



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 Alejandro Becerra Lopez

RUT: 18638976-K

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.

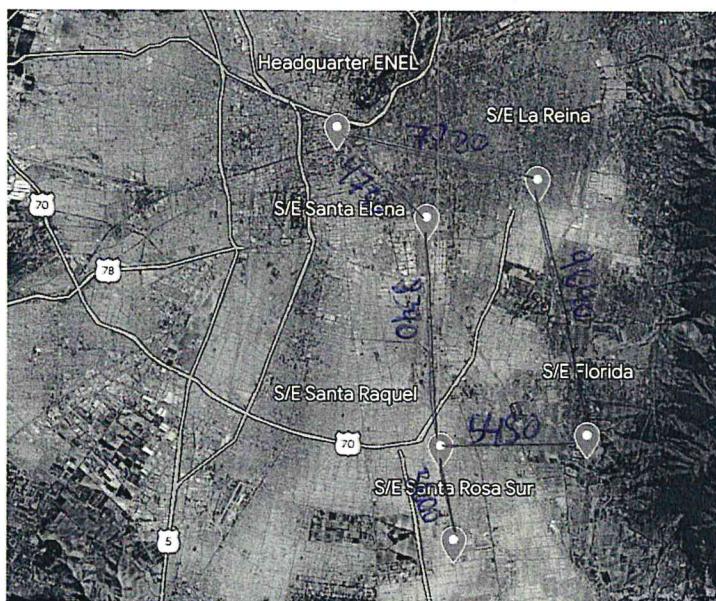


Figura 1: Ubicación de las subestaciones de ENEL utilizadas en este examen

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 (RDUUA):** 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 4/2	5 8/6	10 76/14	28 32/30
S/E Santa Raquel	2 4/2	5 8/6	10 76/14	30 32/30
S/E Florida	1 4/2	5 8/6	13 76/14	28 32/30
S/E La Reina	2 4/2	2 9/2	11 76/14	40 64/62
S/E Santa Elena	1 4/2	2 4/2	10 76/14	20 32/30

$$(1,62)(4,30)(5,14)(3,6)(7,2)$$

#### 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)

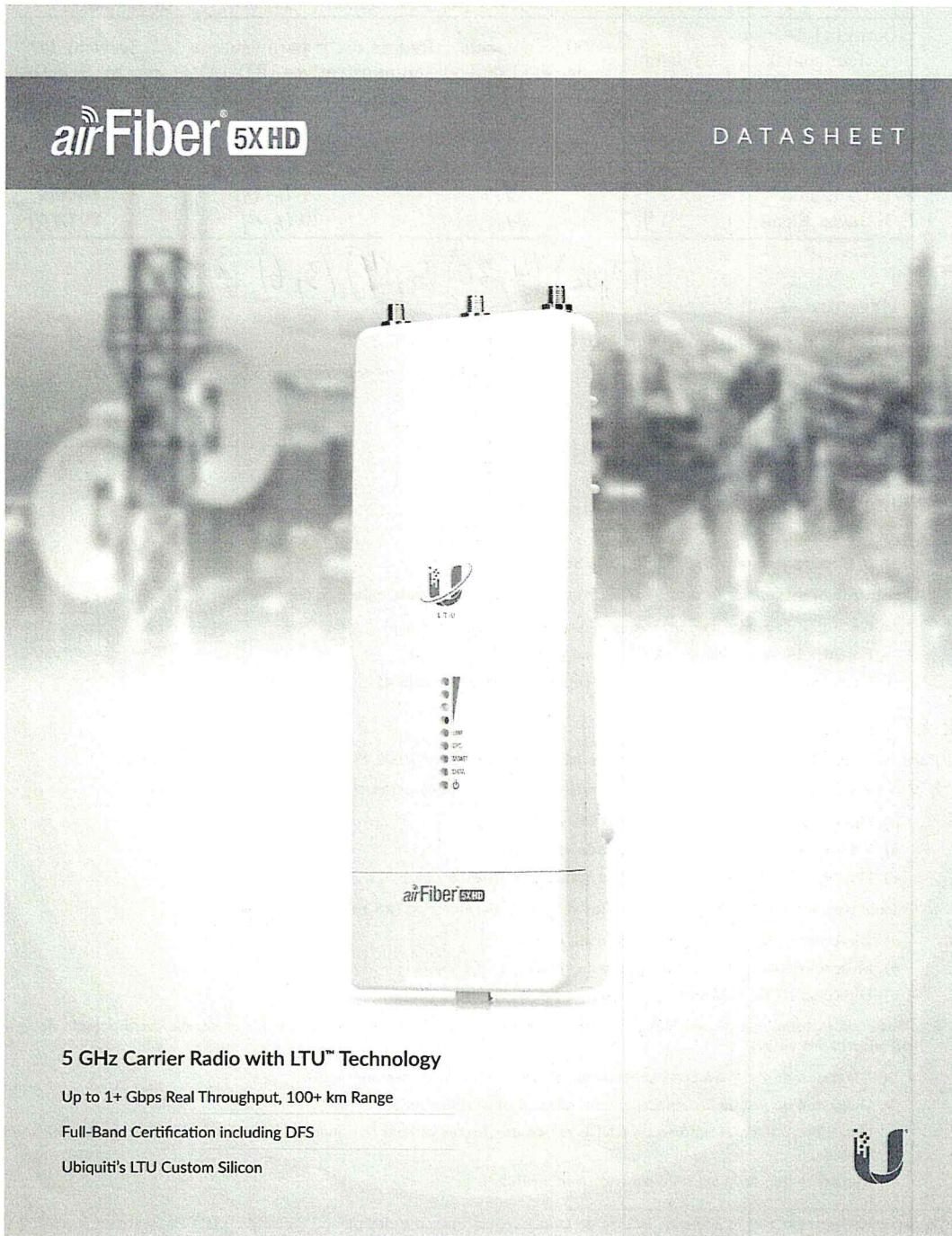
- Construya la topología de red lógica de toda la red, considerando routers y switch necesarios. La topología debe incluir: (55 puntos en total)

- 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-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

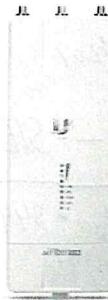
Modulation Rate	Modulation	Receive Sensitivity (dBm)							
		10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
12x	4096QAM	-56	-53	-51	-49	-47	-44	-42	-39
10x	1024QAM	-66	-63	-61	-59	-57	-55	-53	-51
8x	256QAM	-72	-69	-67	-65	-63	-61	-59	-57
6x	64QAM	-78	-75	-73	-71	-69	-67	-65	-63
4x	16QAM MIMO	-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

MCS		TDD Capacity (Mbps)*							
		Channel Width							
		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



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 covers the cost of return to repair disputes on an individual basis and, where applicable, solely arbitration instead of jury trials or class actions.  
©2010-2020 Ubiquiti Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti logo, airFiber, airMAX, airOS, airFoil, LRU, NanoStation, Prism, Rocket, RocketDish, UniFi, and iQoN are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and/or 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 media are trademarks of Google LLC. All other trademarks are the property of their respective owners.

