



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

07 de junio de 2023

Nombre: Diego Venegas González

RUT: 19.421.868 - 0

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 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

## 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)

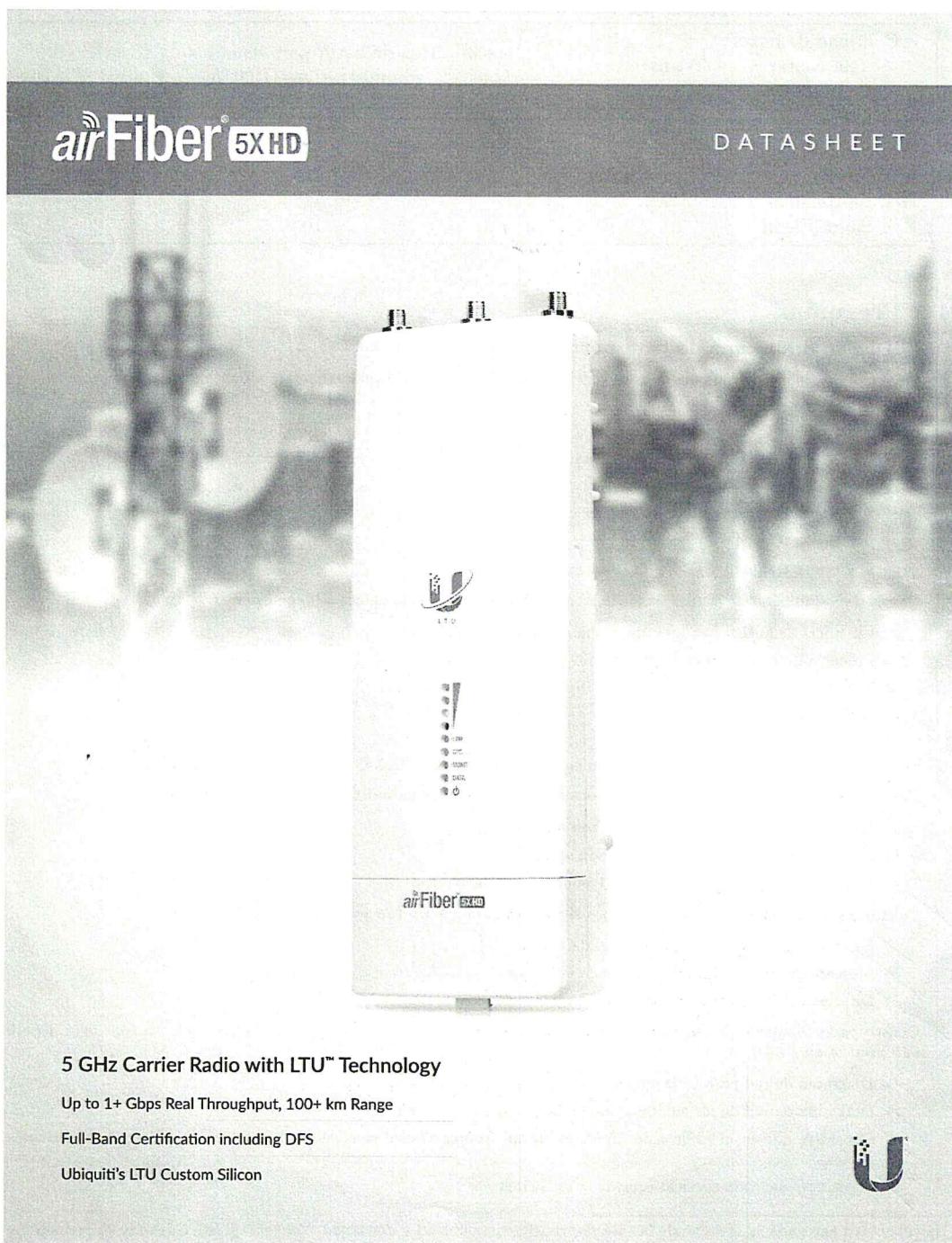
- Construya la topología de red lógica de toda la red, considerando routers y switch necesarios. La topología debe incluir: (*55 puntos en total*)

- 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





## 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	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

A + BPS

airFiber® 5XHD

## SPECIFICATIONS

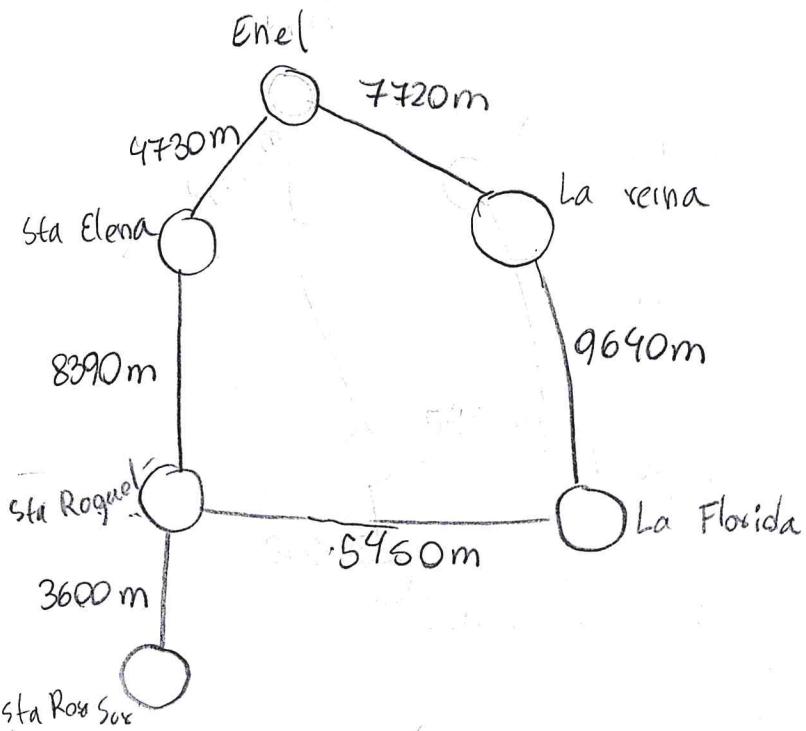
		TDD Capacity (Mbps)								
		Channel Width								
MCS		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz	
QPSK SISO	Upload	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72	
	Download	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44	54.72	
	Aggregate	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88	109.44	
QPSK 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	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76	218.88	
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

Specialty products are subject to change. Use of products is subject to a limited time period or may be discontinued at our sole discretion or convenience.  
The Kindle is a trademark of Amazon.com, Inc. All other trademarks, logos, service marks, and/or trade names used in this document are the property of their respective owners.  
© 2010-2020 Ubisafe Inc. All rights reserved. Ubisafe, Ubisafe logo, the Ubisafe logo, ubisafe, ubisafe, ubi, ubi app, ubiCloud, UBI, Handwriting, Pen, Rocket, Rocket.Dash, UbiGo, and iBT are trademarks or registered trademarks of Ubisafe Inc. in the United States and in 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

1.-



$$P_r = P_t + 2 \cdot (G) - 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299792458 \text{ m/s}}{5200 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0,06 \text{ m}$$

$$P_t = 15 \text{ dBm}$$

$$B = 100 \text{ MHz}$$

Luego  $P_r = 15 \text{ dBm} + 2(G) - 20 \log \left( \frac{4\pi d}{0,06} \right)$

Pasos:

- \* Se calculará la  $P_r$  por cada Ganancia ( $3 \times$  cada enlace)

