
ESTUDIO DE TENSIONES DE SERVICIO

Informe Preliminar

GERENCIA DE OPERACIÓN

Septiembre 2021

Estudio de Tensiones de Servicio

Informe preparado por el Departamento de Estudios de Sistemas Eléctricos

Rev.	Fecha	Versión de documento	Realizó	Revisó / Aprobó
1	14-09-2021	Informe Preliminar	Hernán Barra	Víctor Velar G.

Índice

1	RESUMEN EJECUTIVO	4
1.1	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV	5
1.2	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV	5
2	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
3	ANTECEDENTES.....	10
3.1	Antecedentes Normativos.....	10
3.2	Proyectos Relevantes	11
3.3	Zonas de Estudio.....	13
3.4	Características de los Escenarios de Operación	14
4	DESARROLLO DEL ESTUDIO	15
4.1	Zona Norte Grande	15
4.2	Zona Norte Chico	23
4.3	Zona Centro	31
4.4	Zona Centro Sur	39
4.5	Zona Sur	47
5	DEFINICIÓN DE TENSIONES DE SERVICIO	52
5.1	Tensiones de Servicio	52
5.2	Criterios	52
5.3	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV	53
5.4	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV	54
6	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	62
7	REFERENCIAS	63
8	ANEXOS.....	64
8.1	Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 500kV.....	65
8.2	Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 220kV.....	71

1 RESUMEN EJECUTIVO

Los artículos 5-19, 5-23 y 5-47 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS) establecen los rangos en que se deberá controlar la magnitud de la tensión en las barras del SI, en por unidad respecto de la tensión nominal, para Estado Normal, Estado de Alerta y Estado de Emergencia respectivamente. Además, en estos artículos se indica que en casos debidamente justificados el Coordinador Eléctrico Nacional podrá definir Tensiones de Servicio en reemplazo de las tensiones nominales mediante un Estudio que se actualizará cada 2 años.

Es relevante tener presente que la operación de un sistema longitudinal muy extendido, poco enmallado y con una distribución de carga-generación no uniforme como lo constituye la Zona entre Paposo y Chiloé, requiere de bandas de tensión adecuadas que permitan gradientes naturales en tensiones superiores a la nominal y el uso eficiente de los recursos de potencia reactiva, lo que se logra utilizando, en una cantidad importante de barras, Tensiones de Servicio mayores a las tensiones nominales del sistema. Se destaca que esta filosofía operativa no ha sido necesaria de aplicar en la Zona Norte Grande, dada su topología y distribución de carga-generación más enmallada.

Por otra parte, el perfil de tensiones de operación del sistema es producto de la búsqueda del uso eficaz de los recursos de potencia reactiva y de la reducción, en cuanto sea posible, del tránsito de ésta por el sistema de transmisión. Como resultado de lo anterior, los rangos admisibles de tensión de operación aquí definidos permiten la utilización más eficiente de los recursos de potencia reactiva para el control de tensión y sin comprometer la integridad de las instalaciones, de manera que contribuyan a la seguridad y calidad de servicio.

Las Tensiones de Servicio vigentes fueron corroboradas a partir de un análisis estadístico de los valores que se registran en la operación regular del Sistema Eléctrico Nacional, considerando las necesidades individuales de cada barra en las distintas condiciones de operación factibles (demandas, despachos, indisponibilidades, etc.), estableciendo las tensiones de referencia más adecuadas, para cumplir con la banda de tensión en operación normal establecida en la Norma Técnica.

Por otra parte, se realiza un análisis de flujos de potencia para verificar la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva en las distintas barras del sistema eléctrico nacional. Este análisis considera todas las contingencias que provocan el mayor requerimiento de potencia reactiva para cada zona, verificando que las tensiones resultantes se encuentren dentro del rango de operación en estado de alerta y emergencia según lo indicado en la NT de SyCS.

Además, cabe señalar que las Tensiones de Servicio propuestas son referenciales para las instalaciones que aún no entraban en servicio al comienzo del presente estudio. Estos valores podrían ser modificados, en los casos que lo ameriten, de acuerdo con los resultados del análisis post operación de las correspondientes instalaciones.

1.1 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV

Las Tensiones de Servicio definidas para las barras con tensión nominal igual a 500kV son las que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1 Tensiones de Servicio en barras de 500 kV y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

Barra 500kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.03Vs	0.97Vs	1.05Vs	0.95Vs	1.05Vs	0.93Vs
		[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]
Kimal	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2
Los Changos	503	518,1	487,9	528,2	477,9	528,2	467,8
Cumbres	508	523,2	492,8	533,4	482,6	533,4	472,4
Nueva Cardones	508	523,2	492,8	533,4	482,6	533,4	472,4
Nueva Maitencillo	512	527,4	496,6	537,6	486,4	537,6	476,2
Nueva Pan de Azúcar	513	528,4	497,6	538,7	487,4	538,7	477,1
Polpaico	508	523,2	492,8	533,4	482,6	533,4	472,4
Lo Aguirre	503	518,1	487,9	528,2	477,9	528,2	467,8
Alto Jahuel	500	515,0	485,0	525,0	475,0	525,0	465,0
Ancoa	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2
Entre Rios	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2
Charrua	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2

En la tabla anterior se destacan en color azul las barras que cambian su tensión de servicio respecto del valor vigente hasta antes de este estudio.

1.2 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV

1.2.1 Tensiones de Servicio Zona Norte Grande

Dada la topología del sistema en la Zona Norte Grande no es necesario utilizar Tensiones de Servicio diferentes a la nominal. En consecuencia, la Tensión de Servicio para estas barras será 220kV. En el punto 4.1 se realiza un análisis de sensibilidad de flujos de potencia en la zona para verificar el cumplimiento normativo de las tensiones actuales.

1.2.2 Tensiones de Servicio Zona Norte Chico

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV son las indicadas en Tabla 2. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla la Tensión de Servicio es igual a la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica, atributo que se puede caracterizar como el mayor valor de sensibilidad entre la variación de tensión en la barra en cuestión, respecto de las barras identificadas en la tabla. La aproximación general utilizada para la caracterización de la menor distancia eléctrica fue la impedancia entre las barras.

Tabla 2 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Norte Chico y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

Barra 220kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.07Vs [kV]	0.93Vs [kV]	1.1Vs [kV]	0.9Vs [kV]
Diego de Almagro	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Illapa	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Cumbre	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Francisco	227	238,4	215,7	242,9	211,1	249,7	204,3
Cachiyuyal	227	238,4	215,7	242,9	211,1	249,7	204,3
Paposo	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Carrera Pinto	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
San Andrés	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Cardones	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Nueva Cardones	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Llano de Llampos	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Maitencillo	227	238,4	215,7	242,9	211,1	249,7	204,3
Nueva Maitencillo	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Guacolda	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Don Hector	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Punta Colorada	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Pan de Azúcar	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Nueva Pan de Azúcar	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Don Goyo	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
La Cebada	231	242,6	219,5	247,2	214,8	254,1	207,9
Punta Sierra	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Las Palmas	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Los Vilos	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Choapa	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Doña Carmen	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4

En la tabla anterior se destacan en color azul las barras que cambian su tensión de servicio respecto del valor vigente hasta antes de este estudio.

1.2.3 Tensiones de Servicio Zona Centro

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV son las indicadas en Tabla 3. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla la Tensión de Servicio es igual a la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica, atributo que se puede caracterizar como el mayor valor de sensibilidad entre la variación de tensión en la barra en cuestión, respecto de las barras identificadas en la tabla. La aproximación general utilizada para la caracterización de la menor distancia eléctrica fue la impedancia entre las barras.

Tabla 3 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Centro y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

Barra 220kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.07Vs [kV]	0.93Vs [kV]	1.1Vs [kV]	0.9Vs [kV]
Nogales	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Ventanas	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Quillota	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Los Piuquenes	220	231,0	209,0	235,4	204,6	242,0	198,0
San Luís	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Agua Santa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Polpaico	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Quilapilún	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Los Maquis	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
El Salto	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Lampa	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Nva Lampa	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Cerro Navia	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Lo Aguirre	222	233,1	210,9	237,5	206,5	244,2	199,8
Chena	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Alto Jahuel	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Buín	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Alfalfal	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Los Almendros	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Rapel	222	233,1	210,9	237,5	206,5	244,2	199,8
Alto Melipilla	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Quelentaro	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Maipo	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6

Las Tensiones de Servicio del Sistema de Transmisión de la zona Centro no se modifican, manteniendo su valor actual.

1.2.4 Tensiones de Servicio Zona Sur

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV son las indicadas en Tabla 4. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla la Tensión de Servicio es igual a la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica, atributo que se puede caracterizar como el mayor valor de sensibilidad entre la variación de tensión en la barra en cuestión, respecto de las barras identificadas en la tabla. La aproximación general utilizada para la caracterización de la menor distancia eléctrica fue la impedancia entre las barras.

Tabla 4 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Sur y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia.

Barra 220kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.07Vs [kV]	0.93Vs [kV]	1.1Vs [kV]	0.9Vs [kV]
Candelaria	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Puente Negro	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Colbún	225	236,3	213,8	240,8	209,3	247,5	202,5
Machicura	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Santa Isabel	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Ancoa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Pehuenche	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Loma Alta	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Itahue	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Entre Ríos	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Charrúa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
El Toro	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Antuco	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Quilleco	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Pangue	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Ralco	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Rucúe	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Mampil	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Peuchén	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Concepción	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Hualpén	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Lagunillas	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Bocamina	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Santa Fé	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Santa María	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Mulchén	231	242,6	219,5	247,2	214,8	254,1	207,9
Duqueco	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Los Peumos	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Temuco	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Cautín	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Ciruelos	232	243,6	220,4	248,2	215,8	255,2	208,8
Valdivia	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Laurel	232	243,6	220,4	248,2	215,8	255,2	208,8
Pichirropulli	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Rahue	231	242,6	219,5	247,2	214,8	254,1	207,9
Antillanca	232	243,6	220,4	248,2	215,8	255,2	208,8
Puerto Montt	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Melipulli	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Canutillar	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Chiloé	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0

En la tabla anterior se destacan en color azul las barras que cambian su tensión de servicio respecto del valor vigente hasta antes de este estudio.

2 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En los artículos 5-19, 5-23 y 5-47 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio se establecen los rangos en que se deberá controlar la magnitud de la tensión en las barras del SI, en por unidad respecto de la tensión nominal, para Estado Normal, Estado de Alerta y Estado de Emergencia respectivamente. Además, en estos artículos se indica que en casos debidamente justificados el Coordinador Eléctrico Nacional podrá definir Tensiones de Servicio en reemplazo de las tensiones nominales. Asimismo, el Coordinador deberá justificar el uso de las Tensiones de Servicio mediante un Estudio Específico que se actualizará cada dos años y debe ser enviado a la SEC.

En conformidad a lo señalado, el Coordinador Eléctrico Nacional elaboró el estudio correspondiente, que es resumido en el presente informe y cuyo objetivo principal es la definición y justificación de las Tensiones de Servicio, tal que las tensiones en las distintas barras del SEN se mantengan en rangos que propendan a la utilización eficiente de los recursos de potencia reactiva para el control de tensión y sin comprometer la integridad de las instalaciones, de manera que contribuyan a la seguridad y calidad de servicio.

En primera instancia, las Tensiones de Servicio fueron ratificadas a partir de un análisis estadístico de los valores que se registran en la operación regular del Sistema Eléctrico Nacional. Por otra parte, se realiza un análisis de sensibilidad de flujo de potencia para cada zona del Sistema eléctrico nacional de manera de observar el comportamiento de las tensiones en las distintas barras del sistema ante las principales contingencias locales, de modo de verificar el cumplimiento normativo tanto para operación normal como para post contingencia.

3 ANTECEDENTES

Los antecedentes disponibles son los establecidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. A continuación, se transcriben los Artículos 5-19, 5-23 y 5-47:

3.1 Antecedentes Normativos

Artículo 5-19

El SI deberá operar en Estado Normal con todos los elementos e instalaciones del Sistema de Transmisión (ST) y compensación de potencia reactiva disponibles, y suficientes márgenes y reserva de potencia reactiva en las unidades generadoras, compensadores estáticos y sincrónicos, para lo cual el Coordinador y los CC, según corresponda, deberán controlar que la magnitud de la tensión en las barras del SI esté comprendida entre:

- a) 0,97 y 1,03 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 500 [kV].
- b) 0,95 y 1,05 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 200 [kV] e inferior a 500 [kV].
- c) 0,93 y 1,07 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal inferior a 200 [kV].

En casos debidamente justificados en reemplazo de las tensiones nominales a que se refiere el presente artículo, el Coordinador podrá definir Tensiones de Servicio para las distintas barras del SI, respetando la banda permitida en los valores unitarios indicados respecto de dicha Tensión de Servicio, siempre que el límite superior de ésta no sobrepase las tensiones máximas de servicio de los equipos. El Coordinador deberá justificar el uso de las Tensiones de Servicio mediante un Estudio que se actualizará cada 2 años el cual deberá ser enviado a la SEC.

En todo caso, en sus respectivas evaluaciones, la planificación de la transmisión a la que se refiere la Ley solo deberá utilizar las bandas indicadas, referidas a las tensiones nominales.

Artículo 5-23

En Estado de Alerta el Coordinador y los CC deberán controlar que la magnitud de la tensión en las barras del SI esté comprendida entre:

- a) 0,95 y 1,05 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 500 [kV], siempre que el límite superior no exceda la tensión máxima de servicios de los equipos.
- b) 0,93 y 1,07 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 200 [kV] e inferior a 500 [kV], siempre que el límite superior no exceda la tensión máxima de servicios de los equipos.
- c) 0,90 y 1,10 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal inferior a 200 [kV], siempre que el límite superior no exceda la tensión máxima de servicios de los equipos.