AUGUSTO20

## Hoja de Respuesta

1.4) Consideraremos el peor caso de distancia para determinar la antena a utilizar

S/E La Reina - S/E La fabrica 9640 m

$$d_{\max} = \sqrt{2 \cdot 54m \cdot 8497 \cdot 10^3} + \sqrt{2 \cdot 54m \cdot 8497 \cdot 10^3} = 60586,34 \text{ m}$$

Prec

	23 dBi	30 dBi	34 dBi
veces	199.526	1000	2511.886
$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot 10^{-7}}{(4\pi d)^2}$	$1,251 \cdot 10^{-7}$	$3,142 \cdot 10^{-6}$	$7,933 \cdot 10^{-5}$
dbm	-69,027	-55,027	-47,027

$$2 = \frac{299792458 \text{ m/s}}{5200000 \text{ Hz}} = 0,0576 \quad P_t = 15 \text{ dbm} = 10^{\left(\frac{15}{20}\right)} \approx 31,623 \text{ veces}$$

Con la potencia de transmisión usada la modulación asociada tiene una sensibilidad de -39 dbm, esta es mayor para las distintas antenas por lo que es mejor usar otra potencia de transmisión

$$P_t = 22 \text{ dbm} = 10^{\left(\frac{22}{20}\right)} \approx 158,489 \text{ veces}$$

	23 dBi	30 dBi	34 dBi
$P_r$	$6,24 \cdot 10^{-7}$	$1,575 \cdot 10^{-6}$	$9,936 \cdot 10^{-5}$
dbm	-62,027	-48,02	-40,02

La sensibilidad de la modulación es -57 por lo que se pueden usar 2 antenas como alternativa

$$P_t = 24 \text{ dbm} = 10^{\left(\frac{24}{20}\right)} \approx 794,328 \text{ veces} \quad P_t = 24 \text{ dbm} = 251,188$$

23 dBi

	$P_{t24}$	$P_t = 24$
$P_r$	$3,142 \cdot 10^{-6}$	$9,936 \cdot 10^{-7}$
dbm	-55,02	-60,0

Para una  $P_t$  de 24 dbm o una  $P_t$  de 24 dbm la modulación asociada, ~~presente la~~ la sensibilidad es menor al  $P_r$  para las antenas de menor ganancia

## Hoja de Respuesta

Se usará entonces  $P_t = 24 \text{ dbm}$  para los otros casos y así poder utilizar las antenas con menor ganancia.

a) para el enlace S/E La Reina - S/E La Florida

Ganancia de antenas 23 dBi

$$Pr = -60 \text{ dbm}$$

Modulación 64QAM  $\Rightarrow$  TDD capacity = 656,64 [Mbps]

b) Para el enlace Headquarter ENEL y S/E La Reina

$$d_{\max} = \sqrt{2 \cdot 54 \cdot 8497 \cdot 10^3} + \sqrt{2 \cdot 60 \cdot 8497 \cdot 10^3} = 30,293,168 + 37937,80 = 62224,97 \text{ m}$$

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

$$Pr = \frac{251,188 \cdot 199,526^2 \cdot 0,0576}{(4\pi \cdot 62224,97)^2} = 9,420 \cdot 10^{-7} = -60,25 \text{ dbm} > -63 \text{ dbm}$$

Capacidad = 656,64 [Mbps]

c) Para el enlace Headquarter ENEL y S/E Santa Elena

$$d_{\max} = 62224,97$$

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

$$Pr = -60,25 \text{ dbm}$$

Capacidad = 656,64 [Mbps]

Como las distancias de los otros enlaces están dentro de la  $d_{\max}$  y la altura de las torres son las mismas se usan las mismas ganancias y potencias de transmisión, por lo tanto, la ganancia es de 23 dBi, la  $Pr = -60$  y la capacidad es de 656,64 [Mbps] para el resto de los enlaces

## Hoja de Respuesta

## 14.2) Diseño de Red

Asumiendo que no es necesario optimizar

Se tiene una /20  $\Rightarrow$  que se tienen 40 host

Si se usa como una red, ~~40 hosts~~ si la posamos a una /24 tendríamos 16 ~~host~~ subredes de 254 host cada una.

Para los host que necesitamos para los servicios de cada subestación lo maximo que se necesita en al menos 1 de ellos es 40 por lo que podemos asignar una red de 62 a este, Son 20 subredes las que se necesitan para estos servicios

<del>254 disponibles</del>	1 - 1 de 62 host	254 host - en total que se usaran
	4 - 4 de 30 host	
	8 - 5 de 14 host	
	4 - 3 de 6 host	
	8 - 7 de 2 host	
	Sin GW	

Así que de nuestras 20 subredes podríamos usar entre 2 a 3 de estas dependiendo de las divisiones que hagamos

$$/20 = 255.255.240.0$$

$$27/255.255.255.224$$

$$30/255.255.255.252$$

$$/24 = 255.255.255.0$$

$$28/255.255.255.240$$

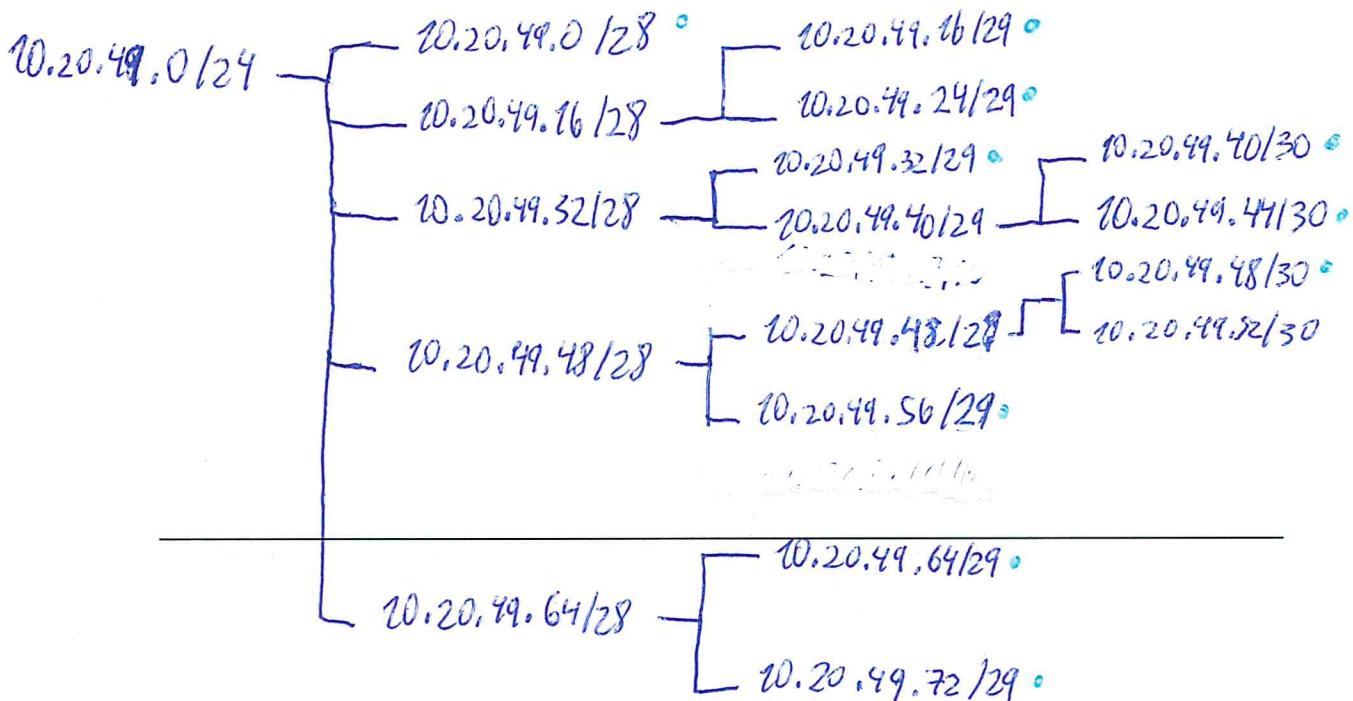
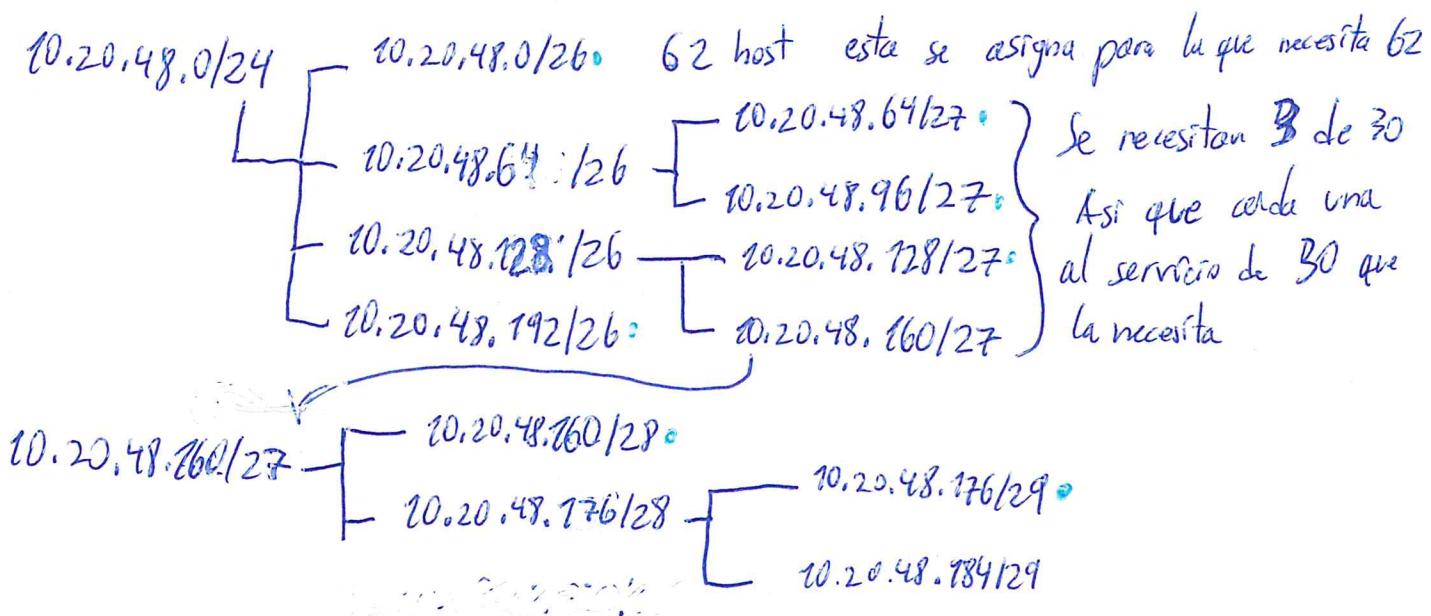
$$/26 = 255.255.255.192$$

