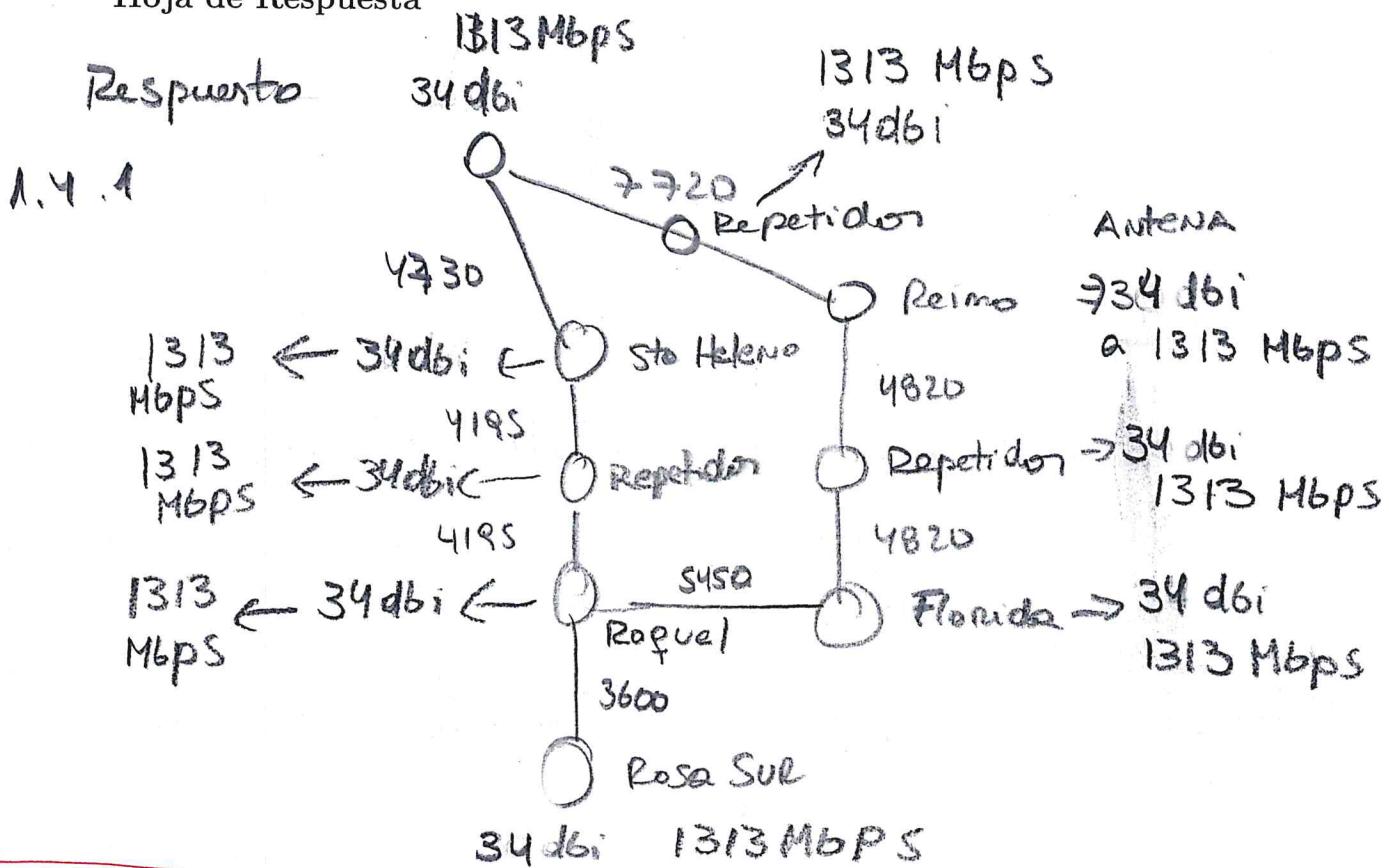
$$= -45,32 \text{ dBm} \quad \text{estamos faltantes, usemos otra antena}$$

$$= \frac{0,32 \cdot 2511^2 \cdot 0,058^2}{(4\pi \cdot 4820)^2} \quad (34 \text{ dbi})$$

$$= 1,8519 \times 10^{-4} = -37 \text{ dBm}$$

Antena se conecta  
y transmite  
en 4096 QAM

## Hoja de Respuesta



Sabemos que utilizando una antena de 34 dBi podemos alcanzar max 5 KM aprox

Reviso si usando 30 dBi alcanzo los 3600 m de Rosa Sur / Roque I

$$\frac{32 \cdot 1000^2 \cdot 0,058^2}{(4\pi \cdot 3600)^2} = 5,26 \times 10^{-5} = -42 \text{ dBm}$$

No alcanza

Reviso conexión entre Roquet / Florida.

$$= \frac{32 \cdot 2\pi H^2 \cdot 0,058^2}{(4\pi \cdot 5450)^2} = 1,4485 \times 10^{-4} = -38 \text{ dBm}$$

Es posible  
realizar la conexión  
sin antena

Con esto sabemos que tendremos que usar repetidores en distancias mayores a 5450 mts como se aprecia en el dibujo realizado anteriormente que muestra el resultado, la ganancia para todos los antenas es de 34 dbi ya que con las otras no es suficiente y la capacidad de el enlace sera la de 4096 QAM de 1313 Mbps