En casos debidamente justificados, en reemplazo de las tensiones nominales a que se refiere el presente artículo, el Coordinador podrá definir Tensiones de Servicio para las distintas barras del SI, respetando la banda permitida en los valores unitarios indicados, siempre que el límite superior de ésta no sobrepase las tensiones máximas de servicio de los equipos. El Coordinador deberá justificar el uso de las Tensiones de Servicio mediante un Estudio que se actualizará cada 2 años el cual deberá ser enviado a la SEC.

En todo caso, en sus respectivas evaluaciones, la planificación de la transmisión a la que se refiere la Ley solo deberá utilizar las bandas indicadas, referidas a las tensiones nominales.

Artículo 5-47

En Estado de Emergencia el Coordinador y los CC deberán controlar que la magnitud de la tensión en las barras del SI esté comprendida entre:

- a) 0,93 y 1,05 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 500 [kV], siempre que el límite superior no exceda la tensión máxima de servicios de los equipos.
- b) 0,90 y 1,10 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 200 [kV] e inferior a 500 [kV], siempre que el límite superior no exceda la tensión máxima de servicios de los equipos.
- c) 0,90 y 1,10 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal inferior a 200 [kV], siempre que el límite superior no exceda la tensión máxima de servicios de los equipos.

En casos debidamente justificados en reemplazo de las tensiones nominales a que se refiere el presente artículo, el Coordinador podrá definir tensiones de servicio para las distintas barras del SI, respetando la banda permitida en los valores unitarios indicados, siempre que el límite superior de ésta no sobrepase las tensiones máximas de servicio de los equipos. El Coordinador deberá justificar el uso de las tensiones de servicio mediante un Estudio que se actualizará cada 2 años el cual deberá ser enviado a la SEC.

En todo caso, en sus respectivas evaluaciones, la planificación de la transmisión a la que se refiere la Ley solo deberá utilizar las bandas indicadas, referidas a las tensiones nominales.

3.2 Proyectos Relevantes

Las obras más relevantes consideradas en el estudio son las indicadas en el Estudio de Control de Tensión publicado en junio de 2021. Estas consideran los proyectos más importantes hasta diciembre de 2022, los cuales se resumen a continuación.

Tabla 5 Proyectos de Transmisión considerados en el Estudio.

Nombre Proyecto	Sistema Tx	Nivel Tensión [kV]	Capacidad instalada [MVA]	Región	PES Estimada
Línea de Transmisión 2x220 kV Planta Arauco - Lagunillas (MAPA) y Ampliación de SE Planta Arauco (Etapa 1)	STD	220	380	Biobío	31-dic-20
Línea 2x500 kV Pichirropulli – Nueva Puerto Montt, energizada en 220 kV	STN	220	-	Los Lagos	30-ene-21
Nueva S/E Seccionadora Frutillar Norte 220 kV	STN	220	-	Los Lagos	30-ene-21
Planta Flotación Escoria	STD	110	50	O'Higgins	30-ene-21
Seccionamiento en Línea 2X154 kV Alto Jahuel – Tinguiririca en SE Punta de Cortés	STZ	154	-	O'Higgins	30-ene-21
SE Puquios (QB2)	STD	220	432	Tarapacá	31-ene-21
SE Seccionadora Nueva Chuquicamata 220 kV	STN	220	-	Antofagasta	28-feb-21
Nueva línea 2x220 kV entre S/E Nueva Chuquicamata - S/E Calama	STN	220	-	Antofagasta	28-feb-21
SE Seccionadora Puerto Patache 220 kV (QB2) y Tendido de Segundo Circuito, Línea 2x220 kV Tarapacá –Puerto Patache	STD	220	-	Tarapacá	28-feb-21
SE Seccionadora Geoglifos 220 kV (QB2)	STD	220	-	Tarapacá	28-feb-21
SE Patillos (QB2), y Línea 2x220 kV Patillos – Puerto Patache	STD	220	134.5	Tarapacá	28-feb-21
SE Oyarvide (QB2), y Línea 2x220 kV Oyarvide - Geoglifos	STD	220	66.6	Tarapacá	28-feb-21
S/E Nueva Panquehue 110/13,8 kV	STZ	110/13-8	30	Valparaíso	28-feb-21
S/E Nueva Metrenco 220/66 kV	STZ	220/66	120	La Araucanía	28-feb-21
Nueva S/E La Pólvora 220/110 kV	STN	220/110	150	Valparaíso	30-mar-21
SE Seccionadora Los Olmos	STD	220	90	Bío	31-mar-21
Seccionamiento de línea de transmisión 2x220 kV La Higuera – Tinguiririca y conexión a S/E Puente Negro 220 kV (Ampliación SE Puente Negro)	STD	220	-	O'Higgins	30-abr-21
SE Seccionadora Tigre 220 kV	STD	220	200	Antofagasta	30-abr-21
SE Seccionadora Valle Escondido 220 kV	STD	220	120	Atacama	30-abr-21
Normalización de la conexión de Autotransformadores ATR3 y ATR4 en Subestación Diego de Almagro		220	-	Atacama	30-abr-21
Nueva SE Llanquihue 220 kV - Etapa 2	STZ	220	-	Los Lagos	20-may-21
S/E Nueva Ancud 220 kV	STN	220	-	Los Lagos	30-may-21
Conexión a S/E Tinguiririca 220 kV	STD	220	-	O'Higgins	30-jun-21
Modificación de Conexión de Paños de Transformación TR5 y un Nuevo Banco en Nuevo Patio "GIS" 110 kV S/E Cerro Navia 110 kV	STN	220	-	Metropolitana	30-jul-21

Nombre Proyecto	Sistema Tx	Nivel Tensión [kV]	Capacidad instalada [MVA]	Región	PES Estimada
Nueva S/E Lastarria 220/66 kV	STN	220	75	La Araucanía	30-ago-21
Nueva S/E Río Aconcagua 220/110 kV	STN	220/110	350	Valparaíso	30-oct-21
S/E Seccionadora Coya 678 220 kV, Línea 1x220 kV Crucero – Radomiro Tomic	STD	220	200	Antofagasta	30-dic-21
Nueva Línea Nueva Maitencillo - Punta Colorada - Nueva Pan de Azúcar 2x220 kV, 2x500 MVA	STN	220	-	Atacama/ Coquimbo	30-abr-22
Línea de Transmisión 2x220 kV Lagunas – Puquios (QB2)	STD	220	-	Tarapacá	30-abr-22
SE Challacollo (QB2)	STD	220	66.6	Tarapacá	30-abr-22
SE Paguana (QB2)	STD	220	66.6	Tarapacá	30-abr-22
Subestación Seccionadora de la Línea Ventanas – Torquemada 2x110 kV Etapa 2	STZ	110	-	Valparaíso	30-abr-22
Nuevo Transformador en Subestación Seccionadora de la Línea Ventanas – Torquemada 2x110 kV	STZ	110	-	Valparaíso	30-abr-22
Nueva S/E Los Notros	STD	220	53	Los Lagos	30-ago-22
Nueva S/E Seccionadora Hualqui 220/66 kV	STN	220/66	90	Biobío	30-oct-22
Nueva S/E Mataquito 220/66 kV	STN	220/66	90	Maule	30-oct-22
Nueva Línea 2X220 kV Itahue – Mataquito	STN	220	-	Maule	30-oct-22
Nueva Línea Nueva Pan de Azúcar - Punta Sierra - Los Pelambres 2x220 kV, 2x580 MVA	STN	220	-	Coquimbo	30-nov-22

3.3 Zonas de Estudio

Debido a las características del Sistema Eléctrico Nacional, tales como una topología longitudinal muy extendida, líneas de interconexión de gran longitud, una distribución concentrada y no uniforme de los consumos y la generación, se consideró analizar la totalidad del sistema de transmisión de 500kV (que comprende las instalaciones desde SE Kimal hasta la SE Charrúa) y del sistema de transmisión de 220kV (que se extiende desde la SE Parinacota en el extremo norte del país hasta la SE Chiloé en el extremo sur). Para las instalaciones del sistema de transmisión 220kV se definió un conjunto de zonas, las cuales se indican a continuación:

- Zona Norte Grande: desde SE Los Changos hasta el extremo norte del país.
- Zona Norte Chico: de SE Paposos hasta SE Los Vilos.
- Zona Centro: de SE Nogales hasta SE Alto Jahuel.
- Zona Sur: de SE Alto Jahuel hasta el extremo sur del país.

3.4 Características de los Escenarios de Operación

En atención al comportamiento particular de la distribución de la demanda y a las características del despacho de generación que presenta el sistema en distintos periodos del año, el estudio contempla escenarios base de operación representativos de periodos estacionales con similares características de la demanda y del tipo de despacho de generación.

Para el suministro de las demandas estacionales en los distintos escenarios base de operación, se utilizan despachos de generación acordes con la programación de la generación para una condición hidrológica media y las indisponibilidades de generación por mantenimientos según el Programa de Mantenimiento Mayor, y la variabilidad del recurso eólico y fotovoltaico. Los escenarios resultantes se indican en la siguiente tabla:

Tabla 6 Características de los Escenario.

	Dic 21 (E1)	Ene 22 (E2)	Mar 22 (E3)	Jul 22 (E4)	Dic 22 (E5)	Sep 22 (E6)
Demanda Alta/Baja	DA	DA	DA	DA	DB	DB
% Gen ERV	51	50	43	53	24	40
% Gen Convencional	49	50	57	47	76	60
Demanda SEN (MW)	11289	11305	10989	10534	7223	7143

4 DESARROLLO DEL ESTUDIO

De acuerdo con los criterios empleados en el Estudio de Control de Tensión y Reserva de Potencia Reactiva, la asignación de los recursos para el control de tensión debe propender a la reducción de flujos de potencia reactiva por el sistema de transmisión (minimización de pérdidas) y al uso más eficiente de la reserva de reactivos para afrontar las contingencias más críticas.

Dado que los aportes de potencia reactiva de líneas de transmisión, bancos de condensadores y otros equipos de compensación de reactivos estáticos están en relación cuadrática con la tensión aplicada, la reducción de pérdidas de transmisión y uso más eficiente de los recursos de potencia reactiva del SEN se logran operando el sistema de transmisión con tensiones más altas que la nominal. La operación del sistema de transmisión en un rango de tensiones superior al nominal, con igual disponibilidad de instalaciones, deriva en un incremento de la reserva dinámica de reactivos que permite afrontar, de mejor forma, contingencias que soliciten reactivos adicionales (salida forzada de generadores o líneas de transmisión).

A continuación, se realiza un análisis de flujos de potencia para verificar la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva en las distintas barras del sistema eléctrico nacional. Este análisis considera todas las contingencias que provocan el mayor requerimiento de potencia reactiva para cada zona, así como también se muestran los gráficos con las tensiones pre y post contingencia para las barras que producen el mayor requerimiento de reactivos. Por lo anterior, los gráficos mostrados a continuación representan a las barras cuya sensibilidad de la tensión es mayor para las contingencias analizadas, por lo que no se muestran todas las barras de la zona.

4.1 Zona Norte Grande

La Zona Norte Grande comprende desde la SE Los Changos hasta el extremo norte del país, y principalmente se caracteriza por presentar consumos de tipo industrial.

Para ajustar la tensión en las barras de las SS/EE se modifican las consignas de tensión de las centrales y SVC que inyectan en la zona, manteniendo en servicio los recursos estáticos de potencia reactiva. En la Tabla 7 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios analizados: E4 (Demanda máxima) y E5 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide de la siguiente forma:

- SVC: en el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: como la suma de potencia reactiva de las unidades que componen la central.
- Parques ERV: en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.

Tabla 7 Despacho de Potencia Activa y Reactiva Zona Norte Grande E4 y E5.