$$29/255.255.255.248$$

Lo hice de nuevo  
después

## Hoja de Respuesta

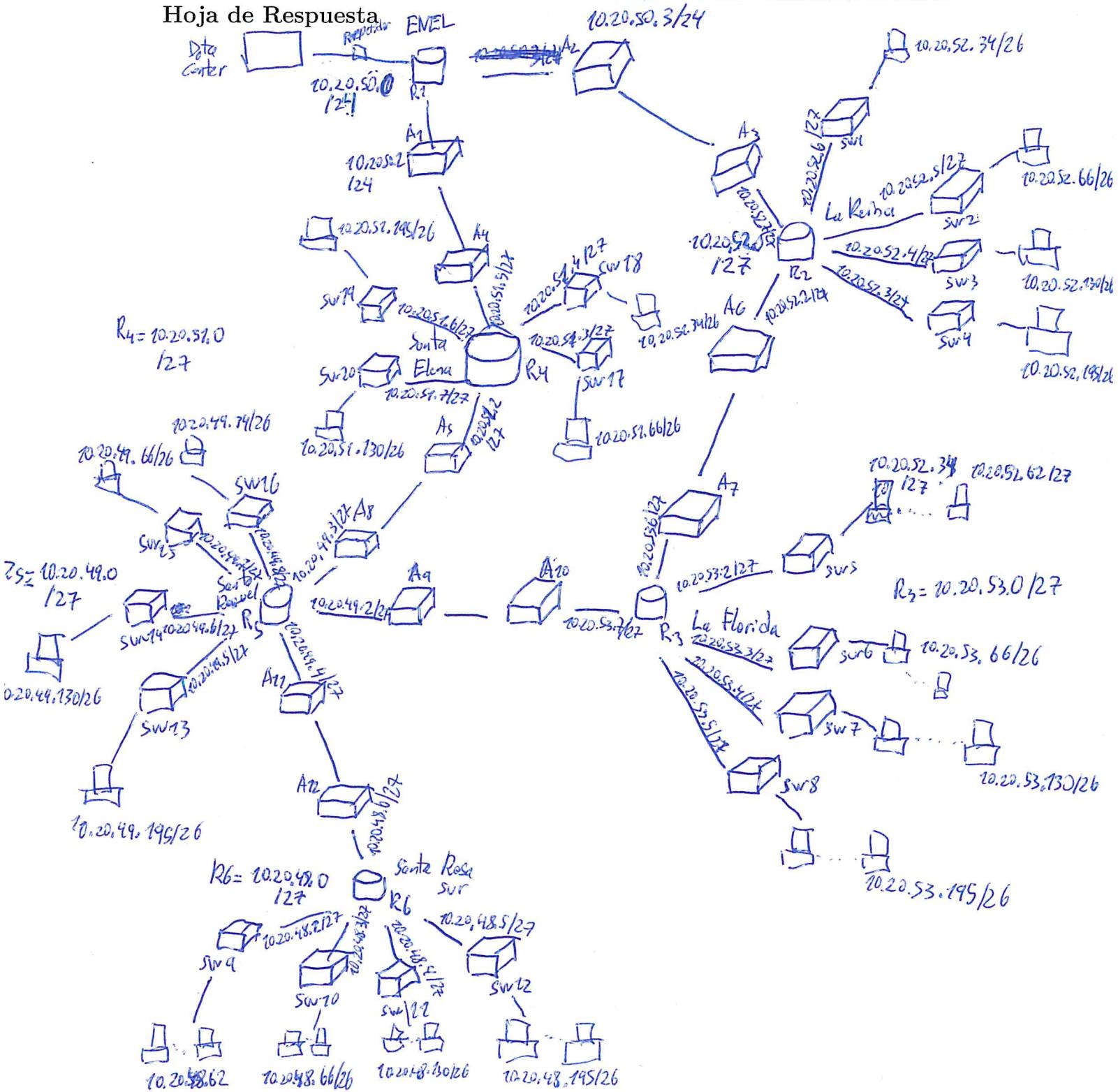
Entonces con lo anteriores tenemos la base  $10.20.48.0/20$ , la pasamos a  $16/24$ , tomamos la primera



