

Examen de Redes y Telecomunicaciones 2024-1S

Con el censo de 2017, es posible obtener datos sobre la cantidad de habitantes por región. Se analizó la región de los lagos por caracterizarse por su geografía de difícil acceso, y se focalizó el estudio en las comunas de Puerto Montt, Osorno, Ancud, Castro y Puerto Varas. Las cuales tienen una población de 280955, 176304, 42524, 48,727 y 51316 habitantes respectivamente.

Se tiene registro de las Series conexiones internet móvil generado por la Subtel. A partir de este documento, se obtiene que existen 1.14 conexiones móviles por habitantes, y un 4.53 % de las conexiones móviles corresponde a conexiones 3G.

Además, se sabe que en el proyecto de conectividad para la Educación, detallan los distintos establecimientos educacionales de la región, que obtuvieron subvención para conectividad 3G para sus alumnos. En Puerto Montt un colegio (de 47 alumnos) obtuvo la subvención, mientras que en Osorno dos colegios obtuvieron la subvención (de 8 y 222 alumnos) y en Ancud dos colegios (de 9 y 5 alumnos).

Usted deberá armar una red que sea capaz de recibir a todos los actuales usuarios de 3G de la Región de los Lagos, monopolizando el mercado 3G, basándose en los datos anteriormente recopilados, dado que es una tecnología que está dejando de masificarse en pro del 4G/5G.

Para poder proveer conectividad a todos los usuarios de las comunas, usted utilizará los prefijos dispuestos por el operador con mayor cantidad de clientes BAM a nivel nacional, a través del AS6471. Por ejemplo, se dispone de la red 200.12.171.128/25 y 200.72.82.128/25.

Las redes BAM subsidiadas por el proyecto de conectividad para la educación deben tener prefijos de red clase A asociados a redes privadas, identificadas con una VLAN distinta al resto de los usuarios de la comuna, para facilitar el monitoreo del tráfico. Esto significa que sus usuarios, por comuna, compartirán la misma ip pública, independientemente si pertenecen al mismo establecimiento educacional.

Según la premisa anterior, indique la o las direcciones de subred que asignará por comuna para poder suplir su necesidad, junto a la ip del gateway asociado, e indique si corresponde a una red asociada al proyecto de conectividad para la educación (PCE). Siempre priorice utilizar la menor cantidad de subredes distintas por comuna. Como segundo factor a optimizar, utilice los prefijos más pequeños posibles para maximizar la disponibilidad de ips para futuros servicios

Cada comuna dispondrá de un router, el cual permitirá comunicarse con los switches que conmutan a los abonados de la red celular (a través de la interfaz eth0). Además, los routers deberán conectarse con los routers de las otras comunas y con el router cabecera del proveedor que permite conectividad hacia el exterior con otros sistemas autónomos a través de un PIT (Punto de Intercambio de Tráfico). Cada router debe disponer conectividad como máximo con otros 2 routers de la misma ISP (interfaz eth1 y eth2) para así ahorrar en costos asociados a la redundancia de enlace.

Para proveer conectividad a todos los usuarios de las comunas, se deben usar los prefijos dispuestos por el sistema autónomo **AS6471**.

Estudio en las comunas de Puerto Montt, Osorno, Ancud, Castro y Puerto Varas. (son de la región de los lagos)

Datos y Población:

- población de la región de los lagos para el 2024 será de 912.171 habitantes y a nivel nacional será de 20.09 millones de habitantes
- Existen 1.14 conexiones móviles por habitante, y un 4.53 % de las conexiones móviles corresponde a conexiones 3G.

Comuna	Poblacion	Conexiones 3G	Subred Necesaria
Puerto Montt	280,955	14.188	/18 (16384 hosts)
Osorno	176,304	8.903	/18 (16384 hosts)
Ancud	42,524	2.147	/20 (4096 hosts)
Castro	48,727	2.460	/20 (4096 hosts)
Puerto Varas	51,316	2.591	/20 (4096 hosts)

Con respecto a los datos de los colegios, los siguientes establecimientos son parte del PCE:

Comuna	Nombre	Estudiantes
OSORNO	ESCUELA RURAL TRINQUICAHUIN	8
OSORNO	ESCUELA BASICA WALTERIO MEYER RUSCA	222
ANCUD	ESCUELA RURAL NAL	9
ANCUD	ESCUELA RURAL CAIPULLI	4
PUERTO MONTT	ESCUELA RURAL PUNTILLA TENGLO	47

Sumarizando los prefijos obtenemos el prefijo de la red completa: **/16**. La cual podemos dividir de la siguiente manera para maximizar el uso de IPs.