Resumen Escenario	E4		E5	
	P	Q	P	Q
	[MW]	[MVar]	[MW]	[MVar]
Norte Grande - Norte				
ANG1	90.1	-41.7	258.8	-14.2
ANG2	87.0	-40.6	0.0	0.0
CAVA	0.9	0.0	1.3	-0.1
CCH1	107.6	-37.0	140.9	-37.4
CCH2	107.6	-36.8	140.9	-37.2
CHAP1	1.1	0.0	5.0	-0.5
CHAP2	0.0	0.0	0.0	0.0
CT Salar TG1	0.0	0.0	0.0	0.0
CT Salar TG2	0.0	0.0	0.0	0.0
CTA	0.0	0.0	0.0	0.0
CTH	0.0	0.0	0.0	0.0
CTM1	0.0	0.0	0.0	0.0
CTM2	0.0	0.0	0.0	0.0
CTM3-TG	0.0	0.0	0.0	0.0
CTM3-TV	0.0	0.0	0.0	0.0
CTTAR	----	----	----	----
Cerro Dominador CSP	99.0	-12.4	89.0	27.7
Cerro Pabellón TG1	5.0	-2.9	21.0	-0.2
Cerro Pabellón TG2	4.5	-2.9	21.0	-0.2
Cerro Pabellón TG3	0.0	0.0	21.0	-0.2
GMAR	0.0	0.0	0.0	0.0
IEM	175.7	-88.3	216.0	-88.0
INACAL	0.0	0.0	0.0	0.0
Kelar TG1	0.0	0.0	0.0	0.0
Kelar TG2	0.0	0.0	0.0	0.0
Kelar TV	0.0	0.0	0.0	0.0
M1AR	0.0	0.0	0.0	0.0
M2AR	0.0	0.0	0.0	0.0
MIMB	0.0	0.0	0.0	0.0
NTO1	0.0	0.0	73.5	-8.7
NTO2	73.0	-7.4	73.0	-8.8
PAM	22.0	0.0	22.0	-0.3
PMG La Portada	0.0	0.0	0.0	0.0
SUTA	0.0	0.0	0.0	0.0
TG1	0.0	0.0	0.0	0.0

TG1A	0.0	0.0	0.0	0.0
TG1B	0.0	0.0	0.0	0.0
TG2	0.0	0.0	0.0	0.0
TG2A	0.0	0.0	0.0	0.0
TG2B	0.0	0.0	0.0	0.0
TG3	0.0	0.0	0.0	0.0
TGTAR	0.0	0.0	0.0	0.0
TV1C	0.0	0.0	0.0	0.0
TV2C	0.0	0.0	0.0	0.0
U14	----	----	----	----
U15	----	----	----	----
U16	0.0	0.0	0.0	0.0
UG1	0.0	0.0	0.0	0.0
UG2	0.0	0.0	0.0	0.0
UG3	0.0	0.0	0.0	0.0
UG4	0.0	0.0	0.0	0.0
UG5	0.0	0.0	0.0	0.0
UG6	0.0	0.0	0.0	0.0
ZOFRI N°1 y N°6	0.0	0.0	0.0	0.0
ZOFRI N°11 y N°12	0.0	0.0	0.0	0.0
ZOFRI N°13	0.0	0.0	0.0	0.0
ZOFRI N°2 a N°4	0.0	0.0	0.0	0.0
ZOFRI N°5	0.0	0.0	0.0	0.0
ZOFRI N°7 a N°10	0.0	0.0	0.0	0.0
PE Tchamma_GEN	136.9	-19.5	13.8	0.0
PE Calama_GEN	132.2	-18.8	13.3	0.0
PE Ckani_GEN	69.8	-9.9	9.7	0.0
PE Llanos del Viento_GEN	137.5	-19.6	13.9	0.0
PE Valle de los Vientos Gen 1-5	44.1	-6.3	4.3	0.9
PE Valle de los Vientos Gen 6-9	35.2	-5.0	3.4	0.7
PFV Ampliación Finis Terrae Etapa I_GEN	43.7	-6.2	16.2	0.0
PFV Atacama Solar II_GEN	51.9	-7.4	23.9	0.0
PFV Azabache_GEN	0.0	0.0	16.7	0.0
PFV Bolero	123.2	-17.6	23.5	0.0
PFV Capricornio_GEN	84.6	-12.0	19.3	0.0
PFV Cerro Dominador	34.6	-15.0	16.1	-5.0
PFV Coya_GEN	62.3	-8.9	29.0	0.0
PFV Finis Terrae	23.9	-3.4	8.9	-2.6
PFV Finis Terrae 2	23.9	-3.4	8.9	-2.6
PFV Granja Solar	0.0	0.0	16.7	0.0

PFV Huatacondo	86.8	-12.4	15.6	0.0
PFV Jama I	0.0	0.0	8.4	0.4
PFV Jama II	0.0	0.0	6.3	0.2
PFV La Cruz Solar_GEN	0.0	0.0	8.0	0.0
PFV La Huayca II	17.1	-2.4	0.0	0.0
PFV María Elena	0.0	0.0	5.2	0.0
PFV PAS2	6.3	-0.9	0.6	0.0
PFV PAS3	13.5	-1.9	1.3	0.0
PFV Pampa Camarones	5.8	-0.8	0.4	0.0
PFV Parinacota_GEN	0.0	0.0	0.0	0.0
PFV Puerto Seco Solar	0.0	0.0	1.6	0.0
PFV Quillagua_GEN	0.0	0.0	15.9	0.0
PFV San Pedro_GEN	39.8	-5.7	18.8	0.0
PFV Santa Isabel I_GEN	60.4	-20.0	25.3	-10.0
PFV Sol del Desierto Fase II_GEN	0.0	0.0	4.2	0.0
PFV Sol del Desierto I_GEN	0.0	0.0	13.4	0.0
PFV Tamaya Solar_GEN	0.0	0.0	0.0	0.0
PFV Uribe Solar	49.8	-7.1	6.7	-0.7
PFV Usya	0.0	0.0	0.0	0.0
PE Sierra Gorda Este	77.2	-12.8	36.8	0.6
Total NGN	2133.9	-487.1	1489.4	-186.3
Norte Grande - Sur				
TG11	0.0	0.0	0.0	0.0
TG12	0.0	0.0	0.0	0.0
TV10	0.0	0.0	0.0	0.0
PE Cerro Tigre_GEN	162.8	-23.2	16.3	0.0
PFV Andes Solar	20.2	-2.9	4.6	0.0
PFV Andes Solar II	60.0	-8.5	15.0	0.0
PFV Blanca Solar_GEN	0.0	0.0	19.0	0.0
PFV Domeyko_GEN	179.1	-25.5	40.8	0.0
PFV Pampa Tigre_GEN	100.0	-14.2	27.9	0.0
PFV Pampa_GEN	51.9	-7.4	130.9	0.0
PFV Sol de Lila_GEN	146.2	-20.8	33.3	0.0
SVC Domeyko	----	113.8	----	107.0
Total NGS	720.2	11.2	287.8	107.0
Total NG	2854.1	-475.9	1777.2	-79.3

4.1.1 Análisis de resultados NG Norte

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVar], para las distintas barras de la Zona Norte Grande, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias. El siguiente gráfico muestra solo las barras que presentan la mayor sensibilidad para las distintas contingencias analizadas.

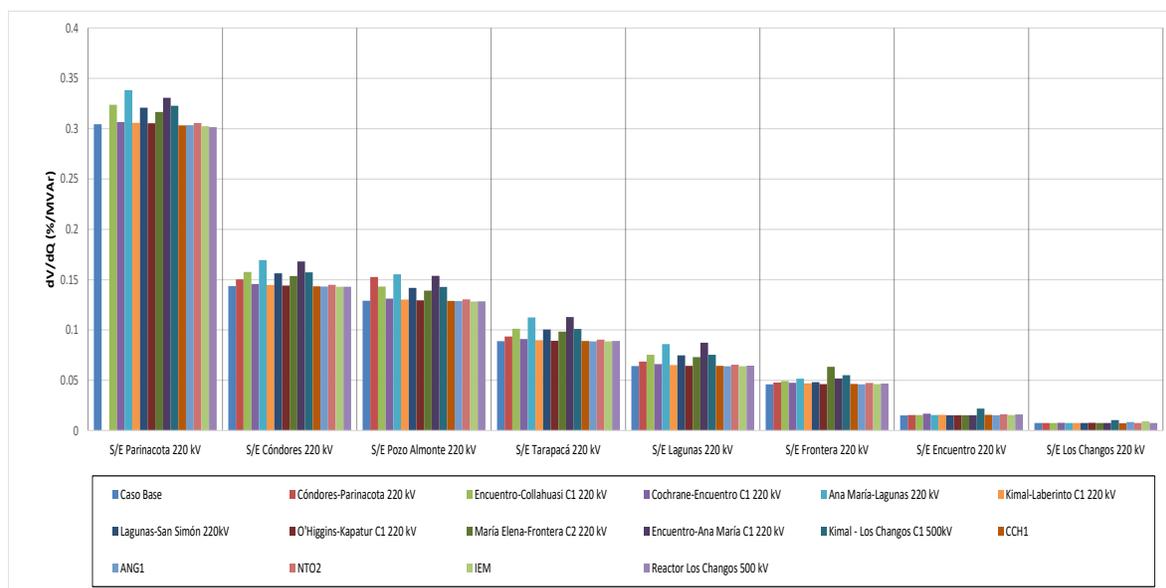


Figura 1 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E4.

Del gráfico anterior, se puede apreciar que, para la mayor parte de las fallas, las barras en análisis no cambian significativamente su sensibilidad. Esto se puede explicar por la característica enmallada del sistema y porque existe más de un elemento de control de tensión en cada nodo PV. Además, ninguna de las barras de la Zona del Norte Grande pierde controlabilidad de tensión.

b) Tensiones en Barras de la Zona Norte Grande 220kV

A continuación, se muestran las tensiones pre y post contingencia en [p.u.], de un conjunto de barras de la Zona Norte Grande, las cuales se seleccionan de acuerdo con las barras que presentan la mayor variación porcentual de la tensión.

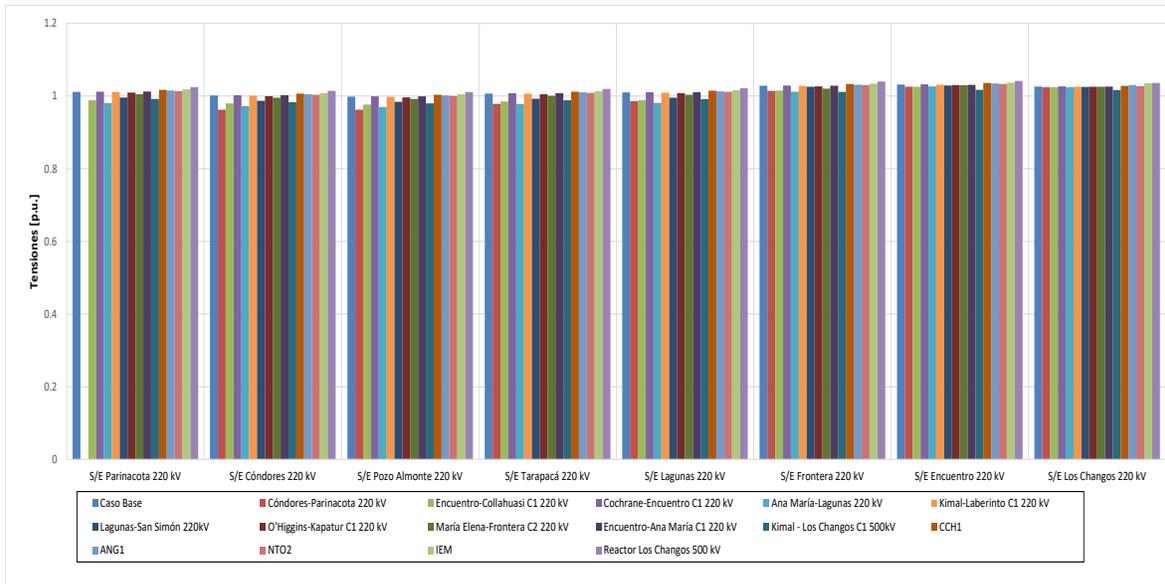


Figura 2 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E4.

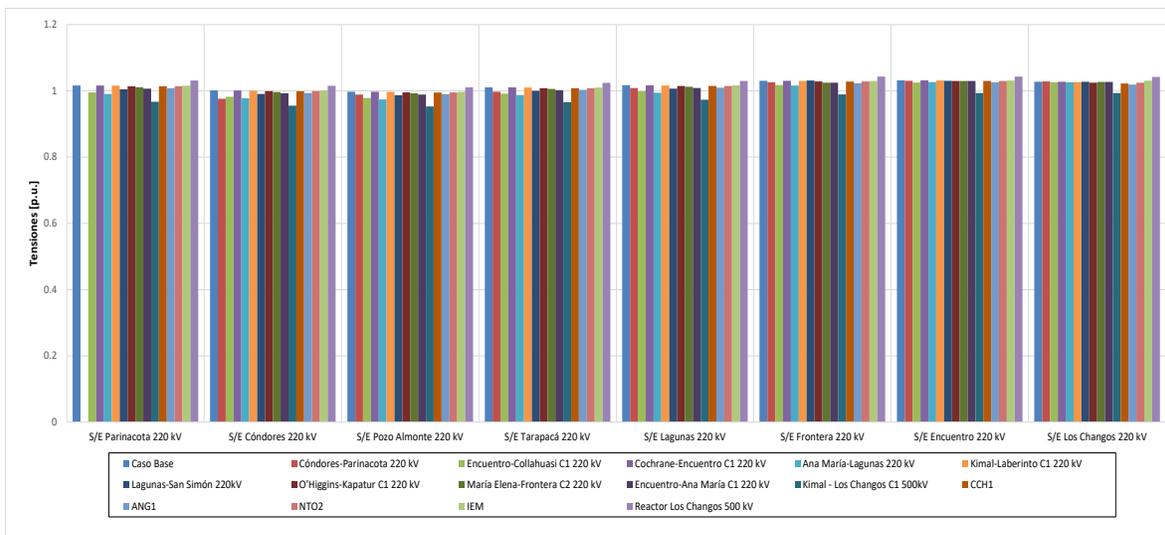


Figura 3 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E5.

De los gráficos anteriores, se puede observar que las tensiones pre y post contingencia se encuentran dentro de los rangos establecidos en la NT.

4.1.2 Análisis de resultados NG Sur

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVAR], para las distintas barras de la zona sur del Norte Grande, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias. El siguiente gráfico muestra solo las barras que presentan la mayor sensibilidad para las distintas contingencias analizadas.