## Hoja de Respuesta

---

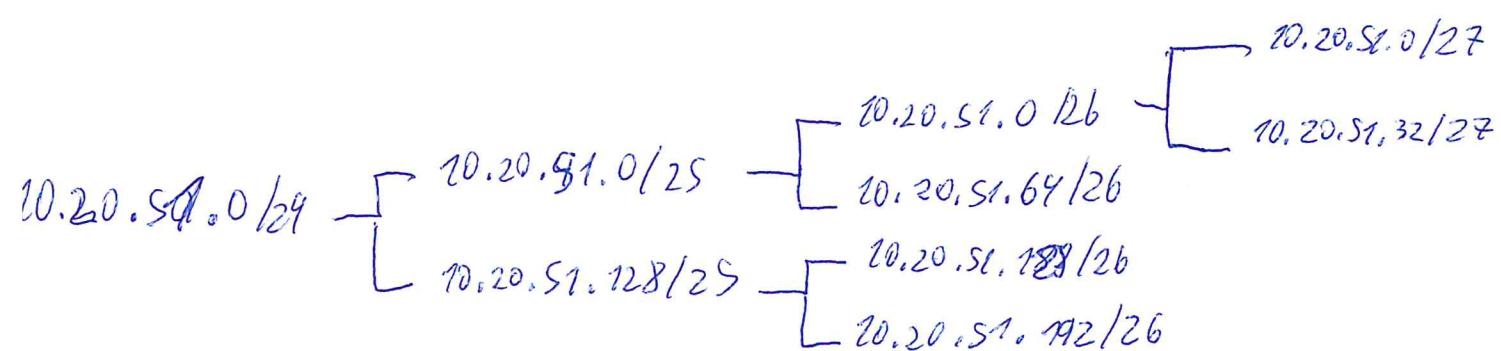
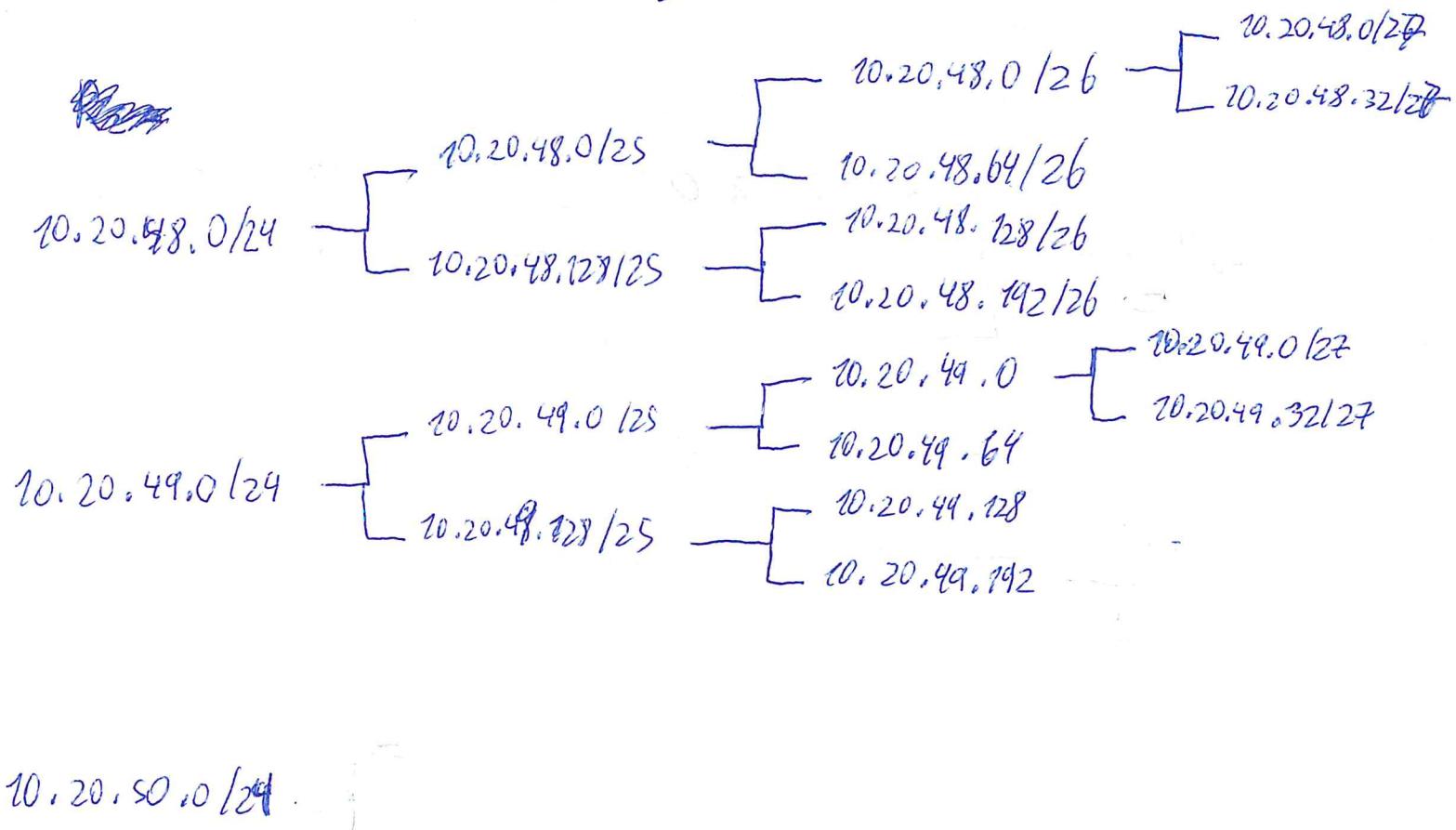
## Hoja de Respuesta

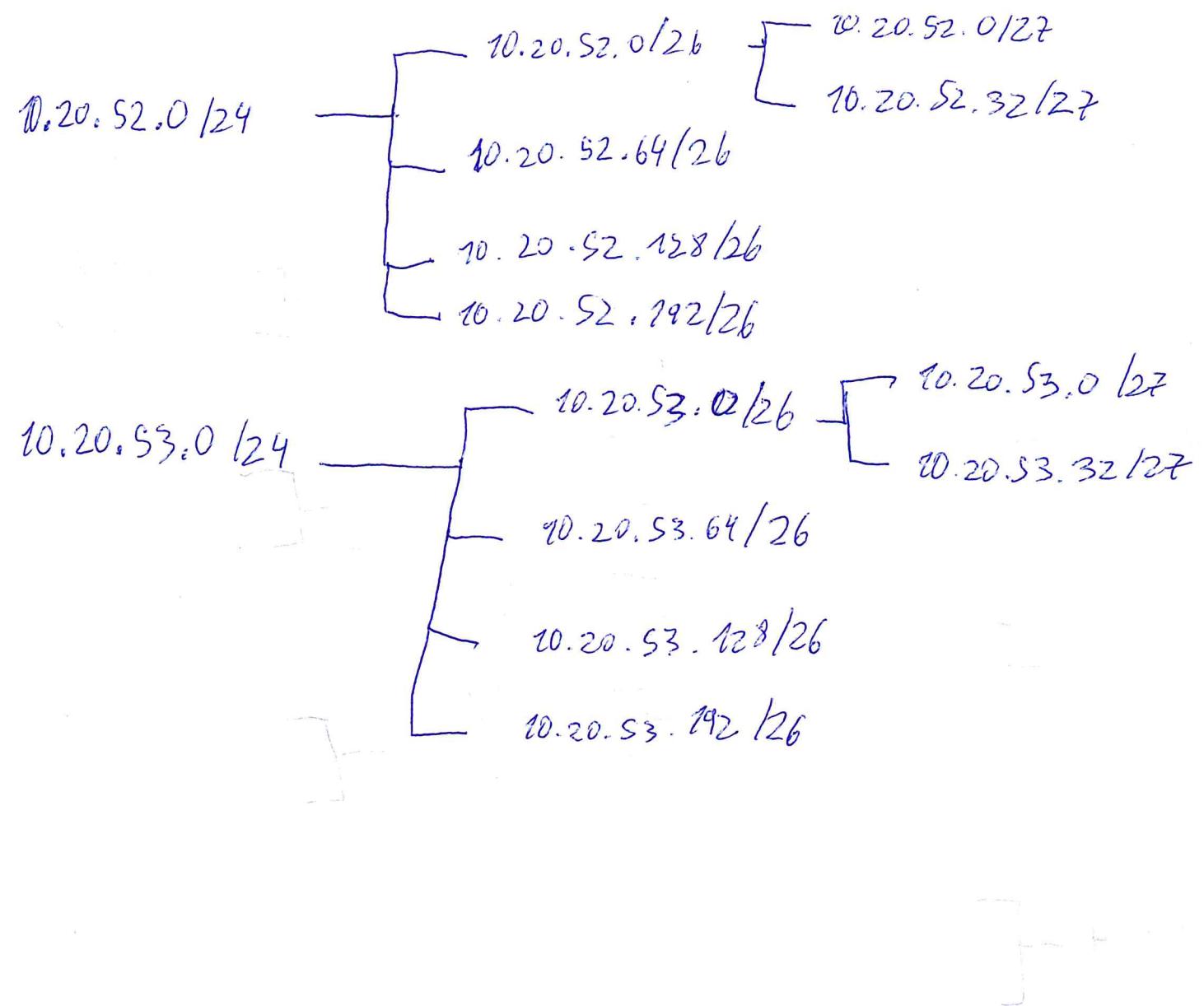




## Seis Routers con sus Redes

Primero dividimos la red  $10.20.48.0/20$  a  $10.20.48.0/24$  Para Escalamiento en el futuro. Serán 16 Subnets





		Telefonia	Videovigilancia	RDUA	SCADA
IF nterface	IP: Mask: GW:	10.20.48.32 255.255.255.224 10.20.48.1	10.20.48.64 255.255.255.192 10.20.48.1	10.20.48.128 255.255.255.192 10.20.48.1	10.20.48.192 255.255.255.192 10.20.48.1
unità Reput		10.20.49.32 255.255.255.224 10.20.49.1	10.20.49.64 255.255.255.192 10.20.49.1	10.20.49.128 255.255.255.192 10.20.49.1	10.20.49.192
Florida		10.20.52.32 255.255.255.224 10.20.52.1	10.20.52.64 255.255.255.192 10.20.52.1	10.20.52.128 255.255.255.192 10.20.52.1	10.20.52.192
La Reina		10.20.52.32 255.255.255.224 10.20.52.1	10.20.52.64 255.255.255.192 10.20.52.1	10.20.52.128 255.255.255.192 10.20.52.1	10.20.52.192
Santa Elena		10.20.51.32 255.255.255.224 10.20.51.1	10.20.51.64 255.255.255.192 10.20.51.1	10.20.51.128 255.255.255.192 10.20.51.1	10.20.51.192

