



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

xx de junio de 2023

Nombre: _____

RUT: _____

Puntaje: 145 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 ??.

- 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 ??)
- 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 ??. Este manual tiene varios términos que es importante aclarar:

- ***Suggested Max. TX Power***: Es la potencia máxima sugerida. La potencia máxima que escoga 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 mas 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.

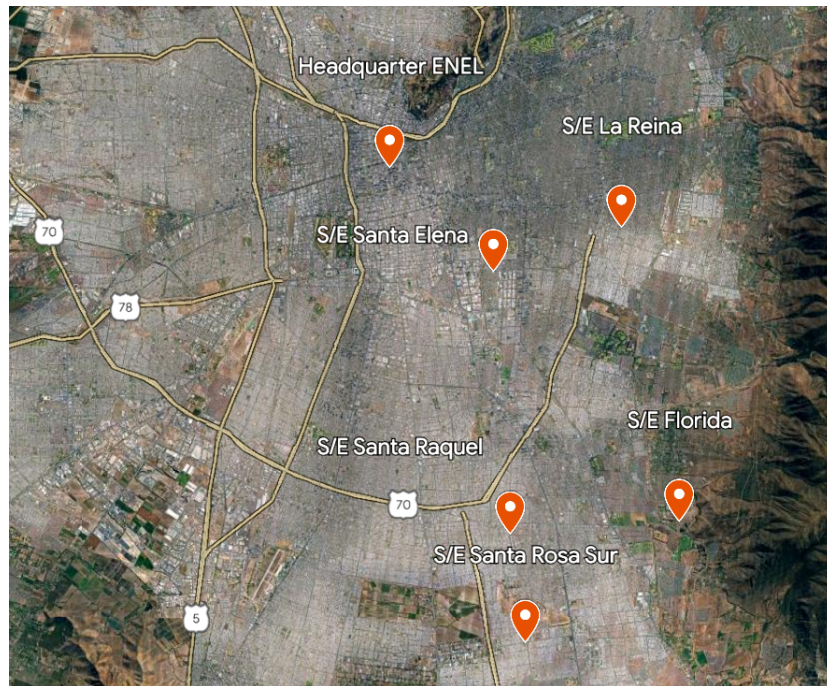


Figura 1: Ubicación de las subestaciones de ENEL utilizadas en este examen

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 ??, diseñe la red de enlaces punto a punto microondas entre las siguientes subestaciones: (**30 puntos en total**)
 - Headquarter ENEL y S/E La Reina
 - Headquarter ENEL y S/E Santa Elena
 - S/E La Reina y S/E Florida
 - S/E Santa Elena y S/E Santa Raquel
 - S/E Santa Raquel y S/E Florida
 - S/E Santa Raquel y S/E Santa Rosa Sur

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)¹ (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)
 - Mascara 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)
 - Mascara 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.

¹la capacidad agregada es la suma de la tasa de transferencia upload y download. Ver tabla TDD Capacity en sección ??

2. Respuestas

2.1. Pregunta 1

Se utiliza la ecuación de *Friss* dada por 1:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi D} \quad (1)$$

Para la potencia de transmisión P_{tx} se consideran 15 dBm según lo indicado en la sección 1.2. La distancia D se obtiene de la tabla del cuadro 1. La frecuencia de transmisión es de 5200 MHz. Para obtener la potencia de recepción es necesario definir la ganancia de las antenas tanto de transmisión como de recepción. Para ello se siguen las pautas de la sección 1.2, esto quiere decir, que ambos extremos deben tener el mismo tipo de antena. Para ello se comienza escogiendo la antena con mayor ganancia (34 dBi) y se calcula la potencia de recepción. Se anota ese valor. Luego se revisa en la tabla *Receive Sensitivity* (dBm) la modulación máxima que se podría utilizar. Luego se selecciona una nueva antena con una ganancia menor (30 dBi) y se vuelve a revisar si el tipo de modulación cambió. Si cambió se deja la antena con mayor ganancia. Si no cambió la modulación se vuelve a iterar con una ganancia menor de antena (23 dBi). Finalmente se selecciona la antena con la menor ganancia que produce una máxima modulación. Ya con la potencia de recepción se selecciona la modulación. En la tabla *TDD Capacity* (Mbps) se puede encontrar el *throughput* en función de la modulación. Este cálculo se realiza para los 6 enlaces solicitados en el enunciado. La figura 2 muestra el diagrama de interconexión entre todas las subestaciones.