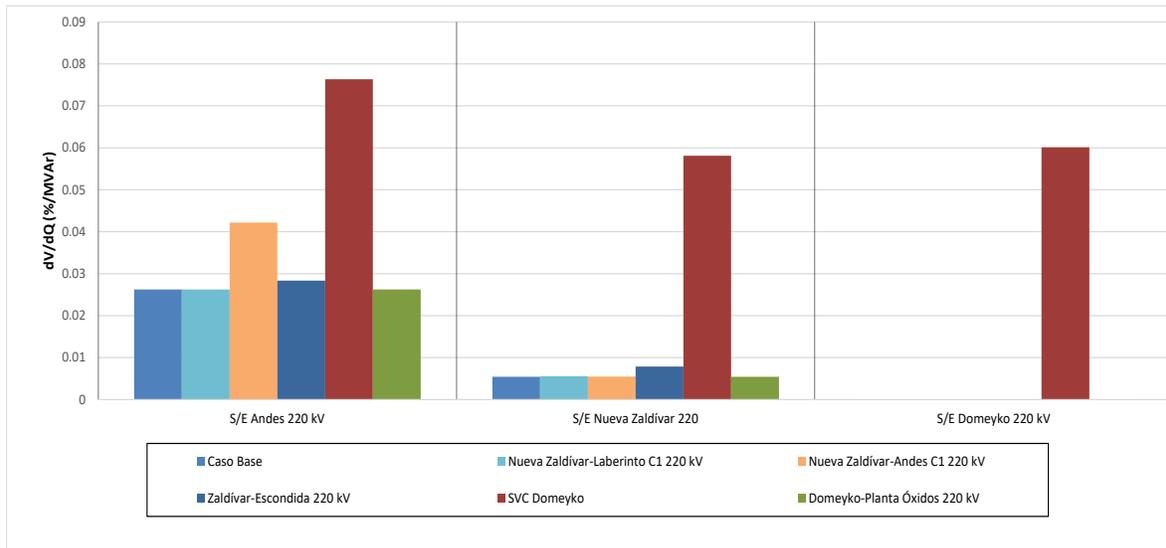


Figura 4 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E4.

De los gráficos se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla del SVC de Domeyko, debido a que es el único elemento de control de tensión en el área.

Cabe señalar que, ante las distintas fallas analizadas, ninguna de las barras de la Zona del Norte Grande pierde controlabilidad de tensión.

b) Tensiones en Barras de la Zona Norte Grande 220kV

Las tensiones pre y post contingencia en [p.u.], de un conjunto de barras de la Zona Norte Grande, son seleccionadas de acuerdo con la variación porcentual de la tensión, y se presentan a continuación.

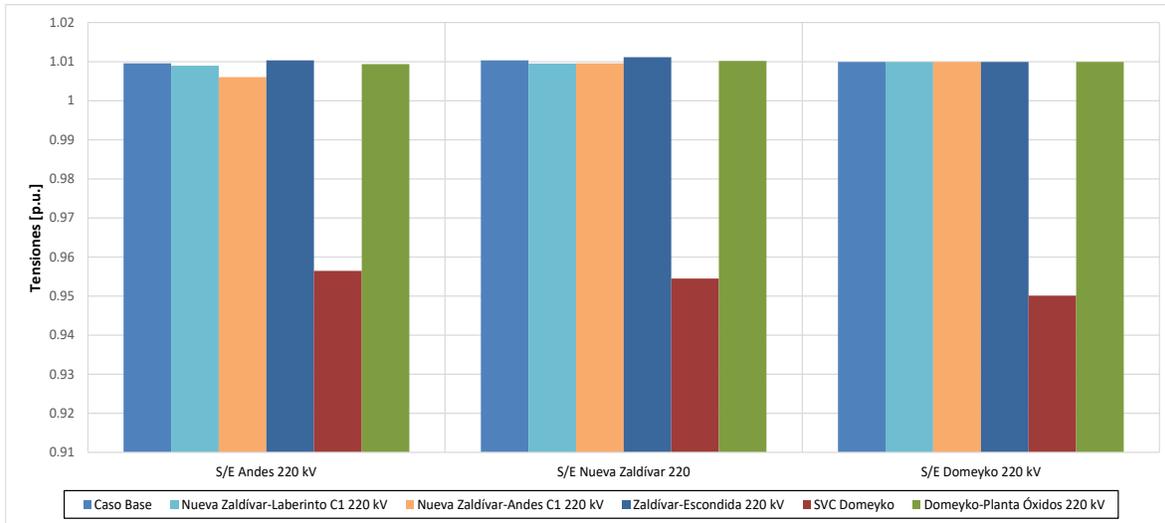


Figura 5 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E4.

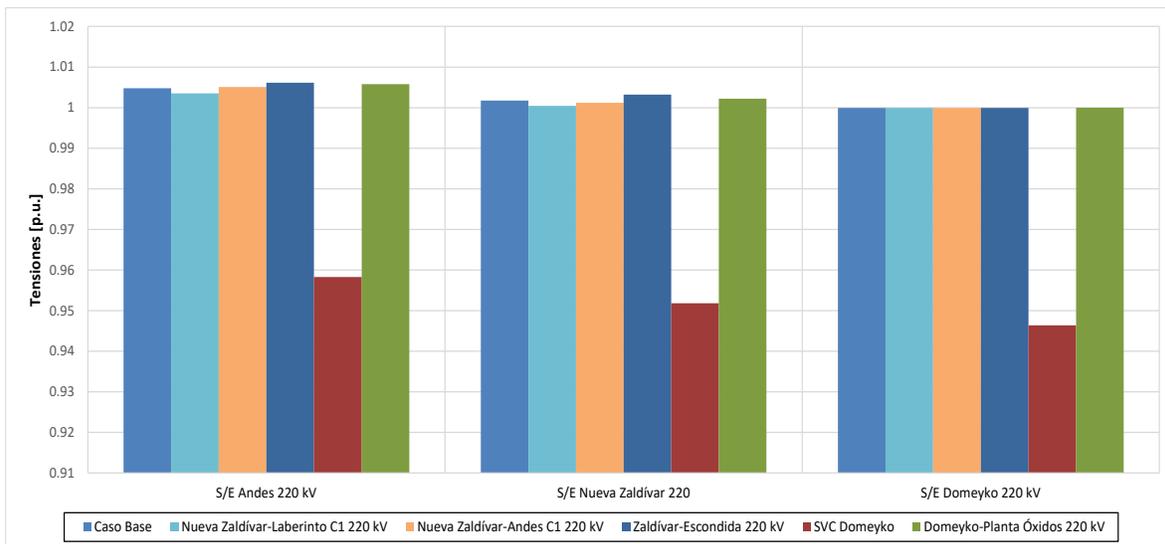


Figura 6 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E5.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona del Norte Grande poseen variaciones de tensión de hasta un 5% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que la falla que provoca mayor cambio en la tensión es la falla del SVC Domeyko. Las tensiones del Norte Grande cumplen con los rangos de operación para estado de alerta para todas las contingencias analizadas.

4.2 Zona Norte Chico

La Zona del Norte Chico se encuentra desde la SE Paposo hasta la SE Los Vilos. Esta zona se caracteriza por ser un nexo entre la Zona Norte Grande y la Zona Centro del sistema, las condiciones de generación y consumo de las zonas aledañas derivan en que el sistema de transmisión del Norte Chico experimente variaciones en la dirección del flujo de potencia activa, con transferencias tanto de norte a sur como en el sentido inverso.

Para ajustar la tensión en las barras de las SS/EE se modifican las consignas de control de tensión de las centrales y los CER que inyectan en la zona, manteniendo en servicio los recursos estáticos de potencia reactiva. En la siguiente Tabla 8 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E3 (Demanda máxima) y E5 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide de la siguiente forma:

- SVC: en el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: como la suma de potencia reactiva de las unidades que componen la central.
- Parques ERV: en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.

Tabla 8 Despacho de Potencia Activa y Reactiva Zona Norte Chico.

Resumen Escenario	E3		E5	
	P	Q	P	Q
	[MW]	[MVar]	[MW]	[MVar]
Norte Chico - Norte				
Andes U1	0.0	0.0	0.0	0.0
Andes U2	0.0	0.0	0.0	0.0
Andes U3	0.0	0.0	0.0	0.0
Andes U4	0.0	0.0	0.0	0.0
Diego de Almagro U1	0.0	0.0	0.0	0.0
Diego de Almagro U2	0.0	0.0	0.0	0.0
Emelda U1	0.0	0.0	0.0	0.0
Emelda U2	0.0	0.0	0.0	0.0
San Lorenzo U1	0.0	0.0	0.0	0.0
San Lorenzo U2	0.0	0.0	0.0	0.0
San Lorenzo U3-U4-U5	0.0	0.0	0.0	0.0
San Lorenzo U6	0.0	0.0	0.0	0.0
Taltal U1	0.0	0.0	0.0	0.0
Taltal U2	0.0	0.0	0.0	0.0
PE Taltal	75.0	-10.0	8.9	0.0
PFV Almeyda	33.9	0.0	9.5	0.0
PFV Chañares	19.6	0.0	2.8	0.0
PFV Conejo	62.8	0.0	18.9	-9.0
PFV Diego de Almagro	17.3	0.0	1.1	0.0
PFV Javiera	35.1	0.0	6.2	0.0
PFV Lalackama	39.2	-18.3	14.7	-7.0
PFV Malgarida II_GEN	93.6	0.0	12.7	0.0
PFV Malgarida I_GEN	15.2	0.0	2.2	0.0
PFV Pampa Solar Norte	37.4	0.0	6.6	-3.0
PFV RTS	0.0	0.0	0.0	0.0
PFV Salvador	34.4	0.0	13.4	0.0
PFV Sol de Atacama_GEN	56.6	0.0	2.7	0.0
PFV Sol de los Andes_GEN	48.6	0.0	7.0	0.0
SVC D.Almagro	----	14.9	----	-12.0
Total NCHN	568.7	-13.4	106.7	-31.0
Norte Chico - Centro-Sur				
CT Combarbalá	0.0	0.0	0.0	0.0
Cardones (ex Tierra Amarilla)	0.0	0.0	0.0	0.0
Cenizas U1	0.0	0.0	0.0	0.0
Cenizas U2	0.0	0.0	0.0	0.0
Cenizas U3	0.0	0.0	0.0	0.0
El Peñón N1	0.0	0.0	0.0	0.0
El Peñón N2	0.0	0.0	0.0	0.0
El Peñón N3	0.0	0.0	0.0	0.0
El Peñón N4	0.0	0.0	0.0	0.0
Guacolda U1	55.8	-0.4	0.0	0.0
Guacolda U2	55.8	-0.4	0.0	0.0
Guacolda U3	121.9	1.0	45.0	18.7
Guacolda U4	43.8	-0.7	38.0	7.0
Guacolda U5	113.3	4.6	38.0	23.0

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de operación para el escenario de demanda máxima E3 y del escenario de demanda mínima E5.

4.2.1 Análisis de resultados NCH Norte

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVar], para las distintas barras de la Zona Norte Chico, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

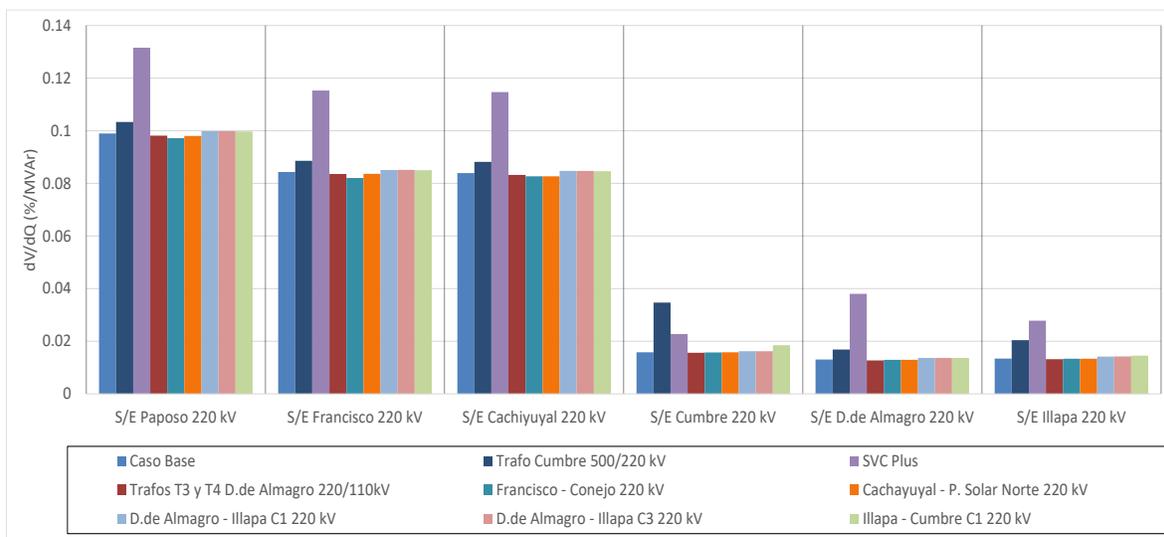


Figura 7 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E3.

Cabe señalar que, ante las distintas fallas analizadas, los elementos de control de tensión se encuentran dentro de sus márgenes de operación. Por lo tanto, ninguna de las barras de la Zona del Norte Chico pierde controlabilidad de tensión. Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla del SVC Plus de Diego de Almagro.

b) Tensiones en Barras de la Zona Norte Chico 220kV

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 220kV en condiciones normales y post contingencia.