IP de Router



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

07 de junio de 2023

Nombre: Tommy Rinaldi

RUT: 20.898.902-2

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.  $h = 54 \text{ m}$
- El edificio Headquarter de ENEL tiene una altura de 60 metros. Su azotea puede ser utilizada para instalar equipos.  $h = 60 \text{ m}$
- 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  $f = 5200 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- La constante para la velocidad de la luz es de 299792458 m/s.  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- 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

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

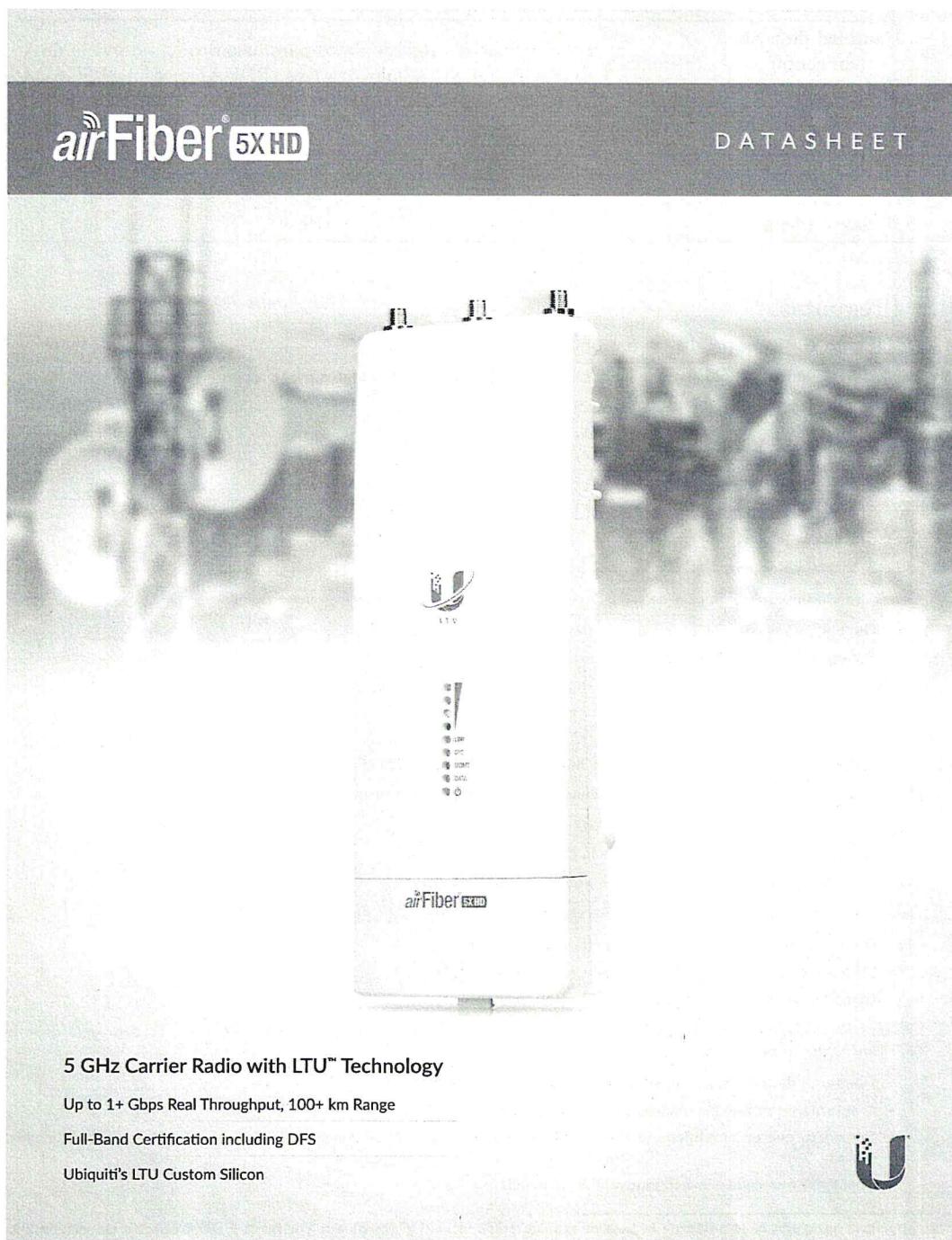
Para las siguientes preguntas considere que le han entregado la red 10.20.48.0/20 para poder subdividirla.

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-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.



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

MCS	TDD Capacity (Mbps)*							
	Channel Width							
	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
	Download	5.76	12.16	18.24	24.32	29.76	35.20	45.44
	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>
QPSK MIMO	Upload	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88
	Download	11.52	24.32	36.48	48.64	59.52	70.40	90.88
	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>
16 QAM MIMO	Upload	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76
	Download	23.04	48.64	72.96	97.28	119.04	140.80	181.76
	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>
64 QAM MIMO	Upload	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64
	Download	34.56	72.96	109.44	145.92	178.56	211.20	272.64
	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>
256 QAM MIMO	Upload	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52
	Download	46.08	97.28	145.92	194.56	238.08	281.60	363.52
	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>
1024 QAM MIMO	Upload	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40
	Download	57.60	121.60	182.40	243.20	297.60	352.00	454.40
	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>
4096 QAM MIMO	Upload	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28
	Download	69.12	145.92	218.88	291.84	357.12	422.40	545.28
	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/warranty/](http://ubnt.com/warranty/).  
The limited warranty requires the use of arbitration to resolve disputes on an individual basis, and, where applicable, specifies arbitration instead of jury trials or class actions.  
Ubiquiti Networks Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti logo, the UniFi logo, UniFi, UniFi AP, UniFi Bridge, UniFi Cloud Key, UniFi Controller, UniFi Protect, UniFi Dash, UniFi and iFi are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and/or other countries. Apple and the Apple logo are trademarks of Apple Inc. iPad is a service mark of Apple Inc. registered in the US and other countries. Android, Google Play and the Google Play logo are trademarks of Google LLC. All other trademarks are the property of their respective owners.

/Uku70270



## Hoja de Respuesta

1. Como la potencia máxima utilizada es 15 dBm el Modulation Rate debe ser 12X y Además si el canal debe ser de 100 MHz se tiene un Receive sensitivity de -39 dBm, Además la modulación asociada a 12X es 4096 QAM con lo que la tasa de transmisión es 656,64 Mbps

$$\text{d} = 7720 \text{ m} \quad B = 100 \text{ MHz} \quad R = 656,64 \text{ Mbps} \quad N = \frac{3 \times 10^8}{5200 \times 10^6} = 0,0576$$

$$PL = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi \cdot 7720}{0,0576} \right)^2 = 2,83 \times 10^{12} \quad f = 5200 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$-39 \text{ dBm} = 15 \text{ dBm} - 129,51 \text{ dB} + 26 \quad 10 \log_{10}(2,83 \times 10^{12}) = 92,51$$

$$70,51 \text{ dB} = 26$$

$$35,255 \text{ dB} = 6$$

$$Pr = Pt + Ge + Gr - PL$$

↓      ↓      ↓      ↓      ↓  
dBm    dBm    dB    dB    dB

Considerando la máxima potencia que son 15 dBm y la potencia mínima de recepción -39 dBm se tiene que la ganancia de las antenas debe ser 35,255 dB cada una.