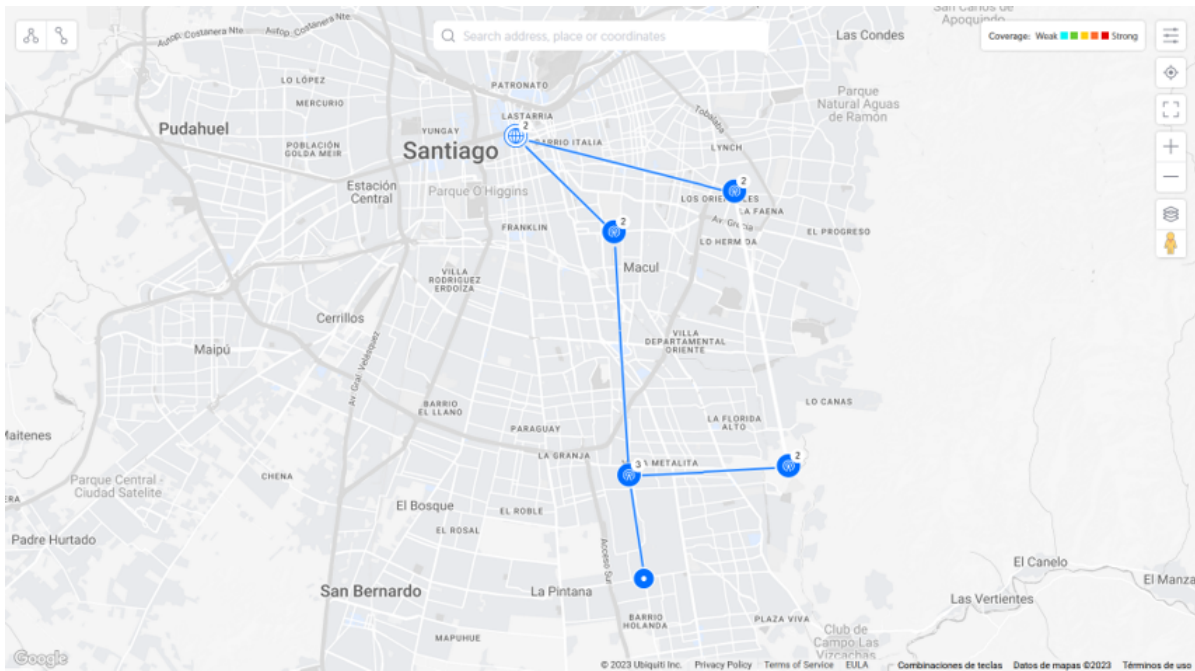


Figura 2: Diagrama de enlaces de RF

La figura 3 muestra las potencias de recepción para cada enlace.

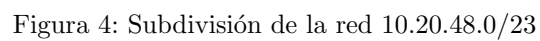
A Headquarter ENEL		A S/E La Reina	
B S/E La Reina		B S/E La Florida	
Distancia	7720 metros	Distancia	9640 metros
Frecuencia	5200 MHz	Frecuencia	5200 MHz
Potencia Tx	15 dBm	Potencia Tx	15 dBm
Antena Tx	30 dBi	Antena Tx	30 dBi
Antena Rx	30 dBi	Antena Rx	30 dBi
Lambda	0,057652396 metros	Lambda	0,057652396 metros
Potencia Rx	-49,5201961 dBm	Potencia Rx	-51,44939077 dBm
Throughput	1094,4 Mbps	Throughput	1094,4 Mbps
Modulation Rate	10X	Modulation Rate	10X
Modulation	1024QAM	Modulation	1024QAM

A Headquarter ENEL		A S/E Santa Elena	
B S/E Santa Elena		B S/E Santa Raquel	
Distancia	4730 metros	Distancia	8390 metros
Frecuencia	5200 MHz	Frecuencia	5200 MHz
Potencia Tx	15 dBm	Potencia Tx	15 dBm
Antena Tx	34 dBi	Antena Tx	30 dBi
Antena Rx	34 dBi	Antena Rx	30 dBi
Lambda	0,057652396 metros	Lambda	0,057652396 metros
Potencia Rx	-37,26507291 dBm	Potencia Rx	-50,24308931 dBm
Throughput	1313,28 Mbps	Throughput	1094,4 Mbps
Modulation Rate	12X	Modulation Rate	10X
Modulation	4096QAM	Modulation	1024QAM

A S/E Santa Raquel		A S/E Santa Raquel	
B S/E Santa Rosa Sur		B S/E Florida	
Distancia	3600 metros	Distancia	5450 metros
Frecuencia	5200 MHz	Frecuencia	5200 MHz
Potencia Tx	15 dBm	Potencia Tx	15 dBm
Antena Tx	34 dBi	Antena Tx	30 dBi
Antena Rx	34 dBi	Antena Rx	30 dBi
Lambda	0,057652396 metros	Lambda	0,057652396 metros
Potencia Rx	-34,89390011 dBm	Potencia Rx	-46,49578014 dBm
Throughput	1313,28 Mbps	Throughput	1313,28 Mbps
Modulation Rate	12X	Modulation Rate	12X
Modulation	4096QAM	Modulation	4096QAM

Figura 3: Potencias de recepción para cada enlace

La figura 4 muestra gráficamente la subdivisión de la red 10.20.48.0/23.



La tabla 3 muestra la máscara de red que se necesita para cada servicio y las direcciones de red asignadas a cada subred.

Cuadro 3: Asignación de máscara de red, subred y default gateway para cada red.