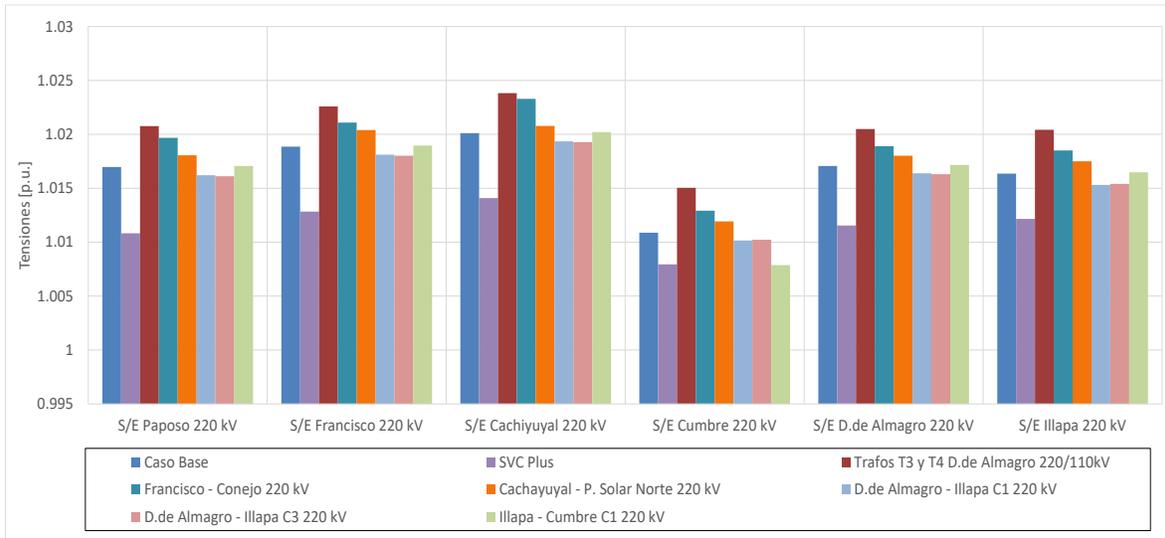


Figura 8 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E3.

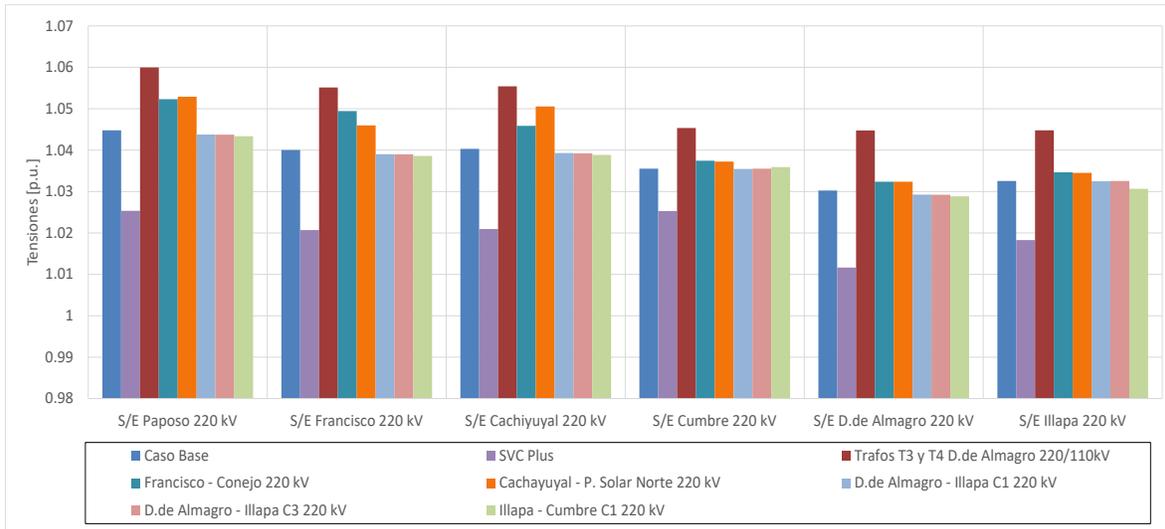


Figura 9 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E5.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona del Norte Chico poseen variaciones de tensión de hasta 2% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que la falla que provoca un mayor cambio en la tensión es la pérdida del SVC Plus. Las tensiones del Norte Chico cumplen con los rangos de operación para estado de alerta para todas las contingencias analizadas.

4.2.2 Análisis de resultados NCH Sur

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVar], para las distintas barras de la Zona Norte Chico, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

Sistema de 500 kV

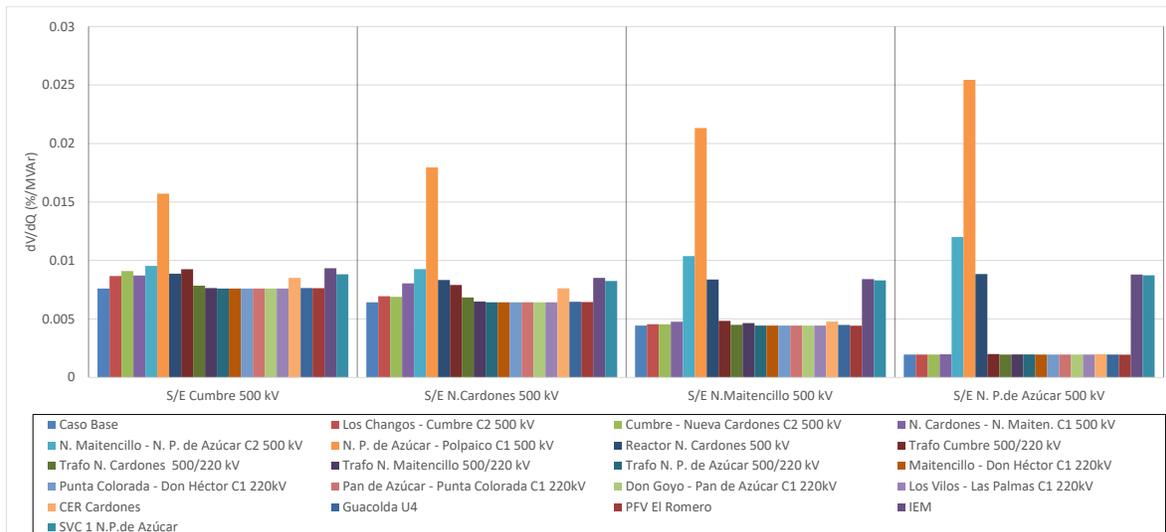


Figura 10 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 500kV del Norte Chico en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar Polpaico 500kV.

Sistema de 220 kV

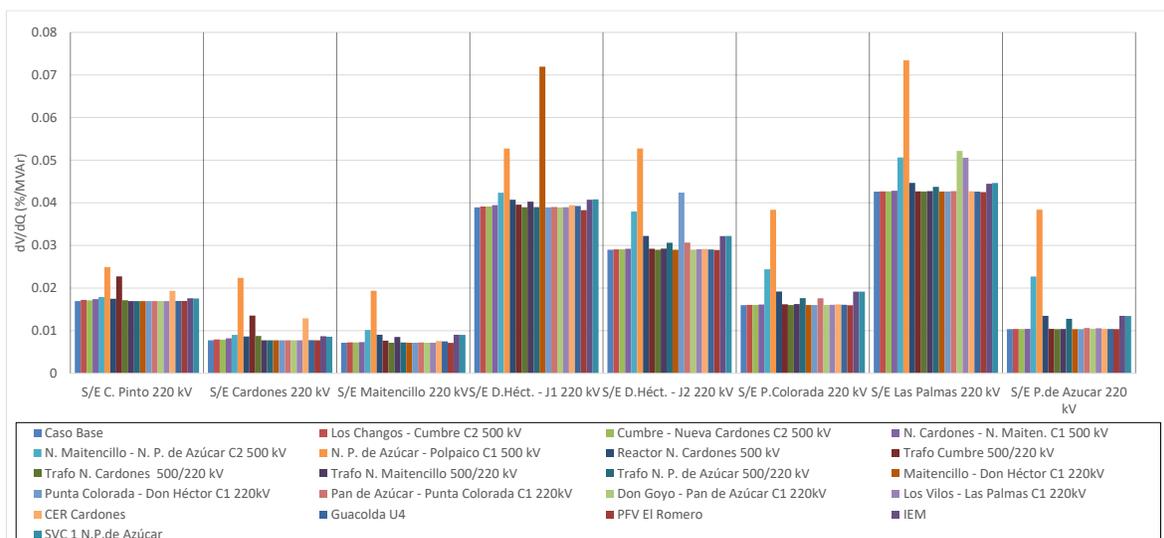


Figura 11 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar Polpaico 500kV.

Cabe señalar que, ante las distintas fallas analizadas, los elementos de control de tensión se encuentran dentro de sus márgenes de operación. Por lo tanto, para los escenarios analizados, ninguna de las barras de la Zona del Norte Chico pierde controlabilidad de tensión.

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 220kV en condiciones normales y post contingencia.

b) Tensiones en Barras de la Zona Norte Chico Sur

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 500kV y 220kV en condiciones normales y post contingencia.

Sistema de 500 kV

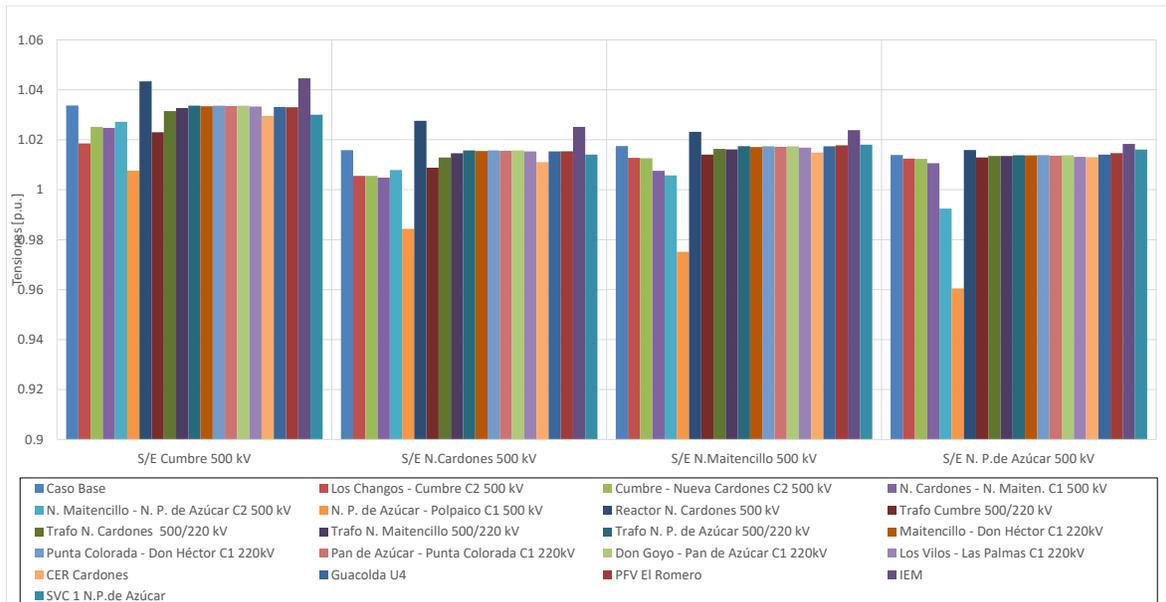


Figura 12 Tensiones en barras de 500 kV de la Zona Norte Chico en E3.

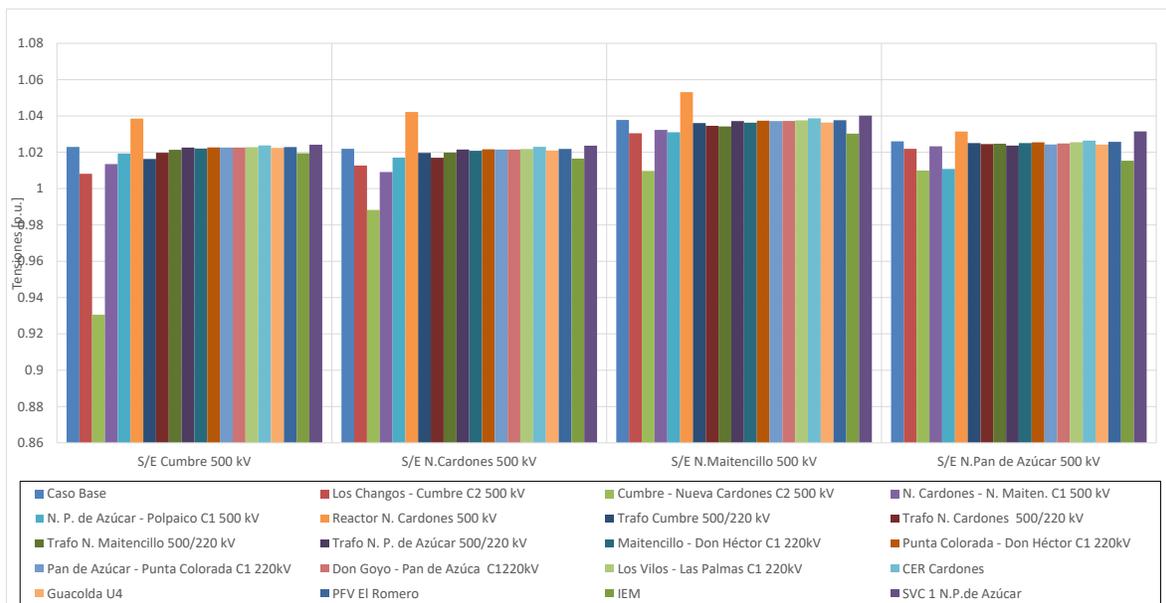


Figura 13 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E5.

Las tensiones del Norte Chico cumplen con los rangos de operación para estado de alerta para todas las contingencias analizadas.