- \* Luego se compararán para ver cual maximiza bps

- \* Si hay 2 modulaciones iguales se escoge la ob menor Ganancia

Enel - Sta Elena  $d = 4730 \text{ m}$   $G = 9 \text{ dBi}$  9/15

$$P_{r_{23}} = -58,9 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 64\text{QAM} \quad P_{r_{30}} = -44,9 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$
$$P_{r_{34}} = -36,9 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 4096\text{QAM}$$

Enel - Reina  $d = 7720 \text{ m}$

$$P_{r_{23}} = -60,2 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 64\text{QAM}$$
$$P_{r_{30}} = -49,2 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$
$$P_{r_{34}} = -41,2 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$

Sta Elena - Sta Raquel  $d = 8390 \text{ m}$

$$P_{r_{23}} = -63,9 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 16\text{QAM MIMO}$$
$$P_{r_{30}} = -49,9 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$
$$P_{r_{34}} = -41,9 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$

Lo reina - Lo Florida  $d = 9690 \text{ m}$

$$P_{r_{23}} = -65,1 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 16\text{QAM MIMO}$$
$$P_{r_{30}} = -51,1 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 256\text{QAM}$$
$$P_{r_{34}} = -43,1 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$

Sta Raquel - Lo Florida  $d = 5450 \text{ m}$

$$P_{r_{23}} = -60,1 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 64\text{QAM}$$
$$P_{r_{30}} = -46,1 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$
$$P_{r_{34}} = -38,1 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 4096\text{QAM}$$

Sta Raquel - Rosa sur  $d = 3600 \text{ m}$

$$P_{r_{23}} = -56,5 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 256\text{QAM}$$
$$P_{r_{30}} = -42,5 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 1024\text{QAM}$$
$$P_{r_{34}} = -34,5 \text{ dbm} \quad \text{Modulación: } 4096\text{QAM}$$

Gracias a la tabla maximizamos  $G_{ps}$  y luego minimizamos  $G_{anodía}$

• Enel - Elena :  $P_r = -36,9 \text{ dbm}$  Modulación: 4096QAM  $G = 39 \text{ dBi}$   $C_A = 1313,28$

• Enel - Reina :  $P_r = -49,2 \text{ dbm}$  Modulación: 1024QAM  $G = 30 \text{ dBi}$   $C_A = 1094,40$

Elena - Raquel :  $P_r = -40,2 \text{ dbm}$  Modulación: 1024QAM  $G = 30 \text{ dBi}$   $C_A = 1094,40$

Reina - Florida  $P_r = -43,1 \text{ dbm}$  Modulación: 1024QAM  $G = 30 \text{ dBi}$   $C_A = 1094,40$

Raquel - Florida  $P_r = -38,1 \text{ dbm}$  Modulación: 4096QAM  $G = 34 \text{ dBi}$   $C_A = 1094,40$

Raquel - Rosa  $P_r = -34,5 \text{ dbm}$  Modulación: 4096QAM  $G = 30 \text{ dBi}$   $C_A = 1313,28$



2) 10.20.48.0/20

10/10

1 red + 1 default + broad = 3 IP

Host max La Reina  $40 \text{ host} + 3 = 43 \Rightarrow 2^6 = 64$

10.20.48.0/20

1. 1. 11110000.00000000 /20

1. 1. 1111111.11000000 /26

Nuevas subredes : 64

- ✓ 10.20.48.0/26 → La Reina (SCADA)  
Red: 10.20.48.0/26  
Mask: /26  
Default: 10.20.48.1/26
- ✓ 10.20.48.64/26
- ✓ 10.20.48.128/26
- ✓ 10.20.48.192/26
- ✓ 10.20.49.0/26
- ✓ 10.20.49.64/26
- ✓ 10.20.49.128/26
- ✓ 10.20.49.192/26
- ⋮
- ⋮
- 10.20.63.192/26

Dpto Agua (SCADA)

$$30 + 3 = 33 \text{ IP} \rightarrow 2^6 = 64$$

Red: 10.20.48.64/26  
Mask: /26

Default: 10.20.48.65/26

Rosa (SCADA)

$$28 \text{ host} + 3 = 31 \text{ IP} \quad 2^5 = 32$$

10.20.48.128/27

10.20.48.160/27

Red: 10.20.48.128/27  
Mask: /27

Default: 10.20.48.129/27

11/15

• Florida (SCADA)  $28+3=31$ , p

Red: 10.20.48.160/24

Mask: 127

Default: 10.20.48.161/24

• Sra Elena (SCADA)  $20+3=23$

10.20.48.192/26  $2^5=32$

✓ 10.20.48.192/27  $\rightarrow$

✓ 10.20.48.224/27

Red: 10.20.48.192/24

Mask: 124

Default: 10.20.48.193/27

• Florida (RDU4)  $13+3=16$ , p

10.20.48.224/27

$2^4=16$

✓ 10.20.48.224/28  $\rightarrow$

✓ 10.20.48.240/28

Red: 10.20.48.224/28

Mask: 128

Default: 10.20.48.225/28

• Para la Reina  $11+3=14$ , p

Red: 10.20.48.240/28

Mask: 128

Default: 10.20.48.241/28

$2^4=16$  (RDU4)

Sta. Tagael (RDvA)  $10+3 = 13$   $2^4 = 16$   
 ↪ 10.20.49.0/26

↓  
↓  
↓  
↓

- ✓ 10.20.49.0/28
- ✓ 10.20.49.16/28
- ✓ 10.20.49.32/28
- ✓ 10.20.49.48/28

Red: 10.20.49.0/28

Mask: /28

Default: 10.20.49.1/28

Sta Rosa  $2^4 = 16$   $16+3 = 13, P$  (RDvA)

Red: 10.20.49.16/28

Mask: /28

Default: 10.20.49.17/28

Sta Elena (RDvA)  $2^4 = 16$   $10+3 = 13, P$

Red: 10.20.49.32/28

Mask: /28

Default: 10.20.49.33/28

Rosa (Vigilandia)  $2^5 = 32$   $5+3 = 8, P$

✓ 10.20.49.48/28

✓ 10.20.49.48/29

✓ 10.20.49.56/29

Red: 10.20.49.48/29  
 Mask: /29

Default: 10.20.49.49/29

Roguel (vigilancia)  $2^3 = 8$   $5+3 = 8.p$

Red: 10,20,49,56/29

Mask: /29

Default: 10,20,49,57

Florida (vigilancia)  $2^3 = 8$   $5+3 = 8.p$

10,20,49,64/26

✓10,20,49,64/29

✓10,20,49,72/29

✓10,20,49,80/29

✓10,20,49,88/29

✓10,20,49,96/29

✓10,20,49,104/29

✓10,20,49,112/29

✓10,20,49,120/29

2

Florida (vigilancia)

Red: 10,20,49,64/29

Mask: /29

Default: 10,20,49,65/29

Dolina (vigilancia)

Red: 10,20,49,72/29

Mask: /29

Default: 10,20,49,73/29

Sta. Elena (vigilancia)

Red: 10,20,49,80/29

Mask: /29

Default: 10,20,49,81/29

Rosa (telefono)

Red: 10,20,49,104/29

Mask: /29

Default: 10,20,49,108/30

Rosa (telefono)  $\rightarrow$  10.20.49.104/30  
 Red: 10.20.49.104/30  
 Mask: 1110  
 Default: 10.20.49.105/30

---

Florida  $1+3=4$  (telefono)  
 Red: 10.20.49.108/30  
 Mask: 1110  
 Default: 10.20.49.109/30

---

Sta Elena  $1+3=4$   
 Red: 10.20.49.112/30  
 Mask: 1110  
 Default: 10.20.49.113/30