678733.65

Potencia Recepción (

Heddy / La Reina = -35 dBm

Hed / Helema = -37 dBm

Roquet / Rosa Sun = -34 dBm

Roquet / Florida = -38 dBm

Reina / Florida = -37 dBm

Roquet / Helema = -36 dBm



## Hoja de Respuesta

14.2

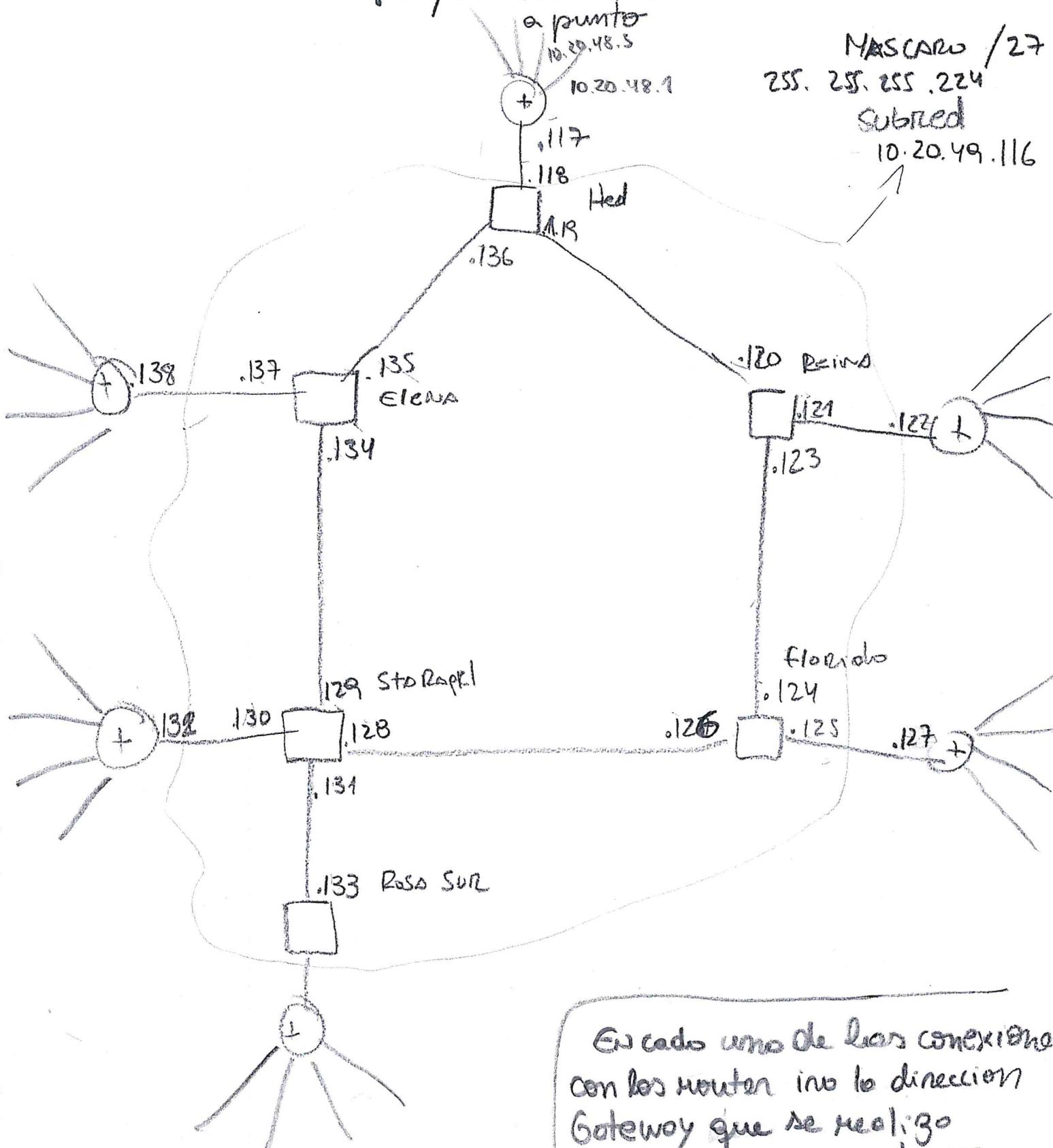
(2)

		Sub Red	Host	Gateway
STA Rose	Teléfono	10.20.48.0/30	255.255.255.252	10.20.48.1
"	Seg	10.20.48.0/29	255.255.255.243	10.20.48.5
"	ADM	10.20.48.12/28	255.255.255.240	10.20.48.13
	Control	10.20.48.28/27	255.255.255.224	10.20.48.29
Rosquel	Tel	10.20.48.60/29	255.255.255.243	10.20.48.61
	Seg	10.20.48.68/29	255.255.255.249	10.20.48.69
	ADM	10.20.48.76/28	255.255.255.240	10.20.48.77
	Control	10.20.48.84/26	255.255.255.192	10.20.48.83
florida	tel	10.20.48.156/30	255.255.255.252	10.20.48.157
	Seg	10.20.48.160/29	255.255.255.243	10.20.48.161
	ADM	10.20.48.168/28	255.255.255.240	10.20.48.169
	Control	10.20.48.184/27	255.255.255.224	10.20.48.185
Reima	Tel	10.20.48.216/29	255.255.255.243	10.20.48.217
	Seg	10.20.48.224/29	255.255.255.243	10.20.48.225
	ADM	10.20.48.232/28	255.255.255.240	10.20.48.233
	Control	10.20.48.248/26	255.255.255.192	10.20.48.249
Elenac	tel	10.20.49.56/30	255.255.255.252	10.20.48.57
	Seg	10.20.49.60/29	255.255.255.243	10.20.48.61
	ADM	10.20.49.68/28	255.255.255.240	10.20.48.69
	Control	10.20.49.84/27	255.255.255.224	10.20.48.85

(9 Pts)

③

10. 20.49.116/27 Subred de todos los punto



En cada uno de los conexiones con los routers invoca la dirección Gateway que se realizo en el ejercicio anterior para cada uno de los servicios

④