Sistema de 220 kV

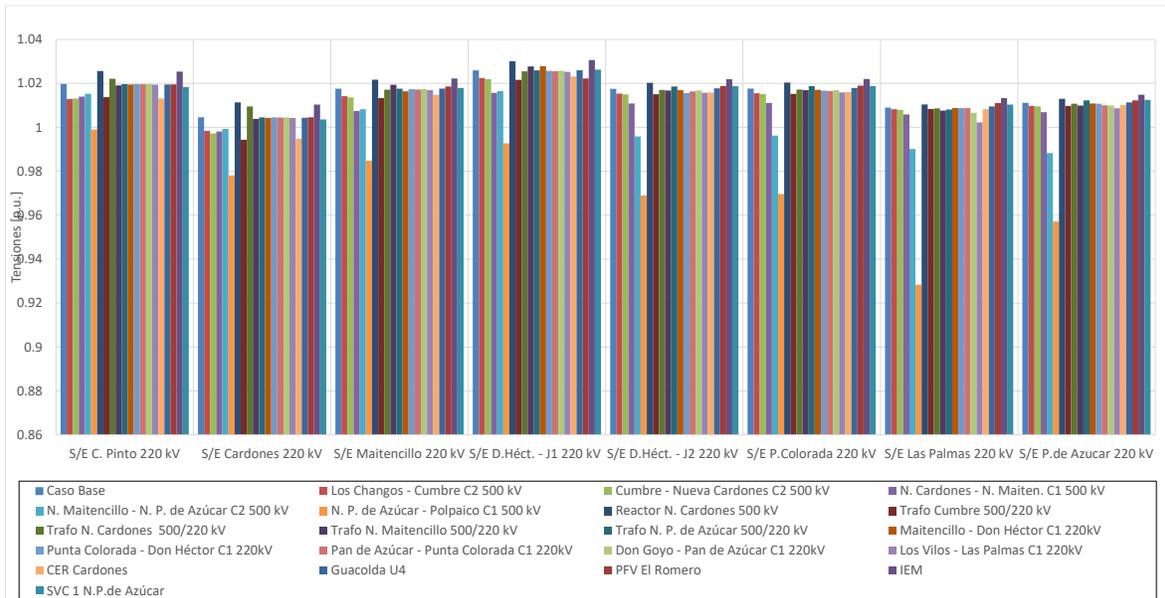


Figura 14 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E3.

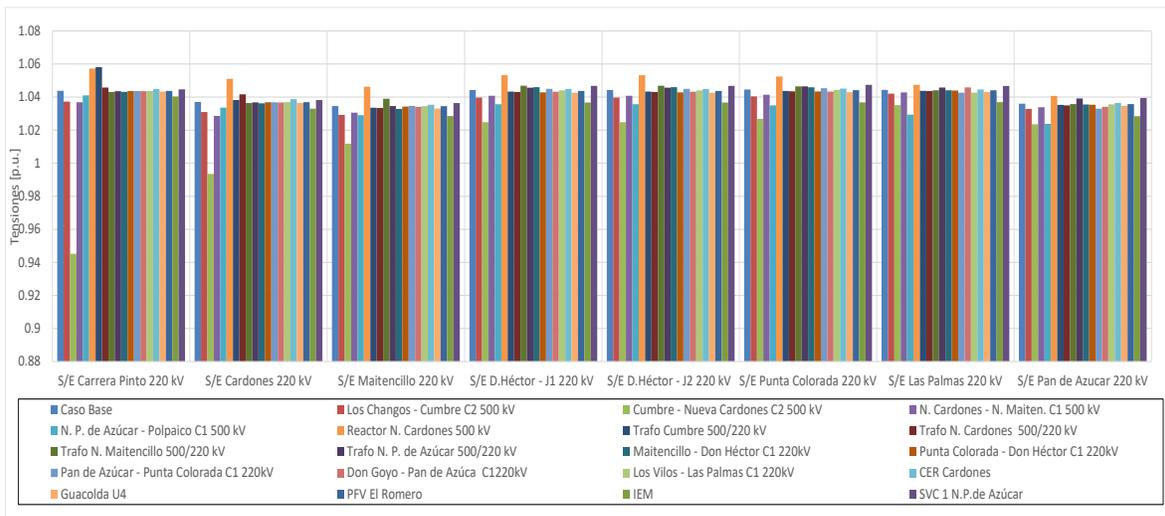


Figura 15 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E5.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras de la Zona del Norte Chico poseen variaciones de tensión de hasta 5% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que las fallas que provocan el mayor cambio en la tensión es la falla del Reactor de Nueva Cardones 500kV, y la falla de un circuito Cumbre Nueva Cardones 500kV. Las tensiones del Norte Chico cumplen con los rangos de operación para estado de alerta para todas las contingencias analizadas.

4.3 Zona Centro

La Zona Centro se encuentra desde la SE Nogales hasta SE Alto Jahuel. Para modificar la tensión en las barras de las SS/EE se ajustan las consignas de control de tensión de las centrales y los CER que inyectan en la zona, manteniendo en servicio los recursos estáticos de potencia reactiva. En la siguiente Tabla 9 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E3 (Demanda máxima) y E5 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide de la siguiente forma:

- SVC: en el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: como la suma de potencia reactiva de las unidades que componen la central.
- Parques ERV: en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.

Tabla 9 Despacho de Potencia Activa y Reactiva Zona Centro E3 y E5.

Resumen Escenario	E3		E5	
	P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]
Alfalfal 2 N°1	132,0	4,2	132,0	7,4
Alfalfal U1	80,0	21,1	78,0	19,4
Carena	9,2	0,0	8,8	-1,0
EPSA U1	2,2	0,0	3,4	0,0
EPSA U2	8,0	0,0	6,7	0,0
EPSA U3	8,0	0,0	6,7	-5,0
El Volcán	6,1	3,2	4,5	3,0
Florida U1	2,7	0,0	2,7	0,0
Florida U2	9,4	0,0	9,4	0,0
Florida U3	1,3	0,0	1,3	0,0
Guayacán U1-U2	12,0	0,0	12,0	0,0
Las Lajas N°1	101,3	7,2	111,8	-7,8
Loma Los Colorados II (2da Ampliacion)	3,1	0,1	0,0	0,0
Loma Los Colorados II (deU8 aU14)	10,9	0,9	0,0	0,0
Queltehues U1	8,0	3,2	8,8	1,1
Queltehues U2	8,0	0,0	8,8	-1,4
PFV Loma Los Colorados	0,5	0,1	0,3	-0,1
PFV Santiago Solar	61,6	24,9	24,0	-7,8
Rapel U1	59,5	-17,7	43,8	-7,5
Rapel U2	57,0	-5,3	43,8	-1,9
Rapel U3	59,5	-27,4	43,8	-3,6
Rapel U4	57,0	-15,1	43,8	2,5
Rapel U5	69,5	19,1	0,0	0,0
San Isidro U2 TG	112,7	7,7	0,0	0,0
San Isidro U2 TV	101,1	5,9	0,0	0,0
Santa Marta	10,0	1,6	0,0	0,0
PFV Doña Carmen	25,0	0,0	1,3	0,0
Central Aconcagua	29,7	10,0	26,3	5,3
Nueva Ventanas	135,0	90,8	90,0	58,1
Blanco (Aconcagua U1)	50,0	6,6	50,4	-0,2
Chacabuquito U1	6,4	0,0	7,2	-0,6
Chacabuquito U2	6,4	0,0	7,2	0,0
Chacabuquito U3	6,4	0,0	7,2	-0,7
Chacabuquito U4	6,4	0,0	4,0	0,0
Hornitos	53,5	-8,3	52,8	4,9
Juncal (Aconcagua U2)	32,0	3,9	29,7	-0,2
Los Quilos U1	13,0	3,0	11,1	2,6
Los Quilos U2	13,0	3,0	11,1	2,6
Los Quilos U3	13,3	0,0	11,5	2,7
PFV Quilapilún	84,8	0,0	14,6	0,0
Total:	1465,5	142,6	918,6	71,7

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de operación para el escenario de demanda máxima E3 y del escenario de demanda mínima E5.

4.3.1 Análisis de resultados

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVA_r], para las distintas barras de la Zona Centro, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

Sistema de 500 kV

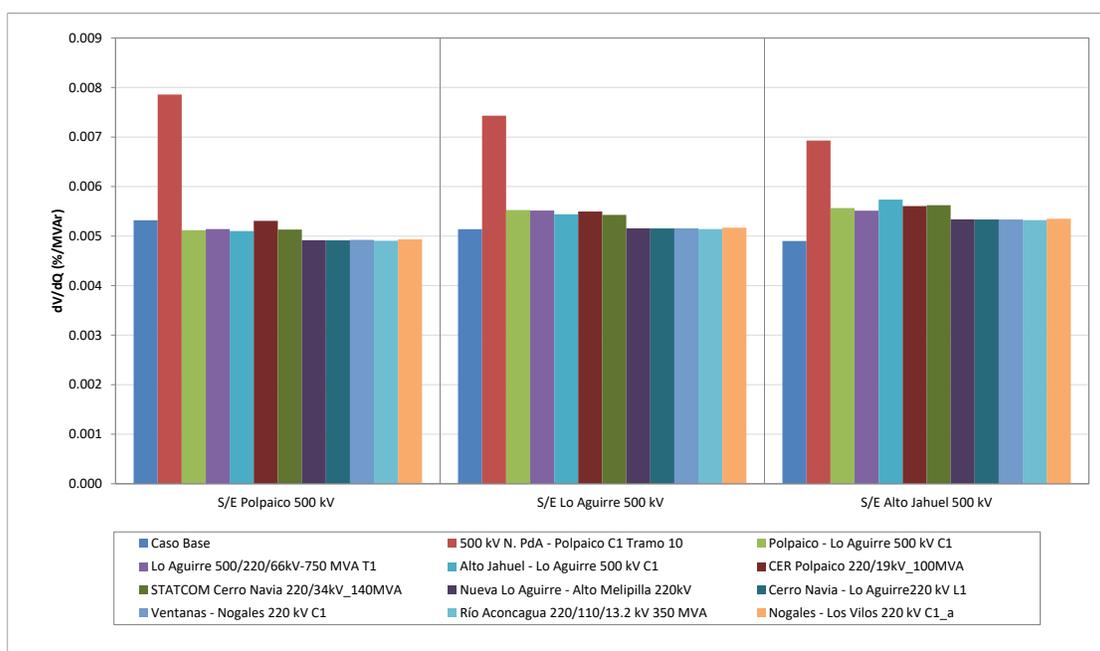


Figura 16 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 500kV del Centro en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar Polpaico 500kV.

Sistema de 220 kV

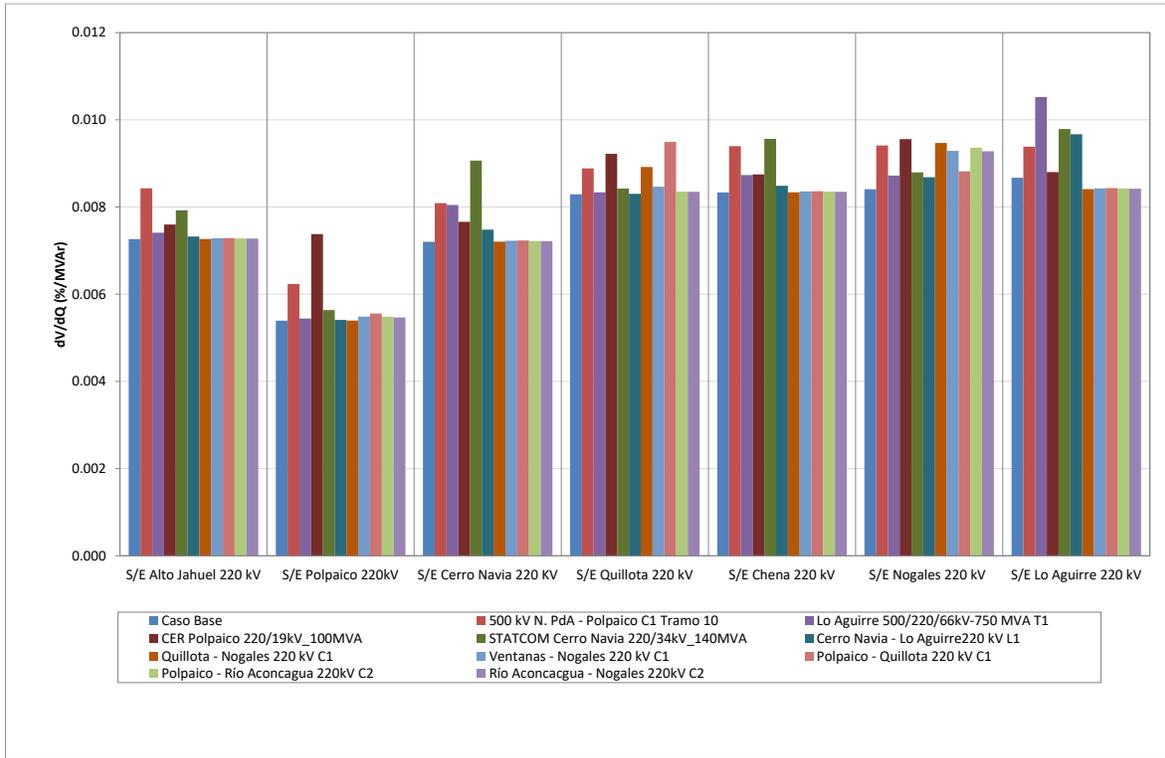


Figura 17 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Centro en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla del transformador de Lo Aguirre 500/220 kV.