3.- Enel - Elena  $2^2 = 4$  min para Puerto Puerto  
 Red: 10.20.49.118/30  
 Def 1: 10.20.49.119/30  
 Def 2: 10.20.49.120/30  
 Mask: 1110  
 → Libre: 10.20.49.120/29

10.20.49.120/30  
 10.20.49.124/30

→ Elena - Rogel  
 Red: 10.20.49.124/30  
 D1: 10.20.49.125/30  
 D2: 10.20.49.126/30  
 Mask: 1110

Luego Libre 10.20.49.128/26 → 110  
 10.20.49.128/30 → Reina Florida  
 10.20.49.132/30  
 10.20.49.136/30  
 10.20.49.140/30  
 10.20.49.188/30

Reina Florida  
 Red: 10.20.49.128/30  
 D1: 10.20.49.129/30  
 D2: 10.20.49.130/30  
 Mask: 1110

Rogel Florida  
 Red: 10.20.49.132/30  
 D1: 10.20.49.133/30  
 D2: 10.20.49.134/30  
 Mask: 1110

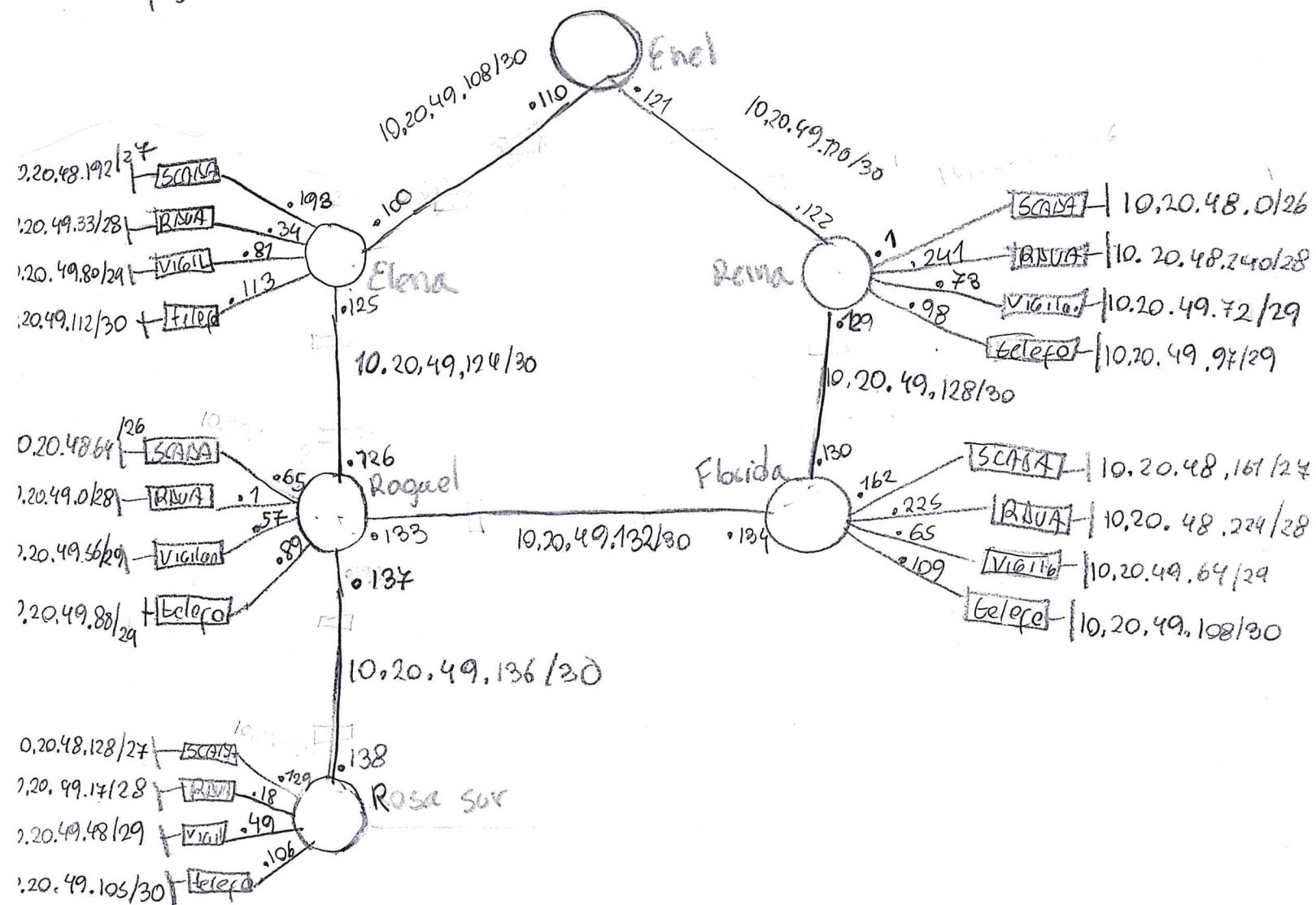
Rogel - Rosa  
 Red: 10.20.49.136/30  
 D1: 10.20.49.137/30  
 D2: 10.20.49.138/30  
 Mask: 1110

2  
SCADA  
RDU A  
Vigilancia  
teléf

(4.-) Eje

○ router  
□ switch (No IP)

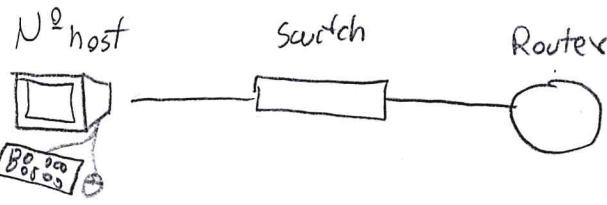
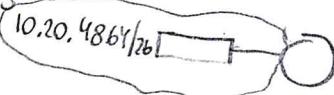
15/15



#### \* Aclaraciones

- La red incluye al default gateway de cada router (no solo desde el switch) la red es completa. Se asume la misma mascara en la subred

Ej:



- Los host vienen despues de coda switch, por es porq se destino dsí.

- Se agregan routers para dividir dominios de Broadcast



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

07 de junio de 2023

Nombre: Francisca Lamasco

RUT: 19431852-9

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.

- Torre = 54m altura
- estación = 60m altura.
- LOS = 54 m altura
- f portadora = 5200 MHz
- P<sub>max</sub> = 15dBm
- canales ancho de banda = 100MHz

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.

---

- 50 mt base torre - sala comunicaciones  
- 200mt datacenter - azotea

- **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

✓ 1. 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.

✓ 2. 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)

✓ 3. 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)