Subnet address	Range of addresses	Useable IPs	Hosts	Prefijos			
134.171.0.0/18	134.171.0.0 - 134.171.63.255	134.171.0.1 - 134.171.63.254	16382		/18	/17	/16
134.171.64.0/20	134.171.64.0 - 134.171.79.255	134.171.64.1 - 134.171.79.254	4094	/20	/19	/18	
134.171.80.0/20	134.171.80.0 - 134.171.95.255	134.171.80.1 - 134.171.95.254	4094	/20			
134.171.96.0/20	134.171.96.0 - 134.171.111.255	134.171.96.1 - 134.171.111.254	4094	/20	/19		
134.171.112.0/20	134.171.112.0 - 134.171.127.255	134.171.112.1 - 134.171.127.254	4094	/20			
134.171.128.0/18	134.171.128.0 - 134.171.191.255	134.171.128.1 - 134.171.191.254	16382		/18	/17	
134.171.192.0/18	134.171.192.0 - 134.171.255.255	134.171.192.1 - 134.171.255.254	16382		/18		

Desgraciadamente hay subredes que no pueden ser usadas debido a que pertenecen a otro sistema autónomo, por lo cual se omiten para realizar VLSM. Dichas redes quedan marcadas en color naranja.

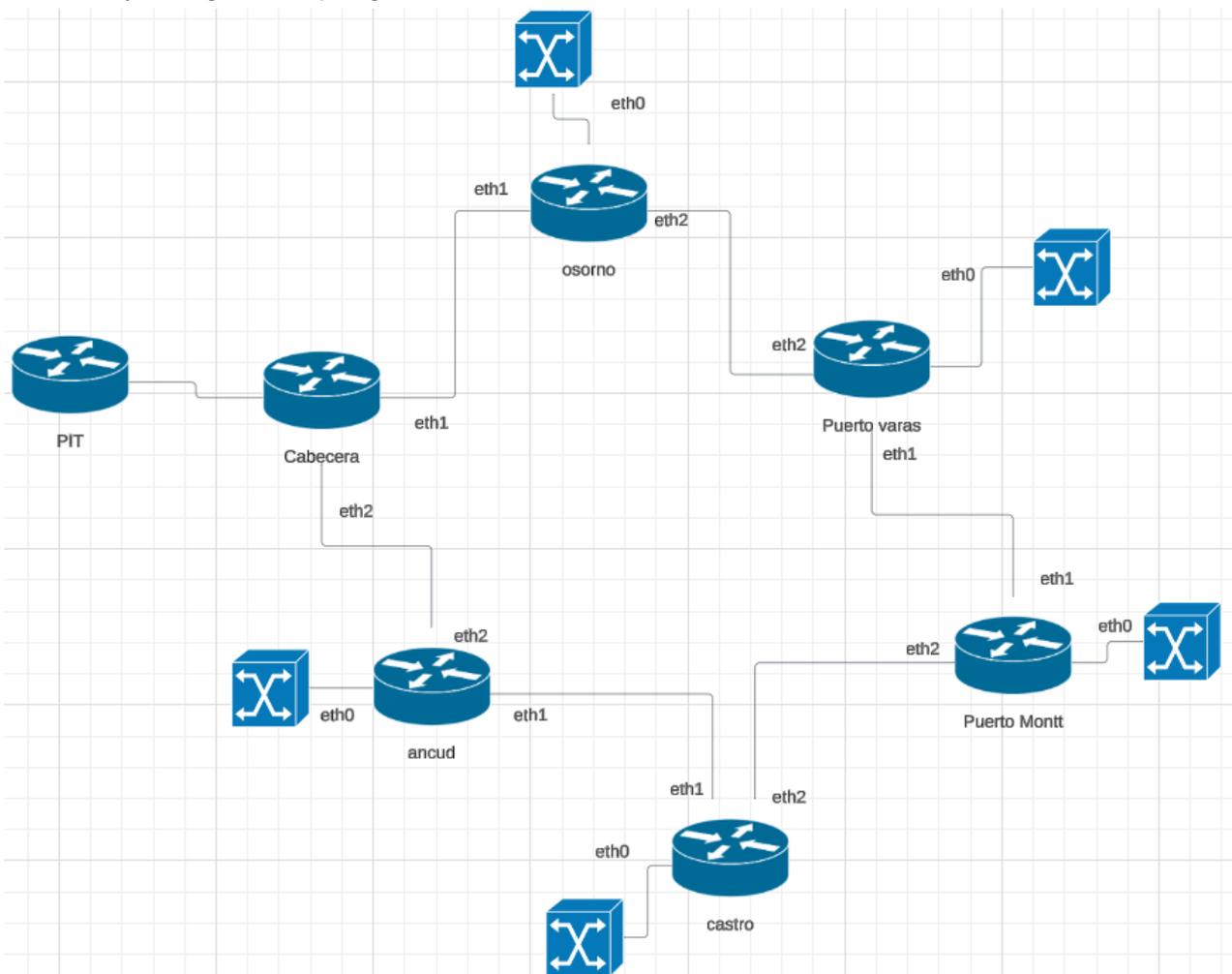
Al realizar VLSM obtenemos:

Comuna	PCE	Subred	IP GW
Ancud	FALSE	134.171.80.0/20	134.171.80.1
Castro	FALSE	134.171.96.0/20	134.171.96.1
Puerto Varas	FALSE	134.171.112.0/20	134.171.112.1
Puerto Montt	FALSE	134.171.128.0/18	134.171.128.1
Osorno	FALSE	134.171.192.0/18	134.171.192.1

En cuanto a las subredes del PCE, aplicamos VLSM en subredes de direcciones privadas clase A según el número de estudiantes de sus establecimientos. Para luego aplicar NAT, obteniendo las siguientes subredes con sus direcciones públicas asociadas.

Comuna	PCE	Subred	IP GW	Dirección Pública
Osorno	TRUE	10.0.0.0/23	10.0.0.1	134.171.192.2
Puerto Montt	TRUE	10.0.2.0/26	10.0.2.1	134.171.128.2
Ancud	TRUE	10.0.2.64/27	10.0.2.65	134.171.80.2

Se construye la siguiente topología:



De modo que se obtiene la siguiente cantidad de saltos entre router.

	cabecera	Pto montt	Osorno	Ancud	Castro	Pto varas
cabecera	0	3	1	1	2	2
Pto montt	3	0	2	2	1	1
Osorno	1	2	0	2	3	2
Ancud	1	2	2	0	1	3
castro	2	1	3	1	0	2
Pto varas	2	1	2	3	2	0

Asignamos las direcciones de los enlaces punto a punto considerando la red 164.77.70.0/24:

Extremo 1	Extremo 2	Subred	IP extremo 1	IP extremo 2
Cabecera	Osorno	164.77.70.0/31	164.77.70.0	164.77.70.1
Puerto Varas	Puerto montt	164.77.70.2/31	164.77.70.2	164.77.70.3
Puerto montt	Castro	164.77.70.4/31	164.77.70.4	164.77.70.5
Castro	Ancud	164.77.70.6/31	164.77.70.6	164.77.70.7
Ancud	Cabecera	164.77.70.8/31	164.77.70.8	164.77.70.9
cabecera	wan		164.77.70.10	0.0.0.0

Las tablas de ruteo obtenidas son:

- Cabecera:

IP Destino	Gateway	Genmask	Interfaz
0.0.0.0	164.77.70.10	0.0.0.0	eth0
164.77.70.0/31	164.77.70.1	255.255.255.255	e1
164.77.70.2/31	164.77.70.3	255.255.255.255	e2
164.77.70.4/31	164.77.70.5	255.255.255.255	e1
164.77.70.6/31		255.255.255.255	
164.77.70.8/31		255.255.255.255	
134.171.80.0/20		255.255.240.0	
134.171.96.0/20		255.255.240.0	
134.171.112.0/20		255.255.240.0	
134.171.128.0/18		255.255.192.0	
134.171.192.0/18		255.255.192.0	
10.0.0.0/23			
10.0.2.0/26			
10.0.2.64/27			