## Hoja de Respuesta

b)

$$d = 4730[m]$$

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

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5200 \times 10^6} = 0,0576$$

$$PL = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi \cdot 4730}{0,0576} \right)^2 = 1,064 \times 10^{12}$$

$$10 \log_{10}(1,064 \times 10^{12}) \\ = 120,269 \text{ dB}$$

$$-39 \text{ dBm} = 15 \text{ dBm} - 120,269 \text{ dB} + 26$$

$$66,269 \text{ dB} = 26$$

$$33,1345 \text{ dB} = G$$

Ganancia ambas antenas

c)

$$d = 9690[m]$$

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

$$\lambda = 0,0576$$

$$PL = 10 \log \left( \frac{4\pi \cdot 9690}{0,0576} \right)^2 = 126,957 \text{ dB}$$

$$-39 \text{ dBm} = 15 \text{ dBm} - 126,957 \text{ dB} + 26$$

$$72,957 \text{ dB} = 26$$

$$36,2285 \text{ dB} = G$$

Ganancia ambas antenas

## Hoja de Respuesta

d)  $d = 8390 \text{ m}$   $B = 100 \text{ MHz}$   $\lambda = 0,0576$

$$PL = 10 \log \left( \frac{4\pi \cdot 8390}{0,0576} \right)^2 = 125,250 \text{ dB}$$

$$-39 \text{ dBm} = 15 \text{ dBm} - 125,250 \text{ dB} + 26$$

$$+1,25 \text{ dB} = 26$$

$35,625 \text{ dB} = G$

Ganancia Ambas antenas

e)  $d = 5450 \text{ m}$   $B = 100 \text{ MHz}$   $\lambda = 0,0576$

$$PL = 10 \log \left( \frac{4\pi \cdot 5450}{0,0576} \right)^2 = 121,50 \text{ dB}$$

$$-39 \text{ dBm} = 15 \text{ dBm} - 121,50 \text{ dB} + 26$$

$$67,5 \text{ dB} = 26$$

$33,75 \text{ dB} = G$

Ganancia ambas antenas

f)  $d = 3600 \text{ m}$   $B = 100 \text{ MHz}$   $\lambda = 0,0576$

$$PL = 10 \log \left( \frac{4\pi \cdot 3600}{0,0576} \right)^2 = 117,90 \text{ dB}$$

$$-39 \text{ dBm} = 15 \text{ dBm} - 117,90 \text{ dB} + 26$$

$$63,9 \text{ dB} = 26$$

$31,95 \text{ dB} = G$  Ganancia ambas antenas

## Hoja de Respuesta

2.  $10.20.48.0 / 20$ 

	Máscara	bits necesarios considerando hosts + broadcast + dirección subnet + footer
Telefonía: 7 hosts	$10_0 / 28$	$\log_2(10) \approx 4$
Videovigilancia: 19 hosts	$10_1 / 27$	$\log_2(22) \approx 5$
R DVA: 64 hosts	$10_2 / 26$	$\log_2(57) \approx 6$
SCADA: 146 hosts	$10_3 / 24$	$\log_2(149) \approx 8$

división de la reda)  $10.20.48.0 / 24$  dirección de subnet SCADA

b) 255.255.255.0 máscara de subnet

c)  $10.20.48.1 / 24$  dirección de default Gateway

SCADA

(10.20.49.0 / 24) → se toma para la siguiente división

R.DVA

a)  $10.20.49.0 / 26$  dirección de subnet R.DVA

b) 255.255.255.192 máscara de subnet

c)  $10.20.49.1 / 26$  dirección de default Gateway

(10.20.49.64 / 26) → se toma para la siguiente división



## Hoja de Respuesta

a) 10.20.49.64/27 dirección de subred Video Vigilancia

b) 255.255.255.224 máscara de subred

c) 10.20.49.65/27 dirección de default Gateway

10.20.49.96/27 → se toma para la siguiente división

Telefónica

a) 10.20.49.96/28 dirección de subred Telefónica

b) 255.255.255.240 máscara de subred

c) 10.20.49.97 dirección de default Gateway

3. 6 enlaces punto a punto, donde se necesitan 4 direcciones ip disponibles por cada enlace.

$\log_2(4) = 2$  /30 por cada enlace punto a punto, 6 enlaces tomamos la segunda subred de la última división, esto es 10.20.49.112/28 y dividimos, se generan 4 subredes, por lo que faltan para generar las otras dos subredes, en este caso retroceden en las divisiones, la más próxima disponible es la 10.20.49.128/26

## Hoja de Respuesta

división de la red  $10.20.99.112/28$

Dirección de subred	Máscara	IP extremo 1	IP extremo 2	Enlace punto a punto
$10.20.99.112/30$	255.255.255.252	$10.20.99.113/30$	$10.20.99.114/30$	Headquarter Enel Y S/E La Reina
$10.20.99.116/30$	255.255.255.252	$10.20.99.117/30$	$10.20.99.118/30$	Headquarter Enel Y S/E Santa Elena
$10.20.99.120/30$	255.255.255.252	$10.20.99.121/30$	$10.20.99.122/30$	S/E La Reina y S/E La Florida
$10.20.99.124/30$	255.255.255.252	$10.20.99.125/30$	$10.20.99.126/30$	S/E Santa Elena y S/E Santa Rosal

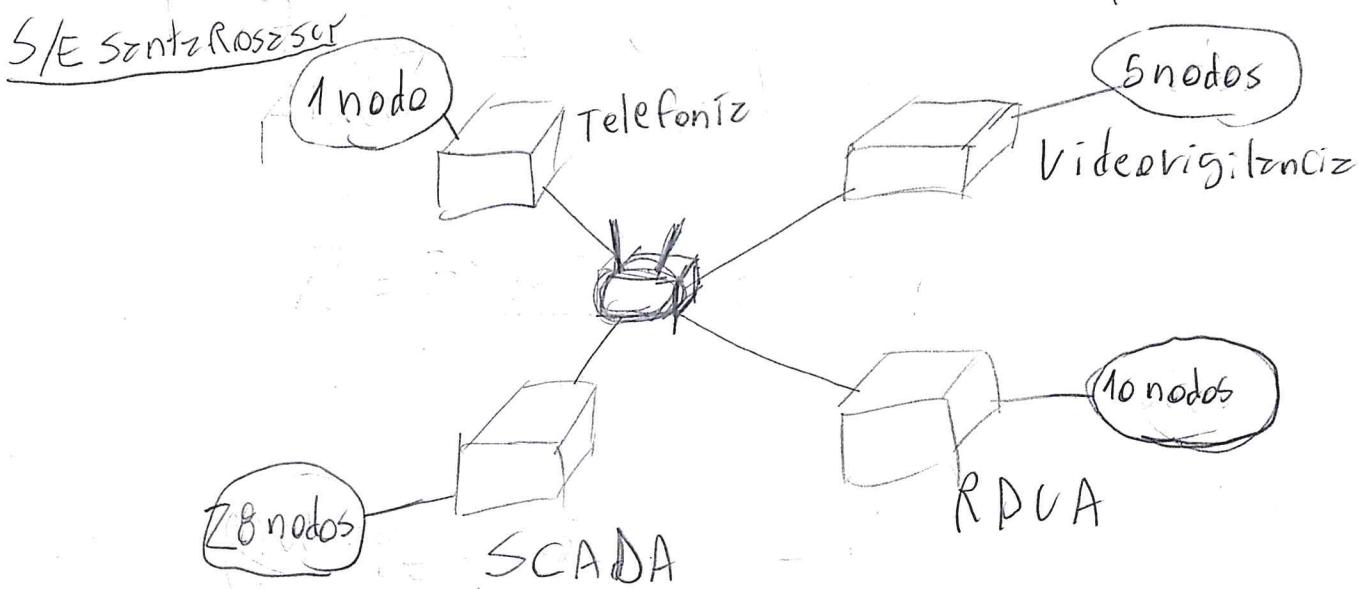
división de la red  $10.20.99.128/26 \geq /30$  para los 2 enlaces  
punto a punto restantes, se generaron 16 subredes, tomamos las  
2 primeras

Dirección de subred	Máscara	IP Extremo 1	IP Extremo 2	Enlace punto a punto
$10.20.99.128/30$	255.255.255.252	$10.20.99.129/30$	$10.20.99.130/30$	S/E Santa Rosal y S/E La Florida
$10.20.99.132/30$	255.255.255.252	$10.20.99.133/30$	$10.20.99.134/30$	S/E Santa Rosal Y S/E Santa Rosa Sur

Con eso se tienen los parámetros para los 6 enlaces

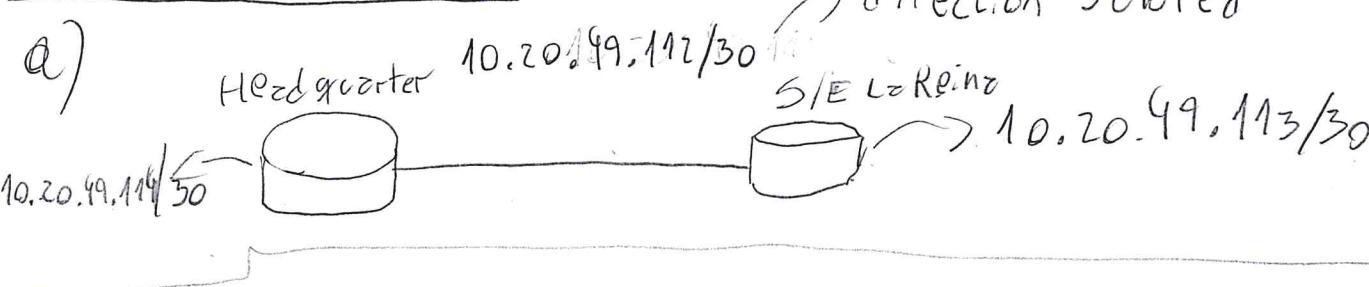


4. Se necesita una topología de estrella donde el nodo central sea un router que comunique al Headquarter de Enely, donde hay un switch por cada servicio