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

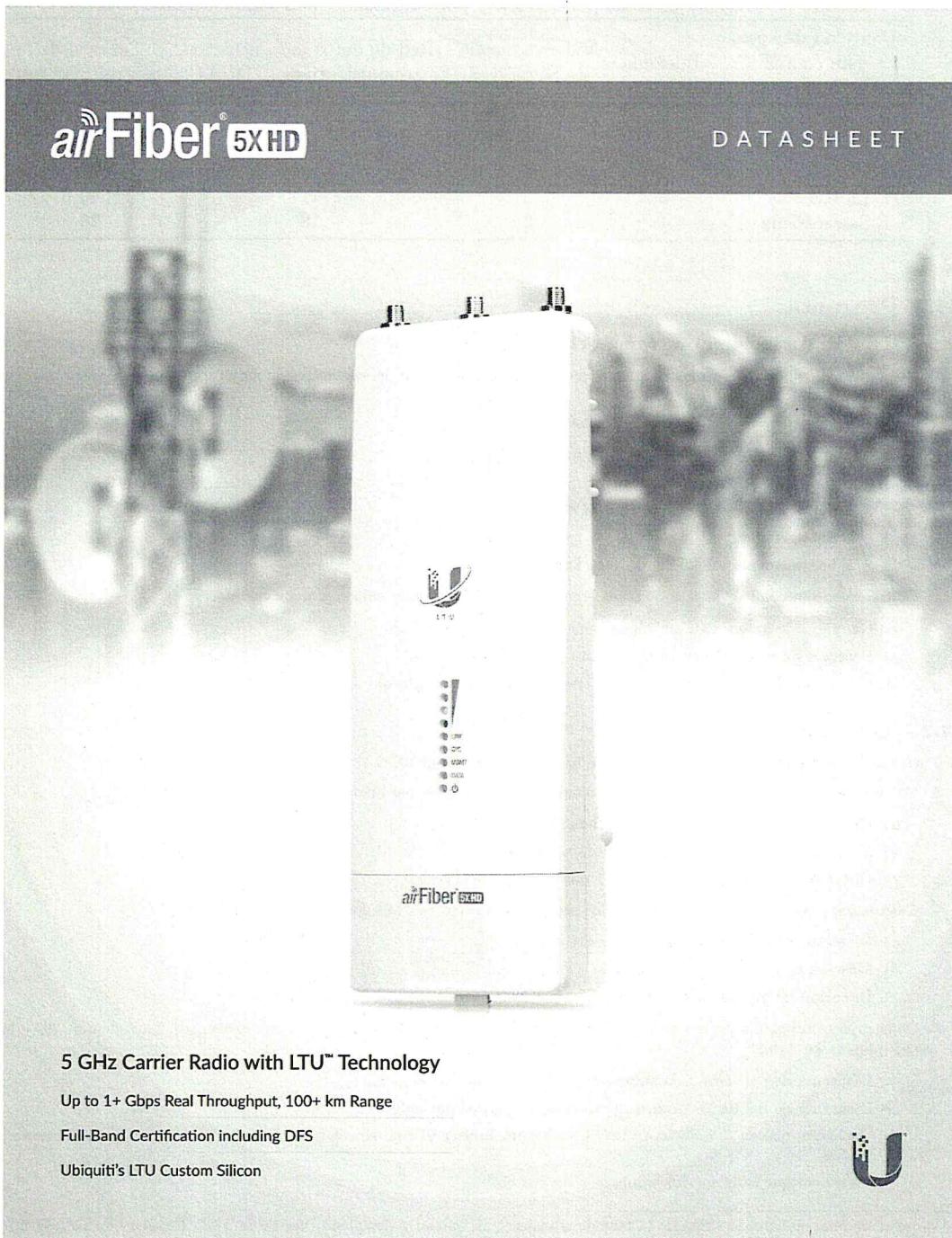
- Diagrama de red para cada subestación (5 puntos por subestación)
- Diagrama de red de los enlaces microondas (5 puntos por enlace)
- Considere que en el edificio de ENEL existe un Router al cual se conectan los enlaces de microondas ubicados en la azotea.
- Considere que cada servicio equivale a un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

\*en cada sub - estación hay al menos 1 router.

## 2. Anexos

### 2.1. Equipos de Radio





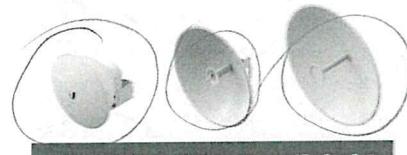
## DATASHEET

**Deployment Flexibility**

The AF-SXHD 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-SXHD 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-SXHD. Pair the AF-SXHD 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-SXHD 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-SXHD.



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 [www.ubnt.com/warranty](http://www.ubnt.com/warranty).  
The limited warranty requires the use of arbitration to resolve disputes on an individual basis, where applicable, and hereby disclaims any right to class action.  
Ubiquiti Networks Inc. reserves the right to make changes or modifications to its products without notice or obligation. Ubiquiti, airOS, Ubiquiti UBIQUITI, Rocket, RocketDish, UBIQUITI, and iST are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and 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

Datos:

- Tome : 54mt altura
- estación : 60mt altura (azotea)
- LOS : 54mt
- f portadora : 5200 MHz
- Pmáx : 15 dBm.
- canales ancho de banda : 100 MHz
- 50 mt (base torre - sala comunicaciones)
- 200 mt (data center - azotea)

$$P = 15 \text{ dBm}$$

$$23 \text{ dB i}$$

$$= 10^{\frac{23}{10}} = 199,5$$

$$= 10^{\frac{15}{10}} = 31,62 \text{ W}$$

$$\text{Atenuación} = A = 10 \log (-39/10) = 4 \text{ dB/Km}$$

$$9004 \text{ dB/m}$$

→ Enel → 200mt → 0,9 dB

→ otros → 50mt → 0,2 dB

## 1.4.1 Capa de transporte.

a) Headquarters Enel - SE Lareina

distancia: 7720 m

1 Antena)

$$d_1 = \sqrt{2 \cdot 8497000 \cdot (60)} = 31,93 \text{ Km} \quad d_2 = \sqrt{2 \cdot 8497000 \cdot (54)} = 30,29 \text{ Km} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 73,22 \text{ Km}$$

- Ganancia en ambos extremos
- Potencia de recepción
- Capacidad del enlace agregado.

$$Pr = \frac{P_t \cdot G_{t \rightarrow r} \cdot G_{r \rightarrow t} \cdot d^2}{(4\pi d)^2} = \frac{(31,62 - 1,2) \cdot 199,5 \cdot 199,5 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 7720)^2} = 4,276 \cdot 10^{-7} \text{ W}$$

$$\lambda^2 = \frac{299792458 \text{ m/s}}{5200 \text{ MHz}} = \frac{299792458}{5200 \cdot 10^6} = (0,058)^2 = 3,324 \cdot 10^{-3} \quad = -63,68 \text{ dBm}$$

2 Antena)

$$Pr = \frac{30,42 \cdot 1000^2 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 7720)^2} = 1,024 \cdot 10^{-5} \text{ W} \quad = -49,68 \text{ dBm}$$

3 Antena)

$$Pr = \frac{30,42 \cdot (2511,88)^2 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 7720)^2} = 6,479 \cdot 10^{-5} \text{ W} \quad = -41,69 \text{ dBm.}$$

Los cuales son menores a -39 que es lo que se necesita como mínimo

habría que bajar el ancho de banda (a 80 MHz)

o cambiar la modulación, pero el ejercicio pide modulación 12X por los 12.12 m de distancia

## Hoja de Respuesta

Venficar distancias

$$\text{Enel - Sta Elena} = \begin{cases} d_1 = \sqrt{2 \cdot 8497000 \cdot 60} = 31,93 \text{ Km} \\ d_2 = \sqrt{2 \cdot 8497000 \cdot 54} = 30,29 \text{ Km} \end{cases} \rightarrow 2,22 \text{ Km} > 4,730 \text{ Km}$$

$$\text{Sta Elena - Reina} = \begin{cases} d_1 = 30,29 \text{ Km} \\ d_2 = 30,29 \text{ Km} \end{cases} \begin{cases} 60,58 \text{ Km} \\ > 10,010 \text{ Km} \end{cases}$$

$$\text{Sta Elena - Sta Raquel} \quad \begin{cases} d_1 = 30,29 \text{ Km} \\ d_2 = 30,29 \text{ Km} \end{cases} \begin{cases} 60,58 \text{ Km} \\ > 8,390 \text{ Km} \end{cases}$$

$$\text{Sta Raquel - Florida} \quad \begin{cases} d_1 = 30,29 \text{ Km} \\ d_2 = 30,29 \text{ Km} \end{cases} \begin{cases} 60,58 \text{ Km} \\ > 5,450 \text{ Km} \end{cases}$$

$$\text{Sta Raquel - Sta Rosa} \quad \begin{cases} d_1 = 30,29 \text{ Km} \\ d_2 = 30,29 \text{ Km} \end{cases} \begin{cases} 60,58 \text{ Km} \\ > 3,600 \text{ Km} \end{cases}$$