- Pto montt:

IP Destino	Gateway	Genmask	Interfaz
	-		eth0
			eth1
			eth2
10.0.2.0/26		255.255.255.192	lo0

- Osorno :

IP Destino	Gateway	Genmask	Interfaz
	-		eth0
			eth1
			eth2
10.0.0.0/23		255.255.254.0	lo0

- Ancud :

IP Destino	Gateway	Genmask	Interfaz
			eth0

			eth1
			eth2
10.0.2.64/27		255.255.255.224	lo0

- castro:

IP Destino	Gateway	Genmask	Interfaz
			eth0
			eth1
			eth2

- Pto varas:

IP Destino	Gateway	Genmask	Interfaz
			eth0
			eth1
			eth2

1.

Telemática

Se busca pasar los enlaces de 3G a 4G

Se debe centralizar la Red, usando como central la ISP ubicada en Puerto Montt, de modo que las estaciones base ubicadas en Osorno, Ancud, Castro y Puerto Varas deben conectarse directamente con la estación de Puerto Montt.

Se deben elegir datasheets de equipos de comunicaciones punto a punto. Hay que adjuntarlos.

Hay que buscar datasheets y equipos que se adecuen al estándar con el cual se trabaja → comunicación 4G
Ojo con los transceiver (equipos que sirvan como transmisor y receptor)

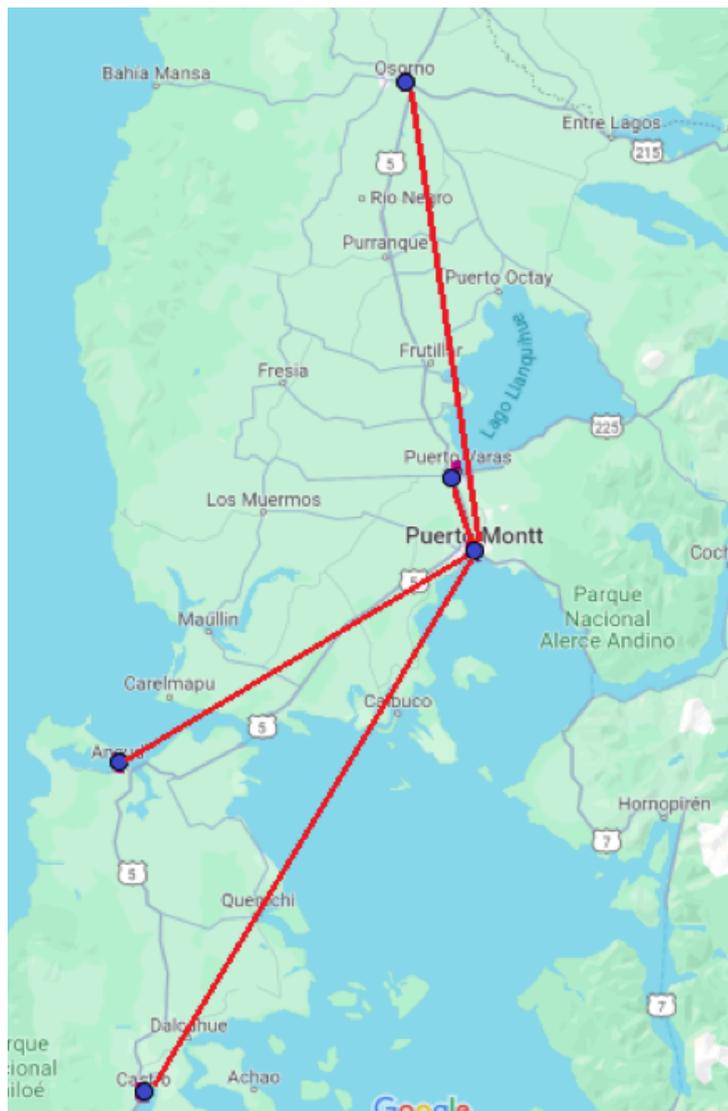
Todas las estaciones poseen una torre de 50 metros de altura