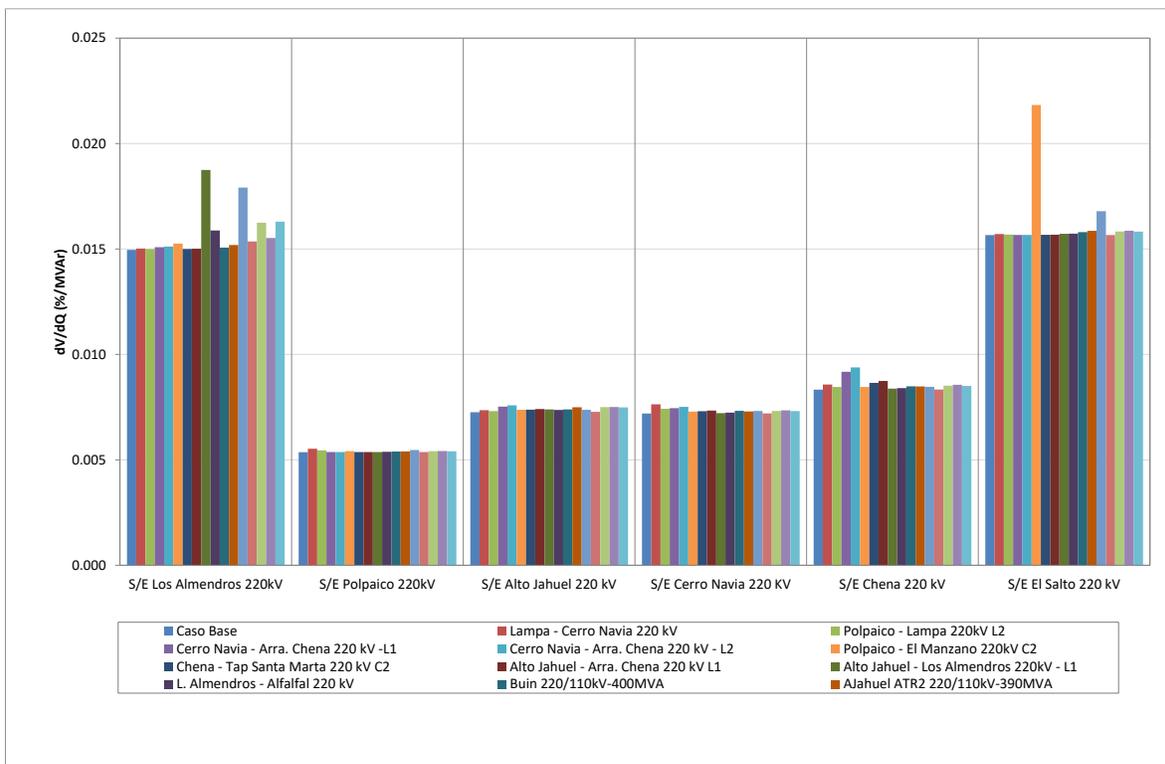


Figura 18 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Centro en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Polpaico El Manzano 220kV.

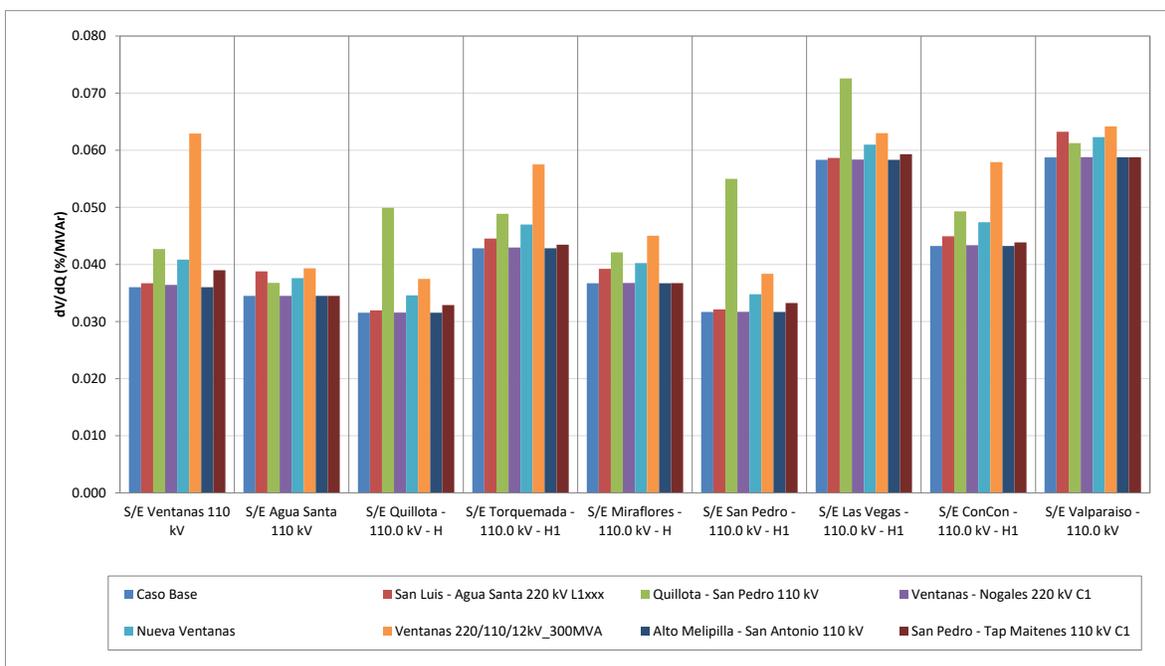


Figura 19 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Centro en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Quillota San Pedro 220kV.

Cabe señalar que, ante las distintas fallas analizadas, los elementos de control de tensión se encuentran dentro de sus márgenes de operación. Por lo tanto, ninguna de las barras de la Zona Centro pierde controlabilidad de tensión.

b) Tensiones en Barras de la Zona Centro

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 500kV y 220kV en condiciones normales y post contingencia.

Sistema de 500 kV

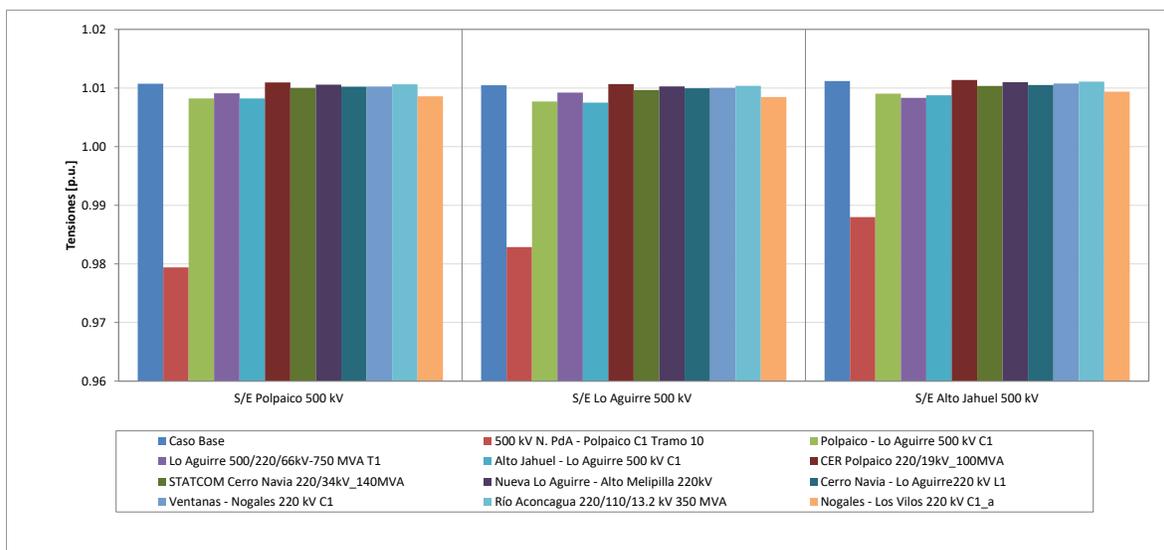


Figura 20 Tensiones en barras de 500 kV de la Zona Centro en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar Polpaico 500kV.

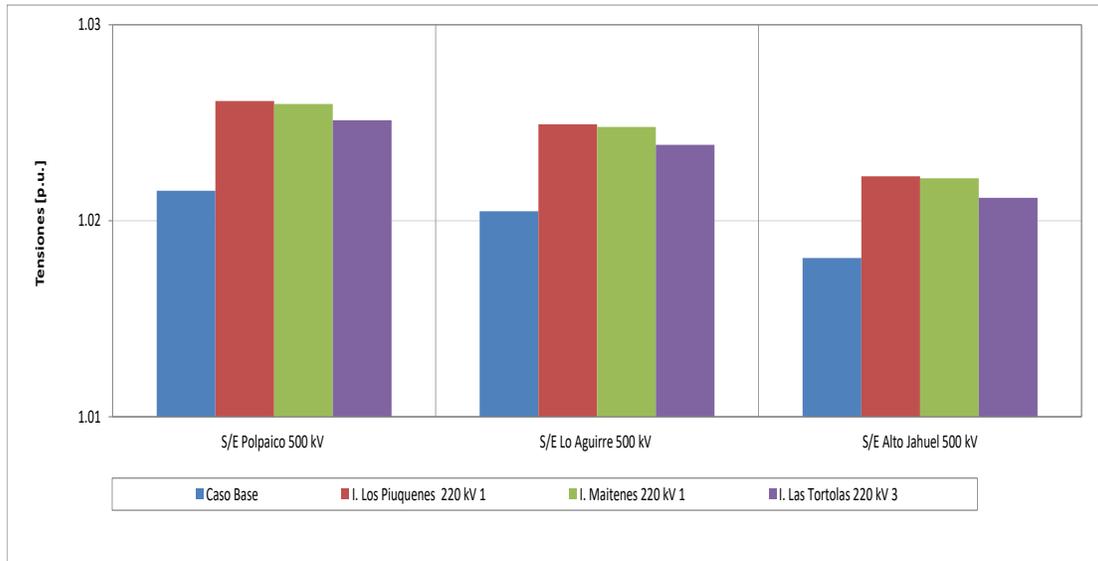


Figura 21 Tensiones en barras de 500kV de la Zona Centro en E5.

Las tensiones de la zona Centro cumplen con los rangos de operación para estado de alerta para todas las contingencias analizadas.

Sistema de 220 kV

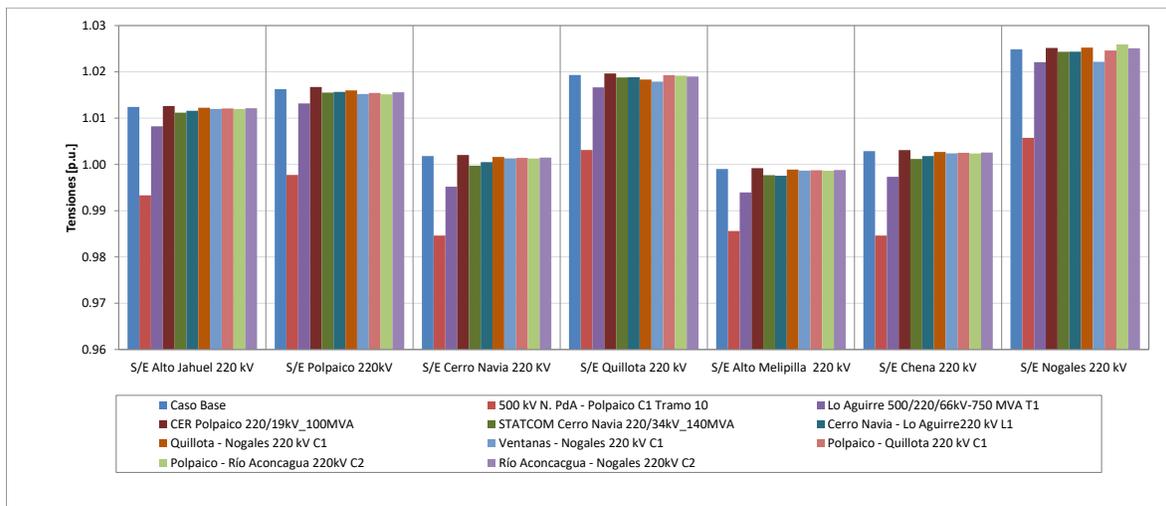


Figura 22 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro en E3.

De los gráficos se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar Polpaico 500kV.

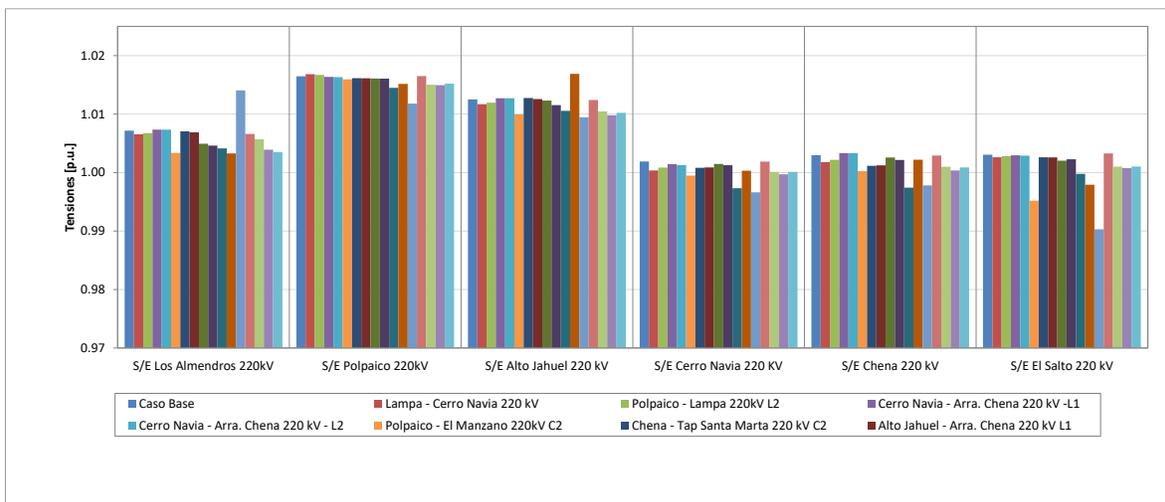


Figura 23 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro en E3.