) Enel - Sta Elena:

$$Pr = \frac{(31,62 - 1,2) \cdot (2511,88)^2 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 4730)^2} = 1,806 \cdot 10^4$$

$$\boxed{Pr = -34,43 \text{ dBm.}}$$

$$\boxed{16 = 34 \text{ dB}}$$

$$\boxed{\text{Capacidad agregada} = 1313,28 \text{ Mbps}}$$

## Hoja de Respuesta

c) Reina y Florida  $d = 9640 \text{ m}$

$$P_r = 13 \text{ dBm} \quad A_{\text{en}} = 1 \text{ W.} \quad G_t = 34 \text{ dBi}$$

$$\Pr = \frac{(31,62-1) \cdot (2511,88)^2 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 9640)^2} = 4,376 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

$$= -43,59 \text{ dBm}$$

x debe ser mayor a  $-39 \text{ dBm}$   
cambiar ancho de banda a  $(60 \text{ Hz})$

d) Santa Elena - Santa Raquel

$$\Pr = \frac{(31,62-1) (2511,88)^2 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 8390)} = 5,577 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

$$= -42,38 \text{ dBm.}$$

x debe ser mayor a  $-39 \text{ dBm}$   
cambiar ancho de banda a  $60 \text{ Hz}$

e) Santa Raquel - Florida

$$\Pr = \frac{(31,62-1) (2511,88)^2 \cdot (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 5450)} = 1,32 \cdot 10^{-4} \text{ W}$$

$$\boxed{\Pr = -38,79 \text{ dBm}}$$

$$\boxed{| G_t = 34 \text{ dBi} |}$$

$$\boxed{| \text{capacidad agregada} = 1313,28 \text{ M Hz} |}$$

f) Santa Raquel - Santa Rosa

$$\Pr = \frac{(31,62-1) (2511,88)^2 (3,324 \cdot 10^{-3})}{(4\pi \cdot 3600)^2} = 3,137 \cdot 10^{-4} \text{ W}$$

$$\boxed{| \Pr = -35,03 \text{ dBm.} |}$$

$$\boxed{| G_t = 34 \text{ dBi} |}$$

$$\boxed{| \text{capacidad agregada} = 1313,28 \text{ M Hz} |}$$

1  
4  
3  
8  
4  
16  
32  
6  
64.  
7 128

## Hoja de Respuesta

1.4.2 Capa de red: 10.20.48.0 /20

## 2) Servicio:

- Dirección subred
- Máscara
- Dir IP default gateway.

	telefonía	Seguridad	RDUA	SCADA
- Sta Rosa	1	5	10	28
- Sta Raquel	2	5	10	30
- Florida	1	5	13	28
- Reina	2	2	11	40
sta Elena	1	2	10	20
(+)	(19)	(54)	(146)	

SCADA	necesario	Dirección subred	máscara	Dir IP default gateway
	146 + DG (8)	10.20.48.0	255.255.255.0 /24	10.20.48.1/24
RDUA	54 + DG (7)	10.20.49.0	255.255.255.128 /29	10.20.49.1/25
Seg.	19 + DG. (6)	10.20.49.128	255.255.255.192 /26	10.20.49.129/26
Tele	7 + DG (5)	10.20.49.192	255.255.255.192 /26	10.20.49.193/26

3) Punto a Punto, → ya que se comporta como switch, se agregan 2 host

SCADA	Dirección subred	Máscara	Dirección IP extremo
Reina	10.20.48.2	255.255.255.192 /26	10.20.48.3 - 10.20.48.62

Sta Raquel	10.20.48.64	255.255.255.192 /26	10.20.48.65 - 10.20.48.124
---------------	-------------	------------------------	-------------------------------

Sta Raquel	10.20.48.126	255.255.255.192 /26	10.20.48.127 10.20.48.186
---------------	--------------	------------------------	------------------------------

Florida	10.20.48.189	255.255.255.224 /27	10.20.48.189 10.20.48.216
---------	--------------	------------------------	------------------------------

Sta Elena	10.20.48.218	255.255.255.224 /27	10.20.48.219 10.20.48.248
--------------	--------------	------------------------	------------------------------