Nombre subred	Mascara de red	Subred	Default Gateway
S/E Santa Rosa Sur - Telefonía	/30	10.20.49.104/30	10.20.49.105/30
S/E Santa Rosa Sur - Videovigilancia de Seguridad	/29	10.20.49.48/29	10.20.49.49/29
S/E Santa Rosa Sur - RDUa	/28	10.20.48.224/28	10.20.48.225/28
S/E Santa Rosa Sur - Servicio de control SCADA	/27	10.20.48.128/27	10.20.48.129/27
S/E Santa Raquel - Telefonía	/29	10.20.49.56/29	10.20.49.57/29
S/E Santa Raquel - Videovigilancia de Seguridad	/29	10.20.49.64/29	10.20.49.65/29
S/E Santa Raquel - RDUa	/28	10.20.48.240/28	10.20.48.241/28
S/E Santa Raquel - Servicio de control SCADA	/26	10.20.48.0/26	10.20.48.1/26
S/E Florida - Videovigilancia de Seguridad	/29	10.20.49.72/29	10.20.49.73/29
S/E Florida - RDUa	/28	10.20.49.0/28	10.20.49.1/28
S/E Florida - Servicio de control SCADA	/27	10.20.48.160/27	10.20.48.161/27
S/E Florida - Telefonía	/29	10.20.49.80/29	10.20.49.81/29
S/E La Reina - Videovigilancia de Seguridad	/29	10.20.49.88/29	10.20.49.89/29
S/E La Reina - RDUa	/28	10.20.49.16/28	10.20.49.17/28
S/E La Reina - Servicio de control SCADA	/26	10.20.48.64/26	10.20.48.65/26
S/E La Reina - Telefonía	/30	10.20.49.108/30	10.20.49.109/30
S/E Santa Elena - Videovigilancia de Seguridad	/29	10.20.49.96/29	10.20.49.97/29
S/E Santa Elena - RDUa	/28	10.20.49.32/28	10.20.49.33/28
S/E Santa Elena - Servicio de control SCADA	/27	10.20.48.192/27	10.20.48.193/27
S/E Santa Elena - Telefonía	/30	10.20.49.112/30	10.20.49.113/30

2.3. Pregunta 3

La tabla 4 muestra la máscara de red, direcciones de red y direcciones IP en cada extremo de los enlaces punto a punto.

Cuadro 4: Direcciones IP de los enlaces punto a punto

Nombre subred	Subred	Extremo 1	Extremo 2
Enlace 1 - Edificio ENEL - S/E La Reina	10.20.49.116/30	10.20.49.117/30	10.20.49.118/30
Enlace 2 - Edificio ENEL - S/E Santa Elena	10.20.49.120/30	10.20.49.121/30	10.20.49.122/30
Enlace 3 - S/E La Reina - S/E Florida	10.20.49.124/30	10.20.49.125/30	10.20.49.126/30
Enlace 4 - S/E Santa Elena - S/E Santa Raquel	10.20.49.128/30	10.20.49.129/30	10.20.49.130/30
Enlace 5 - S/E Santa Raquel - S/E Santa Rosa Sur	10.20.49.132/30	10.20.49.133/30	10.20.49.134/30
Enlace 6 - S/E Santa Raquel - S/E Florida	10.20.49.136/30	10.20.49.137/30	10.20.49.138/30
Enlace 7 - Edificio ENEL - Router salida Internet	10.20.49.140/30	10.20.49.141/30	10.20.49.142/30

2.4. Pregunta 4

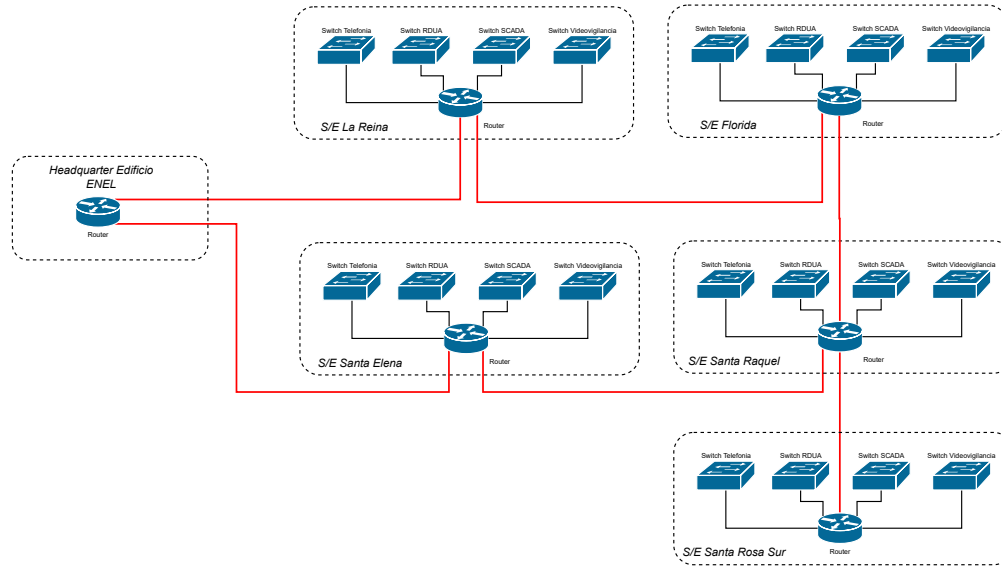


Figura 5: Topología de red