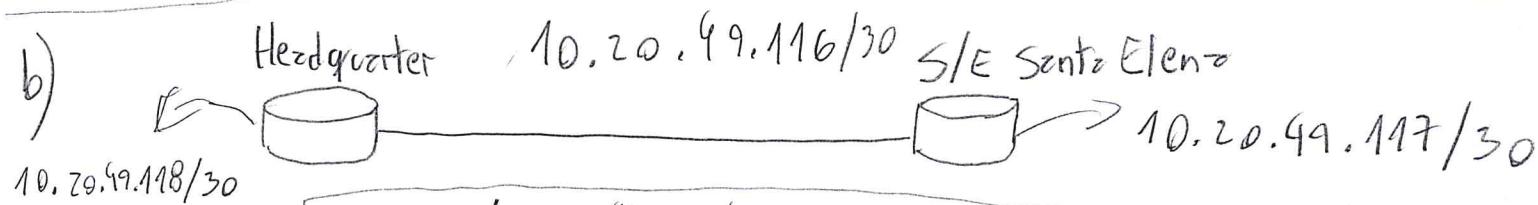


### Enlaces microondas

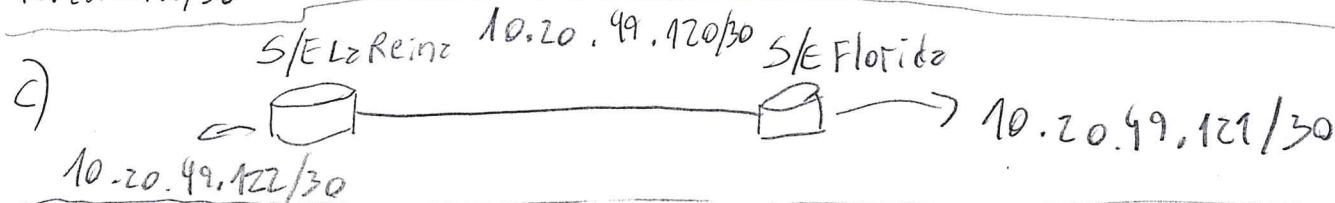
a)



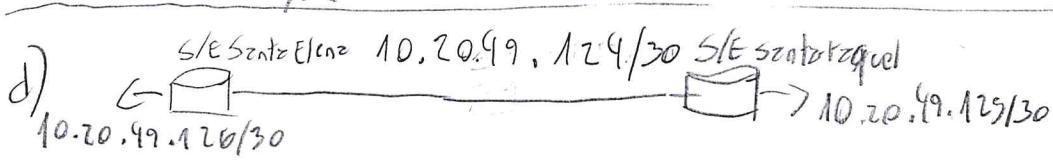
b)



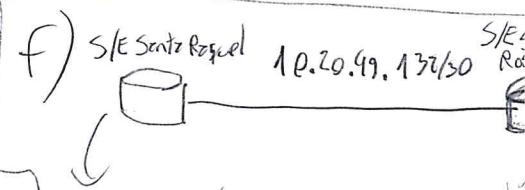
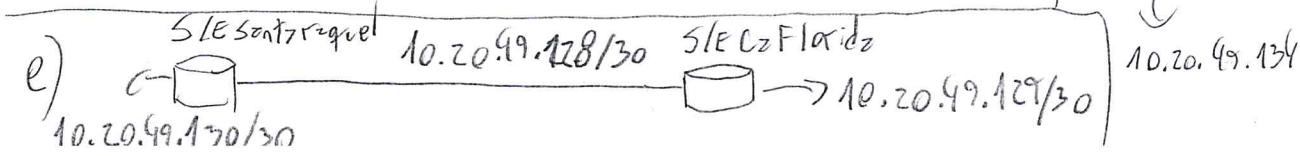
c)



d)



e)



10.20.49.131



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

07 de junio de 2023

Nombre: Héctor Saravíá

RUT: 19.647.829-9

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 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

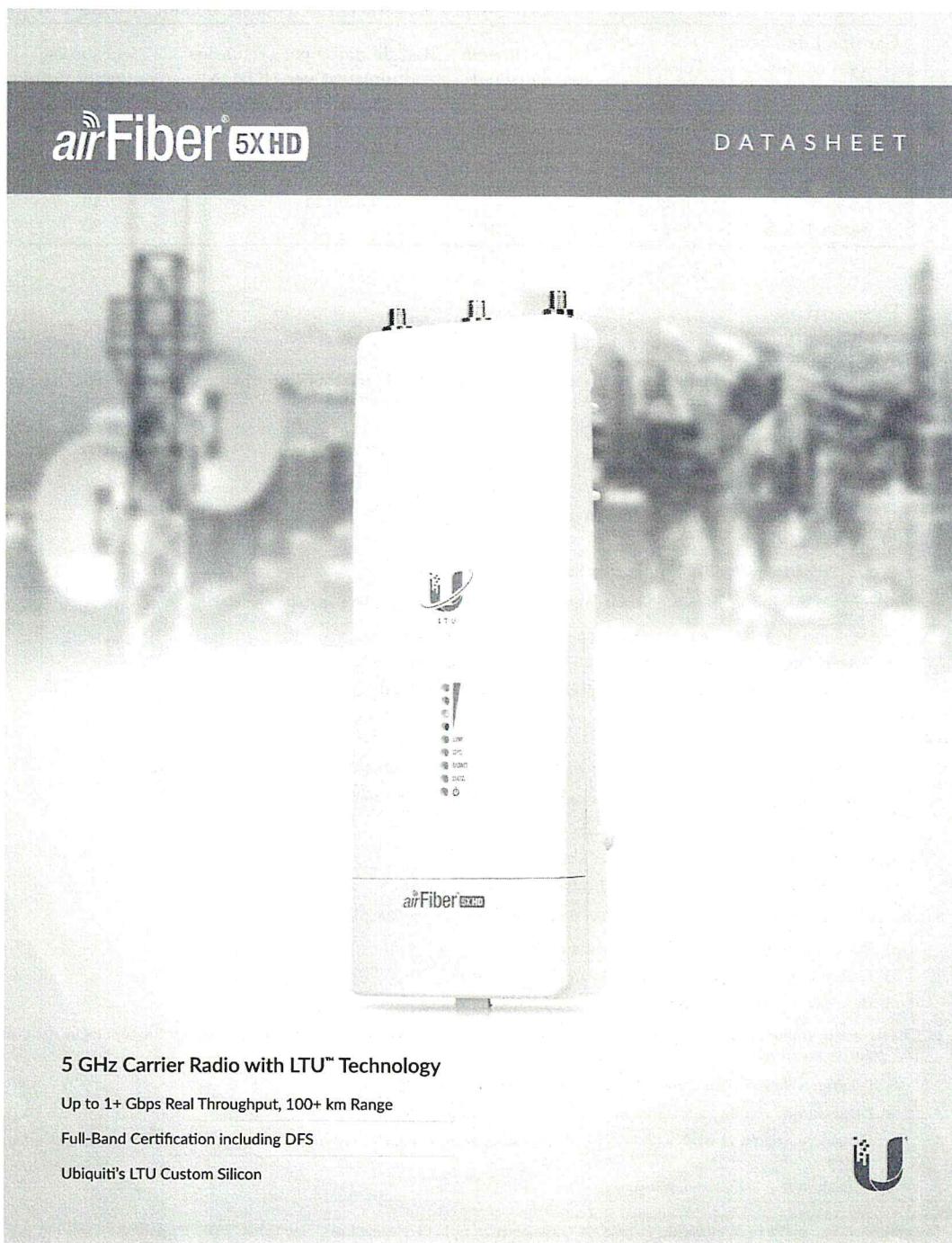
Para las siguientes preguntas considere que le han entregado la red 10.20.48.0/20 para poder subdividirla.