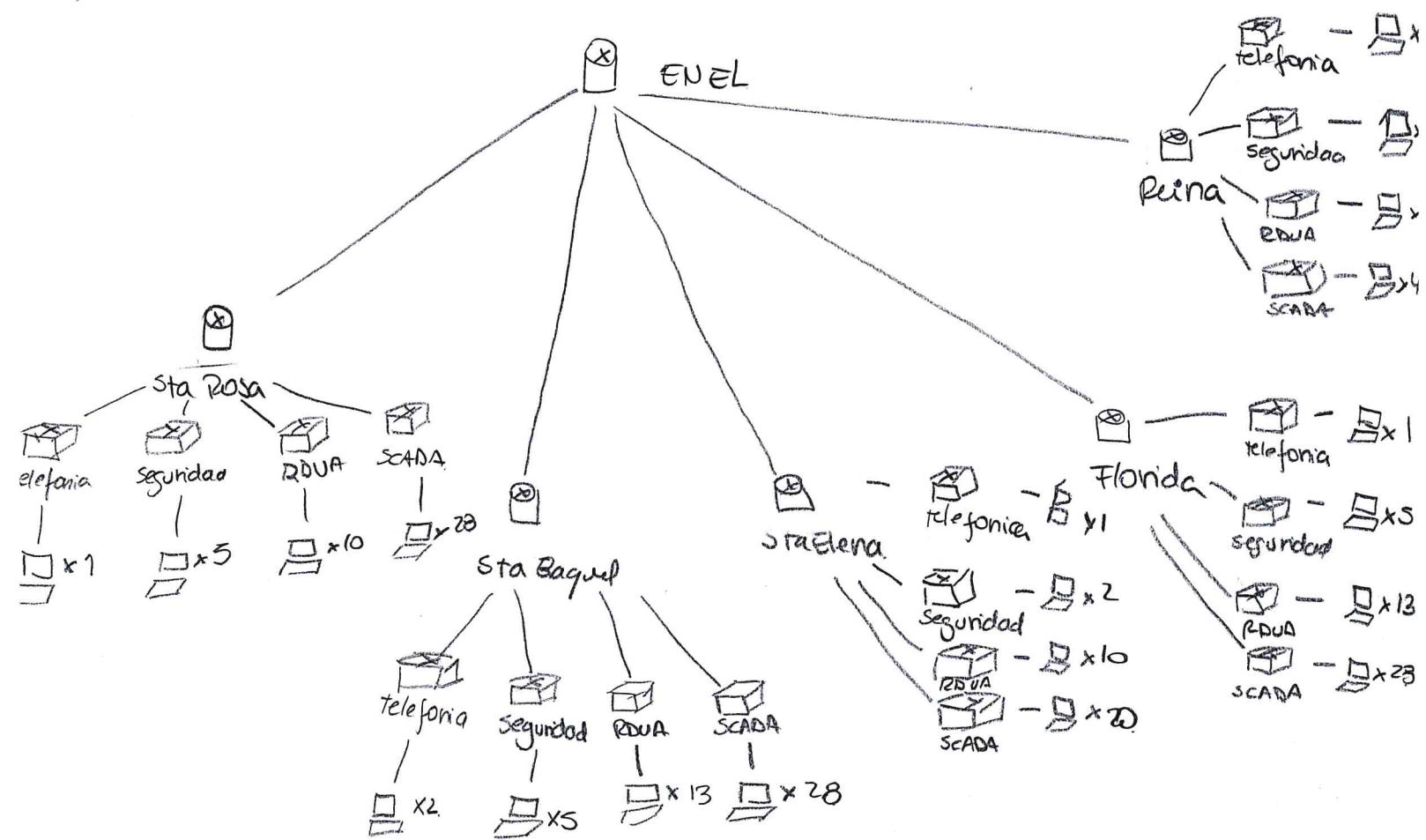
## Hoja de Respuesta

<u>RUA</u>	Dir subnet	máscara	IP extremo
Florida	10.20.49.2	255.255.255.224 /27	10.20.49.3 10.20.49.32
Reina	10.20.49.34	255.255.255.240 /28	10.20.49.35 10.20.49.48
Sta Rosa	10.20.49.50	255.255.255.240 /28	10.20.49.51 10.20.49.64
Sta Raquel	10.20.49.66	255.255.255.240 /28	10.20.49.67 10.20.49.80
Sta Elena	10.20.49.82	255.255.255.240 /28	10.20.49.83 10.20.49.96
<u>Seguridad</u>	Dir subnet	máscara	IP extremos
Sta Rosa	10.20.49.130	255.255.255.240 /28	10.20.49.131 10.20.49.144
Sta Raquel	10.20.49.146	255.255.255.240 /28	10.20.49.147 10.20.49.160
Florida	10.20.49.162	255.255.255.240	10.20.49.163
Reina	10.20.49.176	255.255.255.248 /29	10.20.49.174 10.20.49.177
Sta Elena	10.20.49.184	255.255.255.248 /29	10.20.49.182 10.20.49.185 10.20.49.190

## Hoja de Respuesta

	Dir subnet	Máscara	IP extremos
Telefónica	10.20.49.194	255.255.255.248 /29	10.20.49.195 10.20.49.200
Sta Raquel	10.20.49.202	255.255.255.248 /29	10.20.49.203 10.20.49.208
Reina	10.20.49.210	255.255.255.248 /29	10.20.49.211 10.20.49.216
Sta Rosa	10.20.49.218	255.255.255.248 /29	10.20.49.219 10.20.49.224
Florida	10.20.49.226	255.255.255.248 /29	10.20.49.227 10.20.49.232
Sta Elena			

1.4.2. 4.-)



⊗ = router

□ = switch

■ = computador.



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

07 de junio de 2023

Nombre: Benjamín Reyes

RUT: 19.953.458-0

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.  $\rightarrow h_1$
- El edificio Headquarter de ENEL tiene una altura de 60 metros. Su azotea puede ser utilizada para instalar equipos.  $\rightarrow h_2$
- 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  $\rightarrow f$
- La constante para la velocidad de la luz es de 299792458 m/s.  $\rightarrow c$
- La potencia máxima a utilizar es de 15 dBm (*Suggested Max. TX Power*).  $\rightarrow P_t$
- 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.  $\rightarrow \downarrow$
- 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	= 45
S/E Santa Raquel	2	5	10	30	= 48
S/E Florida	1	5	13	28	= 43
S/E La Reina	2	2	11	40	= 56
S/E Santa Elena	1	2	10	20	= 44

## 1.4. Preguntas

### 1.4.1. Diseño de la capa de transporte

1. 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.

2. 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)

3. 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)

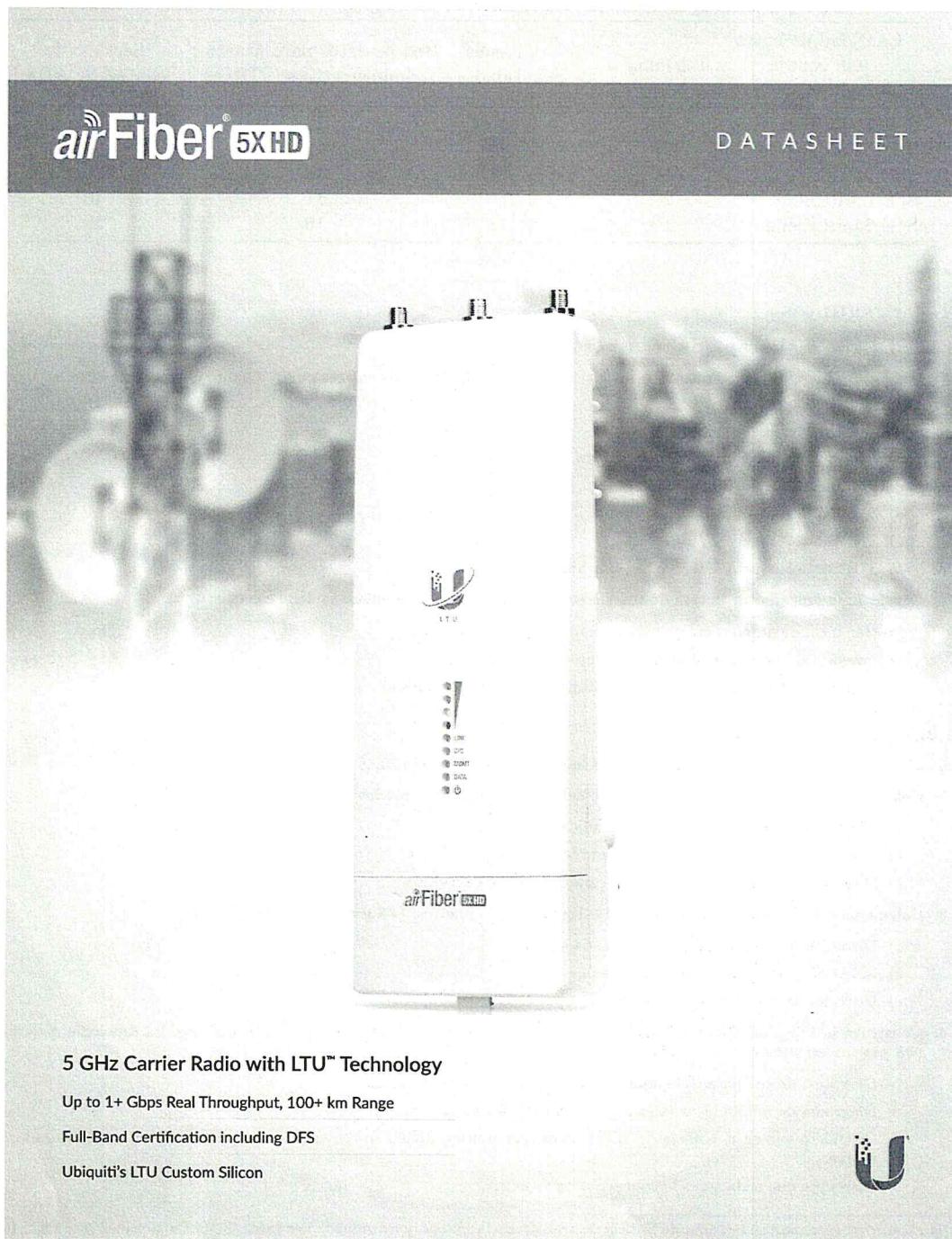
4. Construya la topología de red lógica de toda la red, considerando routers y switch necesarios. La topología debe incluir: (55 puntos en total)

- 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





## DATA SHEET

**Deployment Flexibility**

The AF-SXHD 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-SXHD 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-SXHD. Pair the AF-SXHD 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-SXHD 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-SXHD.