Hay línea de vista entre estaciones y la frecuencia de operación de los equipos de radio es de 700 MHz (adecuada para 4G) → $f = 700 \text{ MHz}$

Se recomienda usar antenas con la menor ganancia

Se debe usar la misma antena en ambos extremos del enlace → **Se deben usar antenas bidireccionales**

Se arma la siguiente red centralizada:



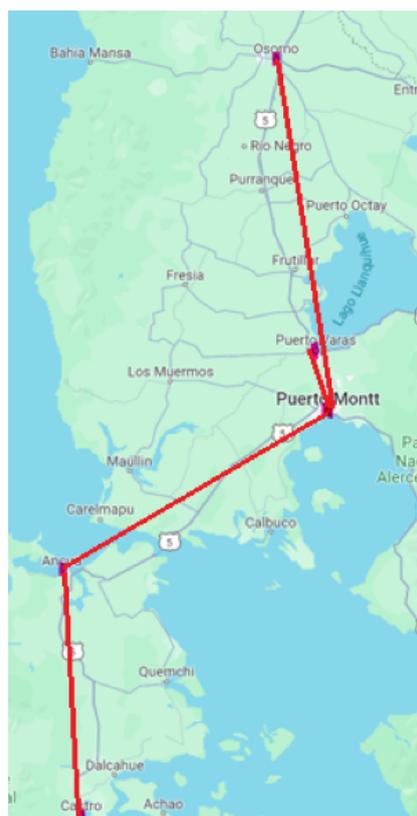
Primero obtenemos las alturas de cada localidad, agregando los 50 metros de las torres que disponen. Para registrar los valores se tomaron los puntos más altos de cada localidad. Además se calcula el alcance máximo de cada localidad aplicando la fórmula $d(m) = \sqrt{2rh}$

Comuna	Altitud (m)	Alcance Trayectoria (m)
Puerto Montt	194	57418
Osorno	125	46089
Ancud	130	47002
Castro	250	65180
Puerto Varas	202	58589

Sumando los alcances de las localidades que componen un enlace, obtenemos los alcances de transmisión para verificar que la transmisión se pueda llevar a cabo.

localidades	Distancia (m)	Alcance de trayectoria	Cumple +
Central Pto Montt y estación Pto Varas	20.000	116008	true
Central Pto Montt y estación Ancud	90.000	104420	true
Central Pto Montt y estación Osorno	100.000	103508	true
Central Pto Montt y estación Castro	170.000	122599	false
Estación castro y estación Ancud	80.000	112183	true

Debido a que el enlace entre puerto montt no se puede llevar a cabo se realiza un enlace entre ancud y castro, para asegurar la centralización de la red. Se actualiza la red:



Ahora se calcula la ganancia de antena de ambos extremos y la potencia de recepción en cada extremo de los enlaces. **(basado en el equipo elegido)**

El equipo elegido es **airFiber® AF-4X**, que soporta la transmisión y recepción inalámbrica de 4G y 5G. Además soporta un rango máximo de transmisión de más de 200 km².

Primero obtenemos la longitud de onda:

- $F = 700\text{MHz} \rightarrow \text{Longitud de onda} = 0,43 \text{ m}$

El datasheet nos proporciona 2 tipos de antena:

modelo	frec	Ganancia
AF-5G30-S45	4 - 5 GHz	30 dBi
AF-5G34-S45	4 - 5 GHz	34 dBi

Para maximizar la tasa de transferencia se debe usar la mínima potencia de transmisión:

AF-4X Suggested Max. TX Power	
8x	21 - 22 dBm
6x	23 - 24 dBm
4x	25 - 26 dBm
2x	29 dBm
1x	29 dBm

De modo que se usa un ratio de modulación de 8x, de modo que la mínima potencia de transmisión P_x es de 21-22 dBm.