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

**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.



U

7

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 under a limited warranty described at [ubnt.com/warranty](#).  
 The Limited warranty covers the use of hardware to receive dividends on an individual basis and, where applicable, satisfy arbitration instead of jury trials or class actions.  
 ©2019 Ubiquiti Networks, All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti logo, airFiber, airMAX, airOS, Lightbeam, UU, UniFiStation, Prism, Rocket, RocketDish, UniFi, and iFi are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Inc. in the United States and/or 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.

AUU20120



## Hoja de Respuesta

1.  $h_s = 54m$ ,  $h_H = 60m$ ,  $f = 5200 MHz$ ,  $\delta = \text{enlace depende}$

$$P_T = 15 dBm, G_t = 100 dB, G_r = 23 dB$$

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = 0,057 m \quad P_r = \frac{P_T G_t G_r \lambda^2}{(4\pi \delta)^2}$$

a)  $\delta = \delta_1 + \delta_2 = \sqrt{2r h_1} + \sqrt{2r h_2} = \sqrt{2 \cdot 8497 \cdot 10^3 m \cdot 54 m} + \sqrt{2 \cdot 8497 \cdot 10^3 m \cdot 60 m}$   
 $= 30.293,16 m + 31.931,8 m = 62.224,96 m > 7720 m, \text{ los es posible}$

$$G = 10^{\frac{(x+G)}{10}} = 10^{2,3} = 199,52$$

$$P_r = \frac{0,03 W \cdot 199,52^2 \cdot (0,057 m)^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot (7720 m)^2} = \frac{0,03 \cdot 39,808,23 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} m^2}{16 \cdot \pi \cdot 59,04 \cdot 10^{-3} m^2}$$
 $= \frac{3,82159 m^2}{2,995,742,330 m^2} = 1,27 \cdot 10^{-9}$

$$P_r = 10 \log (1,27 \cdot 10^{-9}) dB = -88 dB = -58 dBm$$

Por lo tanto se puede transmitir con modulación 64QAM,

Entonces TDD es igual a 656,64 Mbps

b)  $G = 23 dB$ ;  $\delta = 4730 m$

$$P_r = \frac{31,6 mW \cdot 199,52^2 \cdot (0,057 m)^2}{16 \pi^2 \cdot (4730 m)^2} = 3,63 \cdot 10^{-6} mW = -54,39 dB$$

Se puede transmitir con modulación 256QAM, así que el máximo TDD es 875,52 Mbps

## Hoja de Respuesta

c)  $G = 23 \text{ dB}_i, d = 9640 \text{ m}$

$$P_r = \frac{31,6 \text{ mW} \cdot 199,52^2 \cdot (0,057 \text{ m})^2}{16 \pi \cdot (9640 \text{ m})^2} = 4,38 \cdot 10^{-9} = -83,58 \text{ dBm}$$

No se puede, se ve con la siguiente antena con  $G = 30 \text{ dB}_i$ :

$$G = 10 \left( \frac{30}{10} \right) = 1000$$

$$P_r = \frac{31,6 \text{ mW} \cdot 1000^2 \cdot (0,057 \text{ m})^2}{16 \pi \cdot (9640 \text{ m})^2} = 2,19 \cdot 10^{-5} \text{ mW} = -46,57 \text{ dBm}$$

Por lo tanto, se puede transmitir con modulación 1024QAM,  
entonces TDD agregado es  $1094,4 \text{ Mbps}$

d)  $G = 23 \text{ dB}_i, d = 8390 \text{ m}$

$$P_r = \frac{31,6 \text{ mW} \cdot 199,52^2 \cdot (0,057 \text{ m})^2}{16 \pi \cdot (8390 \text{ m})^2} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ mW} = -59,37 \text{ dBm}$$

Por lo tanto, se puede transmitir con modulación 64 QAM

Con un TDD agregado de  $656,64 \text{ Mbps}$

e)  $G = 23 \text{ dB}_i, d = 5450 \text{ m}$

$$P_r = \frac{31,6 \text{ mW} \cdot 199,52^2 \cdot (0,057 \text{ m})^2}{16 \pi \cdot (5450 \text{ m})^2} = 2,73 \cdot 10^{-6} \text{ mW} = -55 \text{ dBm}$$

Por lo tanto se puede transmitir con modulación 256QAM

y TDD agregado de  $875,52 \text{ Mbps}$

## Hoja de Respuesta

$$F) \underline{G = 23 dB_i}, \quad d = 3600 m$$

$$P_r = \frac{31,6 \text{ mW} \cdot 199,52^2 \cdot (0,057)^2}{16 \pi \cdot (3600 \text{ m})^2} = 6,27 \cdot 10^{-6} \text{ mW} = \underline{-52,02 dBm}$$

Por lo tanto, se puede transmitir con modulación 256 QAM con TDD máximo agregado 875,52 Mbps

2. ~~Max~~ Hosts solicitados (Indicados + Default Gateway)

$$S/E \text{ Santa Rosa Sur: } 44 + 4 = 48$$

$$S/E \text{ Santa Rayuel: } 47 + 4 = 51$$

$$S/E \text{ Florida: } 47 + 4 = 51$$

$$S/E \text{ La Reina: } 55 + 4 = 59$$

$$S/E \text{ Santa Elena: } 33 + 4 = 37$$

a) IP de Ref:

S/E	Santa Rosa Sur	Teléforía	Vidrovigilancia	RDVA	SCADA
S/E	Santa Rayuel	10.20.49.104	10.20.49.48	10.20.49.32	10.20.48.160
S/E	Florida	10.20.49.72	10.20.49.56	10.20.49.0	10.20.48.64
S/E	La Reina	10.20.49.108	10.20.49.64	10.20.48.224	10.20.48.128
S/E	Santa Elena	10.20.49.80	10.20.49.88	10.20.48.240	10.20.48.0
		10.20.49.112	10.20.49.96	10.20.49.16	10.20.48.192

## Hoja de Respuesta

b) Máscara de subred

S/E	Janta Rosa Sur	Telefonía	Vidrovigilancia	RDUA	SCADA
S/E	Janta Raquel	255.255.255.252	255.255.255.248	255.255.255.240	255.255.255.224
S/E	Florida	255.255.255.252	255.255.255.248	255.255.255.240	255.255.255.192
S/E	La Reina	255.255.255.248	255.255.255.248	255.255.255.240	255.255.255.224
S/E	Santa Elena	255.255.255.252	255.255.255.248	255.255.255.240	255.255.255.192

c) IP Default Gateway

S/E	Janta Rosa Sur	Telefonía	Vidrovigilancia	RDUA	SCADA
S/E	Janta Raquel	10.20.49.105	10.20.49.49	10.20.48.33	10.20.48.167
S/E	Florida	10.20.49.73	10.20.49.57	10.20.49.1	10.20.48.65
S/E	La Reina	10.20.49.109	10.20.49.69	10.20.48.225	10.20.48.129
S/E	Santa Elena	10.20.49.81	10.20.49.89	10.20.48.241	10.20.48.1
		10.20.49.113	10.20.49.97	10.20.49.17	10.20.48.193

3. a) IP de Red

a) HQ Enel y S/E La Reina : 10.20.49.116

b) HQ Enel y S/E Santa Elena : 10.20.49.120

c) S/E La Reina y S/E Florida : 10.20.49.124

d) S/E Santa Elena y S/E Janta Raquel : 10.20.49.128

e) S/E Santa Raquel y S/E Florida : 10.20.49.132

f) S/E Santa Raquel y S/E Janta Rosa Sur : 10.20.49.136

**Hoja de Respuesta**

- 6) a) 255.255.255.252  
b) 255.255.255.252  
c) 255.255.255.252  
d) 255.255.255.252  
e) 255.255.255.252  
f) 255.255.255.252
- c) a) 10.20.49.112, 10.20.49.118  
b) 10.20.49.121, 10.20.49.122  
c) 10.20.49.125, 10.20.49.126  
d) 10.20.49.129, 10.20.49.130  
e) 10.20.49.133, 10.20.49.135  
f) 10.20.49.137, 10.20.49.138

## Hoja de Respuesta