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

 $\rightarrow 24$ 

Modulation Rate	Modulation	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

$$-42,54 - 24 = -66,54$$

$$\rightarrow -42,54 \text{ dB}$$

$-66,54$   $\curvearrowleft 24 \text{ dBm}$





## 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

$$\frac{S}{N} = \frac{R_b^2 G_b}{B_n N_0}$$



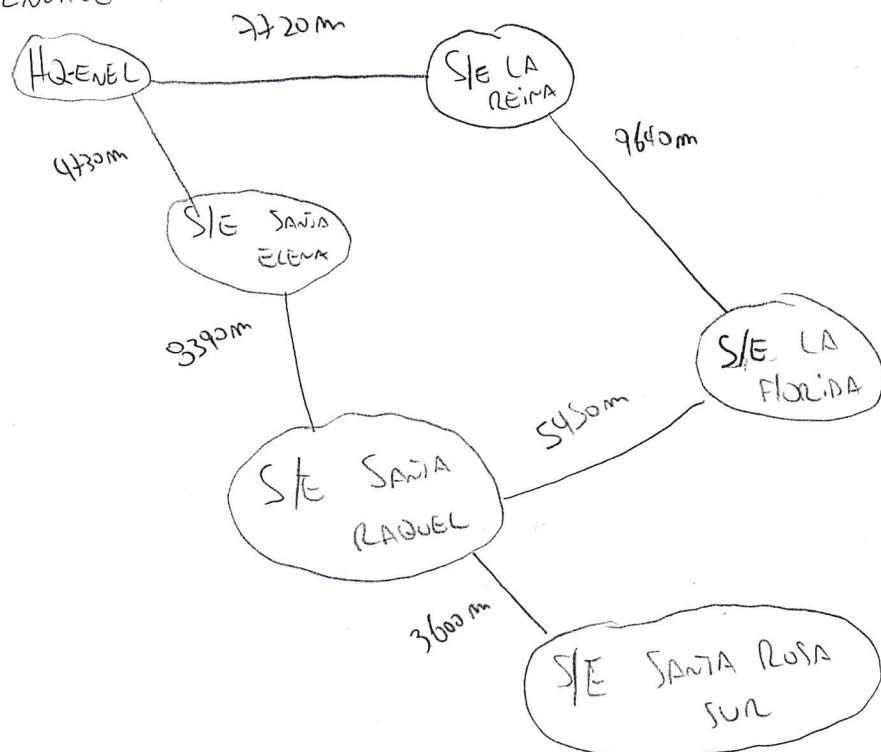
Spec. figures are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at [www.ubnt.com/warranty](#).  
 The limited warranty covers the cost of repair or replacement of individual units, and is non-transferable, assuring protection instead of pure tools or class actions.  
 © 2010-2020 Ubiquiti Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti logo, the Ubiquiti beam logo, airMAX, airMAX, airOS, airCloud, LTM, NanoStation, Prism, Rocket, RocketDish, UBIOS, and iFi 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

1.4.1

ENLACES



## • CALCULAMOS SUS DISTANCIAS

$$h_s = \text{ALTURA TORRE SUBESTACIÓN}$$

$$r = \text{RADIO DE LA TIERRA} = 6378 \text{ km}$$

$$h_{HQ} = \text{ALTURA TORRE HQ}$$

$$d_{HQ} = \sqrt{2 \cdot r \cdot h_{HQ}} = \sqrt{2 \cdot 6378 \cdot 60} = 31931,80 \text{ m}$$

$$d_{SIELENA} = \sqrt{2 \cdot r \cdot h_s} = \sqrt{2 \cdot 6378 \cdot 51} = 30293,16 \text{ m}$$

$$d_{SIELENA} = d_{REINA} = d_{RAQUEL} = d_{FLORIDA} = d_{SANTAROSA}$$

## • COMPROBAMOS EL ENLACE POR DISTANCIA (LA DISTANCIA MAYOR ES SIE LA REINA (CON SIE LA FLORIDA))

$$9640 \text{ m} \leq 2 \cdot 30293,16 \text{ m} \quad | \quad d_{REINA} + d_{FLORIDA} = 2 \cdot 30293,16 \text{ m}$$

$\therefore$  NOSS SUBRA DISTANCIA

## Hoja de Respuesta

• VERIFICAMOS POTENCIA DE RECEPCIÓN

UTILIZANDO LA ANTENA AF-S630-S45

GANANCIA: 30 dB<sub>i</sub> = 1000 VECES

• CALCULAMOS POTENCIA DE RECEPCIÓN (PRIMERO PARA EL ENLACE MÁS LARGO)

$$P_L = \frac{P_t + G_t + G_r - \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

$$d = 9640 \text{ m}$$

$$P_L = \frac{251,18(1000)^2 \cdot (0,057)^2}{(4\pi \cdot 9640)^2} = 55,61 \times 10^{-6} \text{ mW} = -42,54 \text{ dBm}$$

USANDO 64 QAM. TENEMOS 328,32 Mbps, QUE NOS ALCANZA PARA NUESTRO DÉPOR CASO EN DONDE SE HACE 3 VECES EL FLUJO (300 Mbps), DADO QUE LA SENSIBILIDAD ES -63 dBm, SE PUEDE OCUPAR.

• CALCULAMOS GANANCIA, POTENCIA PARA CADA ENLACE PARA 300 Mbps

TQ-ENEL  $\rightarrow$  SIE LA REINA:  $G_t = G_r = 30 \text{ dB}_i$ ;  $P_L = -40,61 \text{ dBm}$

TQ-ENEL  $\rightarrow$  SIE SANTA ELENA:  $G_t = G_r = 30 \text{ dB}_i$ ;  $P_L = -36,36 \text{ dBm}$

SIE LA REINA  $\rightarrow$  SIE FLORIDA:  $G_t = G_r = 30 \text{ dB}_i$ ;  $P_L = -42,54 \text{ dBm}$

I.E SANTA ELENA  $\rightarrow$  SIE SANTA RAQUEL:  $G_t = G_r = 30 \text{ dB}_i$ ;  $P_L = -41,34 \text{ dBm}$

I.E SANTA RAQUEL  $\rightarrow$  SIE FLORIDA:  $G_t = G_r = 30 \text{ dB}_i$ ;  $P_L = -37,54 \text{ dBm}$

I.E SANTA RAQUEL  $\rightarrow$  SIE SANTA ROSA SUR:  $G_t = G_r = 30 \text{ dB}_i$ ;  $P_L = -33,99 \text{ dBm}$

DATOS

$$f = 5200 \text{ MHz} = 5,2 \text{ GHz}$$

$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 100 \text{ MHz}$$

$$P_t = 24 \text{ dBm} = 251,18 \text{ mW}$$

$$\lambda = \frac{299792458}{5200000000} = 0,057$$

- SEGURO = VIDEO VIGILANCIA SEGURIDAD.
- SCADA = SERVICIO DE CONTROL SCADA

## Hoja de Respuesta

1.4.2. 2)

SIE SANTA ROSA SUR

SERVICIO DE CONTROL SCADA :

SUBRED : 10.20.48.0 /27

MASCARA : 255.255.255.224

GATEWAY : 10.20.48.1

SUBRED : 10.20.48.32 /28

MASCARA : 255.255.255.240

GATEWAY : 10.20.48.33

SUBRED : 10.20.48.0 /27

SEGURIDAD :

SUBRED : 10.20.48.48 /29

MASCARA : 255.255.255.248

GATEWAY : 10.20.48.49

TELEFONIA

SUBRED : 10.20.48.56 /30

MASCARA : 255.255.255.252

GATEWAY : 10.20.48.57

SIE SANTA RAQUEL

SCADA :