Además, obtenemos los valores de sensibilidad:

airFiber 4X Receive Sensitivity						
Rate	Modulation	Sensitivity (10 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (30 MHz)	Sensitivity (40 MHz)	Sensitivity (50 MHz)
8x	256QAM MIMO	-66 dBm	-64 dBm	-62 dBm	-61 dBm	-60 dBm
6x	64QAM MIMO	-74 dBm	-71 dBm	-69 dBm	-68 dBm	-67 dBm
4x	16QAM MIMO	-81 dBm	-78 dBm	-76 dBm	-75 dBm	-74 dBm
2x	QPSK MIMO	-88 dBm	-85 dBm	-83 dBm	-82 dBm	-81 dBm
1x	½ Rate QPSK xRT	-90 dBm	-87 dBm	-85 dBm	-84 dBm	-83 dBm

A continuación se realiza el cálculo de las potencias, considerando los dos posibles valores de ganancia

G = 30 dBi

localidades	Ganancia (dBi)	Modulación	Pt (dBm)	Pr (dBm)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	30	256 QAM MIMO	22	-33.33
Central Pto Montt y estación Ancud	30	256 QAM MIMO	22	-46.40
Central Pto Montt y estación Osorno	30	256 QAM MIMO	22	-47.31
Estación castro y estación Ancud	30	256 QAM MIMO	22	-45.37

G= 34 dBi

localidades	Ganancia (dBi)	Modulación	Pt (dBm)	Pr (dBm)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	34	256 QAM MIMO	22	-29.33
Central Pto Montt y estación Ancud	34	256 QAM MIMO	22	-42.40
Central Pto Montt y estación Osorno	34	256 QAM MIMO	22	-43.31
Estación castro y estación Ancud	34	256 QAM MIMO	22	-41.37

A continuación se calcula la capacidad de enlace y el SNR de los enlaces propuestos.

Para maximizar la tasa de transmisión, se define un ancho de banda de canal B = 56 MHz

AF-4X Capacity (Mbps)												
Rate	Modulation	Channel Width (MHz)										
		3.5	5	7	10	14	20	28	30	40	50	56
10x	1024 QAM MIMO	38.4	60.8	86.4	128.0	182.4	259.2	361.6	384.0	502.4	617.6	687.9
8x	256 QAM MIMO	30.7	48.7	69.1	102.4	145.9	207.3	289.3	307.2	401.8	494.1	550.4
6x	64 QAM MIMO	23.0	36.5	51.8	76.8	109.4	155.5	216.9	230.4	301.4	370.6	412.8
4x	16 QAM MIMO	15.4	24.3	34.6	51.2	72.9	103.7	144.6	153.6	200.9	247.0	275.2
2x	QPSK MIMO	7.7	12.1	17.3	25.6	36.5	51.8	72.3	76.8	100.4	123.5	137.6
1x	½ Rate QPSK xRT	3.8	6.1	8.6	12.8	18.2	25.9	36.2	38.4	50.2	61.8	68.8

Obteniendo un valor de capacidad de enlace de 550,4 Mbps para la modulación 256 QAM MIMO.

Además, considerando un piso de ruido de -100 dBm → No sé de dónde se saca ese valor pero según el GPT es típico de la transmisión en 4 GHz

De modo que el SNR de cada enlace corresponde usando la fórmula:

$$SNR(dB) = Potencia\ recibida[dBm] - (piso\ de\ ruido[dBm])$$

Y aplicándola en el peor de los casos, es decir, en el enlace entre Puerto Montt y Osorno con la antena de 30 dBi de ganancia. Obteniendo que:

$$SNR(dB) = - 47.37 + 100 = 52.69$$

G = 30 dBi

Cálculo de SNR: $SNR(dB) = Pr[dBm] - \text{piso ruido}[dBm]$			
Nombre Enlace	Pr (dBm)	piso ruido (dBm)	SNR (dB)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	-33.33	-100	66.67
Central Pto Montt y estación Ancud	-46.4	-100	53.6
Central Pto Montt y estación Osorno	-47.31	-100	52.69
Estación castro y estación Ancud	-45.37	-100	54.63

G = 34 dBi

Cálculo de SNR: $SNR(dB) = Pr[dBm] - \text{piso ruido}[dBm]$			
Nombre Enlace	Pr (dBm)	piso ruido (dBm)	SNR (dB)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	-29.33	-100	70.67
Central Pto Montt y estación Ancud	-42.4	-100	57.6
Central Pto Montt y estación Osorno	-43.31	-100	56.69
Estación castro y estación Ancud	-41.37	-100	58.63

Considerando el valor de ancho de banda y las modulaciones, se analiza la sensibilidad.