SUBRED : 10.20.49.0 /27

MASCARA : 255.255.255.224

GATEWAY : 10.20.49.1

RDUA :

SUBRED : 10.20.49.32 /28

MASCARA : 255.255.255.240

GATEWAY : 10.20.49.33

SEGURIDAD :

SUBRED : 10.20.49.48 /29

MASCARA : 255.255.255.248

GATEWAY : 10.20.49.49

TELEFONIA :

SUBRED : 10.20.49.56 /30

MASCARA : 255.255.255.252

GATEWAY : 10.20.49.57

\* Solo SE Considero IPs PARA LOS HOSTS,

**Hoja de Respuesta**SIE FLORIPA

SCADA :

SUBRED: 10.20.50.0 /27  
MASCARA: 255.255.255.224  
GATEWAY: 10.20.50.1

RDUA

SUBRED: 10.20.50.32 /28  
MASCARA: 255.255.255.240  
GATEWAY: 10.20.50.33

SEGURIDAD:

SUBRED: 10.20.50.48 /29  
MASCARA: 255.255.255.240  
GATEWAY: 10.20.50.49

TELÉFONIA :

SUBRED: 10.20.50.56 /30  
MASCARA: 255.255.255.252  
GATEWAY: 10.20.50.57

SIE LA REINA

SCADA :

SUBRED: 10.20.51.0 /26  
MASCARA: 255.255.255.192  
GATEWAY: 10.20.51.1

RDUA

SUBRED: 10.20.51.64 /28  
MASCARA: 255.255.255.240  
GATEWAY: 10.20.51.65

SEGURIDAD

SUBRED: 10.20.51.80 /30  
MASCARA: 255.255.255.252  
GATEWAY: 10.20.51.81

TELÉFONIA

SUBRED: 10.20.51.84 /30  
MASCARA: 255.255.255.252  
GATEWAY: 10.20.51.85

## Hoja de Respuesta

SIE SANTA HELENA

SCADA:

SUBRED: 10.20.52.0 /27  
MASCARA: 255.255.255.224

GATEWAY: 10.20.52.1

RDUA

SUBRED: 10.20.52.32 /28  
MASCARA: 255.255.255.240

GATEWAY: 10.20.52.33

SEGURIDAD

SUBRED: 10.20.52.48 /30  
MASCARA: 255.255.255.252

GATEWAY: 10.20.52.49

SUBRED: 10.20.52.52 /30

MASCARA: 255.255.255.252

GATEWAY: 10.20.52.53

1.4.2.3) Como cada conexión se hace con 2 switch (conectando a un router).  
Se asume que todo esto sera una SUBRED, como son 6 puntos, minimo necesita 6 host. Por lo tanto su dirección de SUBRED y MASCARA sera igual.

SUBRED: 10.20.53.0 /28

MASCARA: 255.255.255.240

SIE SANTA ROSA SUR: 10.20.53.1

SIE SANTA RAQUEL: 10.20.53.2

SIE FLORIDA: 10.20.53.3

SIE LA REINA: 10.20.53.4

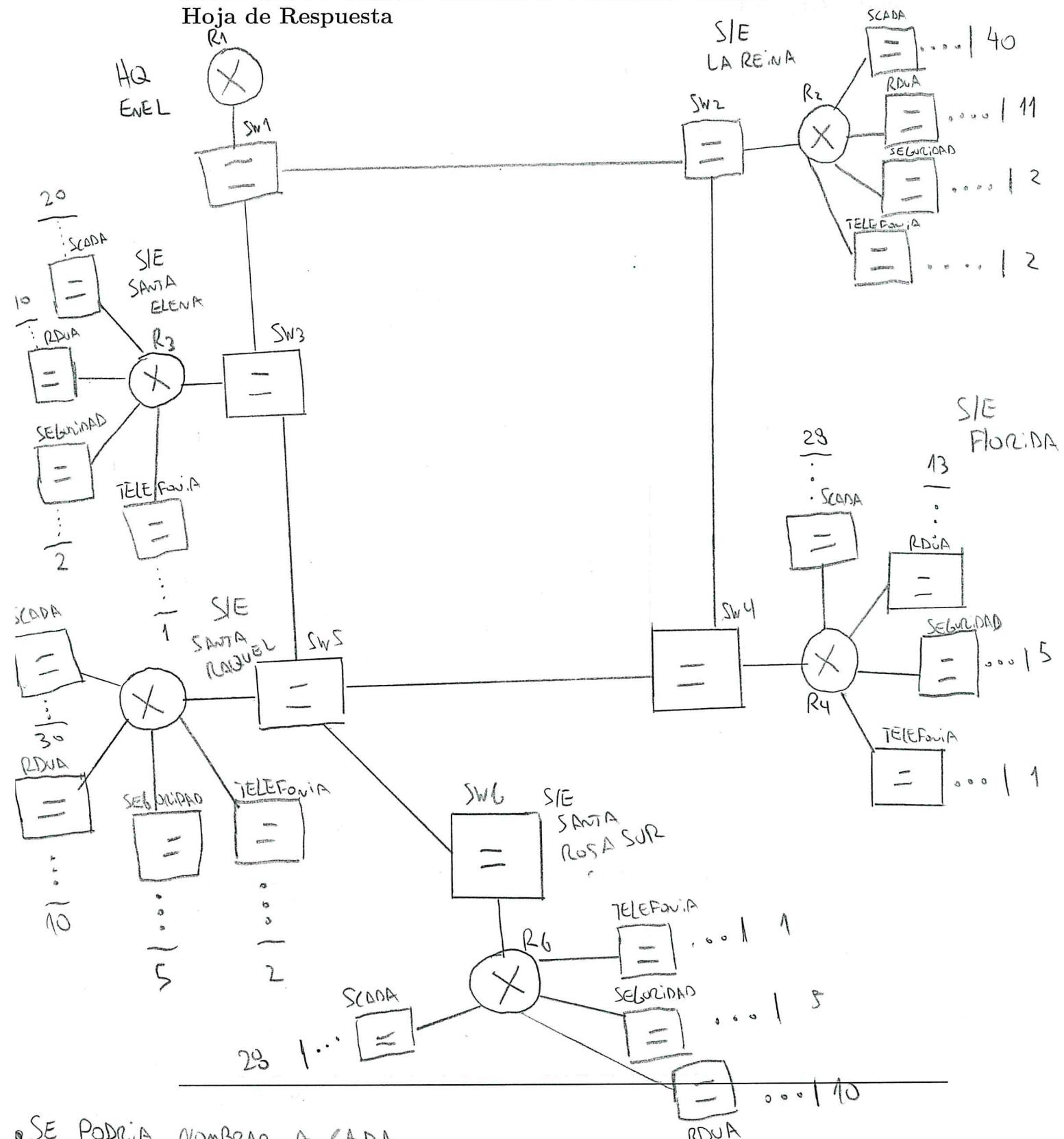
SIE SANTA ELENA: 10.20.53.5

HQ ENEL: 10.20.53.6

\* SE DEJO EN 14 IPs UTILIZABLE EN CASO QUE SE QUIERA PONER ID A LA INTERFAZ DEL ROUTER Y AL SWITCH

$\textcircled{X}$  = KERVIC  
 $\square$  = SWITCH  
 $\dots |$  = HOST

### Hoja de Respuesta



• SE PODRIA NOMBRAR A CADA  
 SWITCH DE SERVICIO "SW-*SIE*-*SERVICIOS*  
 EJ: SW-FLORIDA-TELEFONIA

## Hoja de Respuesta

---