G = 30 dBi

localidades	Ganancia (dBi)	Modulación	Pt (dBm)	Pr (dBm)	S(dBm)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	30	256 QAM MIMO	22	-33.33	-60
Central Pto Montt y estación Ancud	30	256 QAM MIMO	22	-46.40	-60
Central Pto Montt y estación Osorno	30	256 QAM MIMO	22	-47.31	-60
Estación castro y estación Ancud	30	256 QAM MIMO	22	-45.37	-60

G= 34 dBi

localidades	Ganancia (dBi)	Modulación	Pt (dBm)	Pr (dBm)	S(dBm)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	34	256 QAM MIMO	22	-29.33	-60
Central Pto Montt y estación Ancud	34	256 QAM MIMO	22	-42.40	-60
Central Pto Montt y estación Osorno	34	256 QAM MIMO	22	-43.31	-60
Estación castro y estación Ancud	34	256 QAM MIMO	22	-41.37	-60

En ambos casos se obtienen valores de potencia superiores al valor de sensibilidad, por lo cual se mantiene la modulación 256 QAM MIMO y se opta por utilizar la menor ganancia de enlace. (30 dBi)

Propuesta de enlace 5G

En este caso se utiliza el equipo airFiber 5X HD, que se especializa en la transmisión en 5GHz.

Las antenas se utilizan en la central Puerto Montt y en la estación Puerto Varas, usando la misma antena tanto por el lado del transmisor como por el lado del receptor.

En cuanto a la frecuencia y banda de operación, el 5G soporta una frecuencia de transmisión de 700 MHz por lo cual se mantiene la frecuencia. De acuerdo a la asignación de frecuencias de la subtel la frecuencia de 700MHz, se transmite con un ancho de banda de 20 MHz.

Primero obtenemos la longitud de onda:

- $F = 700\text{MHz} \rightarrow \text{Longitud de onda} = 0,43 \text{ m}$

Para ello usamos:

- La antena AF-5G30-S45 que funciona a una frecuencia de 5GHz y con una ganancia de 30dBi



Para maximizar la tasa de transferencia se utiliza la modulación 4096 QAM MIMO funcionando con un ancho de banda de canal de 20MHz. de modo que la capacidad de enlace corresponde a 138.28 Mbps. Por otro lado, la sensibilidad del receptor corresponde a -53 MHz.

		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

		Receive Sensitivity (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

Finalmente, según el tipo de modulación, la potencia máxima de transmisión corresponde a 15 dBm

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

Al calcular la potencia del receptor obtenemos lo siguiente

Enlace	d (m)	F	Ganancia (dBi)	Modulación	Pt (dBm)	Pr (dBm)	S(dBm)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	20000	700 Mhz	30	4096 QAM MIMO	15	-40.33	-53

El enlace cumple con la sensibilidad mínima del receptor. Lo cual indica que el receptor recibirá la información íntegramente.

Si nos ponemos en el peor caso y consideramos una pérdida por cables y por conectores de 1 dB, obtenemos el siguiente margen del enlace, junto con su pérdida de espacio libre.

Margen del Enlace (formula logarítmica): $Md = PTX - Pctx + GTX - FSL + GRX - Pcrx - SRX$								
localidades Enlace	PotenciaTx Pt	Ganancia Tx Gt	Ganancia Rx Gr	Perdida por cables	Perdida por conectores	FSL (perdida espacio libre)	Sensibilidad Receptor	Margen de enlace (dB)
Central Pto Montt y estación Pto Varas	15	30	30	1	1	115.36	-53	10.64

Pérdida en el Espacio Libre (FSL)			
Nombre	distancia (km)	frecuencia(GHz)	FSL
Central Pto Montt y estación Pto Varas	20	0.7	115.36

Dado que el margen de enlace es superior a 6 dB se puede asegurar una comunicación confiable