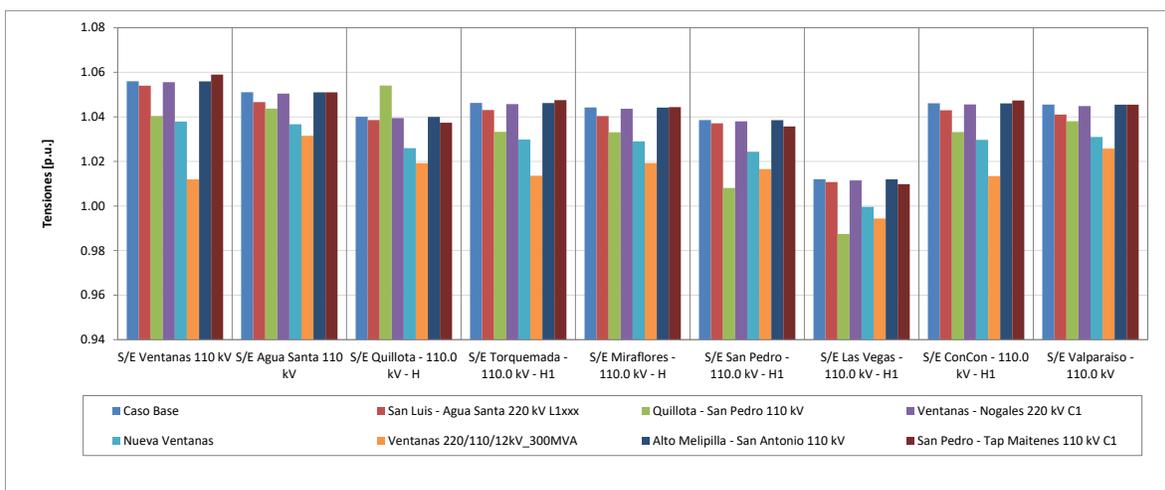


Figura 24 Tensiones en barras de 110kV de la Zona Centro en E3.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión para las barras de 110 kV, se produce ante la falla de un circuito de la línea San Pedro Tap Maitenes 110kV.

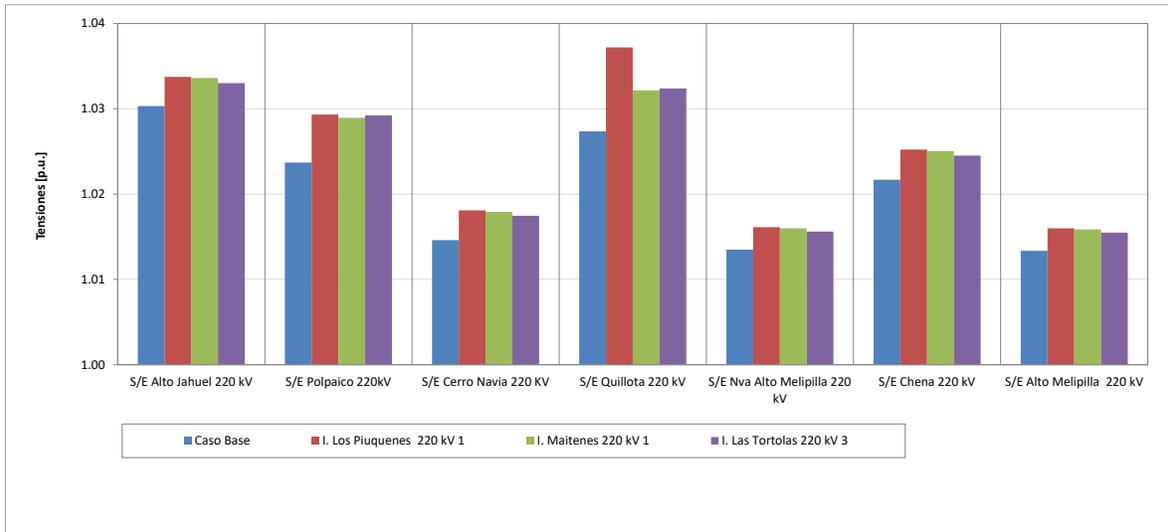


Figura 25 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro en E5.

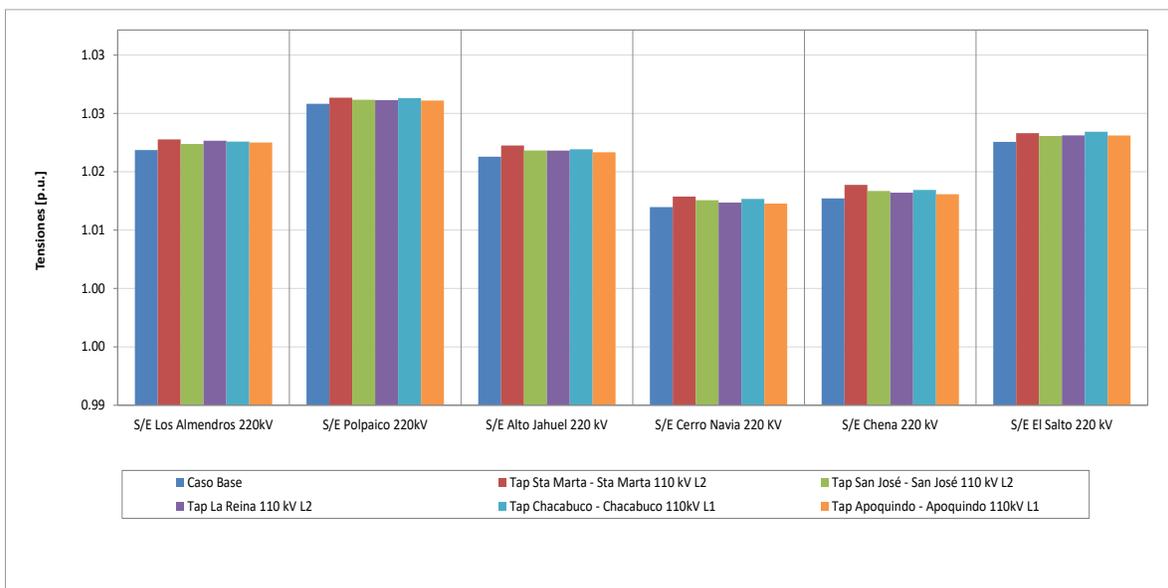


Figura 26 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro en E5.

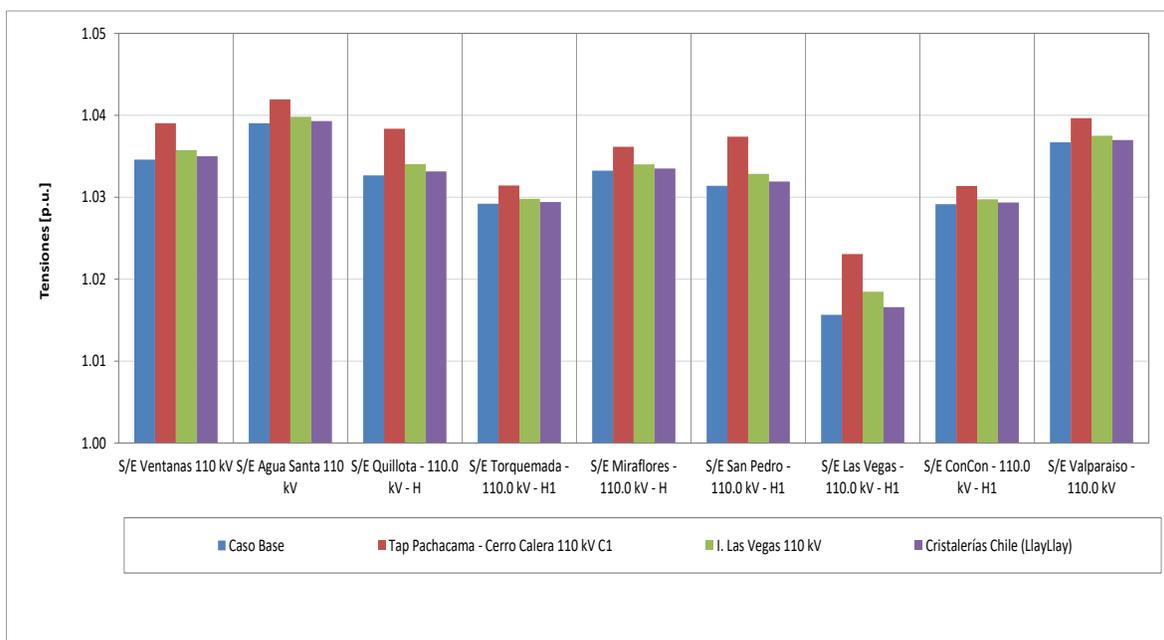


Figura 27 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro en E5.

De los gráficos se puede apreciar tanto para las barras de 500 como 220 kV, que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar Polpaico 500kV.

De los gráficos anteriores, se puede observar que las tensiones pre y post contingencia se encuentran dentro de los rangos establecidos en la NT.

4.4 Zona Centro Sur

Esta Área de CT está comprendida entre las subestaciones Alto Jahuel por el norte y la subestación Cautín por el sur.

Para modificar la tensión en las barras de las SS/EE se ajustan las consignas de control de tensión de las centrales y los CER que inyectan en la zona, manteniendo en servicio los recursos estáticos de potencia reactiva. En la siguiente

Tabla 10 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E2 (Demanda máxima) y E6 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide de la siguiente forma:

- SVC: en el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: como la suma de potencia reactiva de las unidades que componen la central.
- Parques ERV: en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.

Tabla 10 Despacho de Potencia Activa y Reactiva Zona Centro E2 y E6.

Resumen Escenario	E2		E6	
	P [MW]	Q [MVAR]	P [MW]	Q [MVAR]
Chacayes U1	53	10	32	-8
Chacayes U2	53	10	32	-8
Colbún U1	156	41	-	-
Machicura U1	40	-7	12	-9
Machicura U2	40	-7	-	-
CH Río Colorado U1	3	-1	1	1
Coya	12	1	12	-1
La Mina U1	6	-2	14	-5
Loma Alta	28	-2	19	-2
Los Hierros U1	6	-2	6	-6
Pehuenche U1	-	-	-	-
Pehuenche U2	-	-	-	-
Sauzal U2	26	-13	24	-13
Sauzal U3	10	-4	-	-
Sauzalito	10	-5	10	-4
Abanico U1	22	-4	0	-3
Antuco U1	125	0	-	-
Antuco U2	-	-	125	-7
Cholguán	-	-	4	-3
Laja (Energía Verde)	-	-	0	-1
El Toro U1	69	-6	-	-
El Toro U2	69	-6	-	-
El Toro U3	69	-6	-	-
El Toro U4	-	-	-	-
Llauquereo	0	1	1	0
Mampil U1	8	0	17	-3
Mampil U2	-	-	17	-3
Pacífico 1	12	0	-	-
Palmucho	31	1	10	0
Pangue U1	125	-4	125	-1
Peuchen U1	-	-	27	-4
Peuchen U2	-	-	27	-4
Quilleco U1	35	0	21	-2
Quilleco U2	-	-	21	-2
Ralco U1	135	-11	85	-54
Ralco U2	170	-9	-	-
Rucue U1	83	-1	50	-1
Rucue U2	-	-	50	-1
Santa Fe Energía	-	-	22	0
Santa Fé 2	5	-1	5	1
Santa María	9	-8	-	-
Angostura U1	124	-1	120	-5
Angostura U2	-	-	120	-5

CHCV_G1	5	-3	5	0
Celco	3	2	3	4
Cipreses U1	29	-1	12	-4
Cipreses U2	29	-1	-	-
Cipreses U3	25	-1	-	-
Confluencia U1	41	-1	34	-7
Confluencia U2	41	-1	-	-
Curillinque	62	-6	43	-2
El Paso U1	20	0	8	-3
El Paso U2	20	0	-	-
El Paso U3	1	0	-	-
Embalse Ancoa U1	-	-	12	-4
Isla U1	25	-2	17	-1
Isla U2	25	-2	17	-1
La Higuera U1	78	-2	61	-9
La Higuera U2	-	-	-	-
Lircay U1	7	0	6	0
Mariposas	6	1	4	1
Nueva Aldea U1	14	1	7	4
Nueva Aldea U3	37	2	9	-9
Providencia U1	6	1	4	0
San Andrés U1	20	0	5	-2
San Andrés U2	20	0	-	-
San Ignacio	33	2	-	-
Viñales	20	8	10	4

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de operación para el escenario de demanda máxima E2 y del escenario de demanda mínima E6.

4.4.1 Análisis de resultados

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVar], para las distintas barras de la Zona Centro Sur, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

Sistema de 500 kV

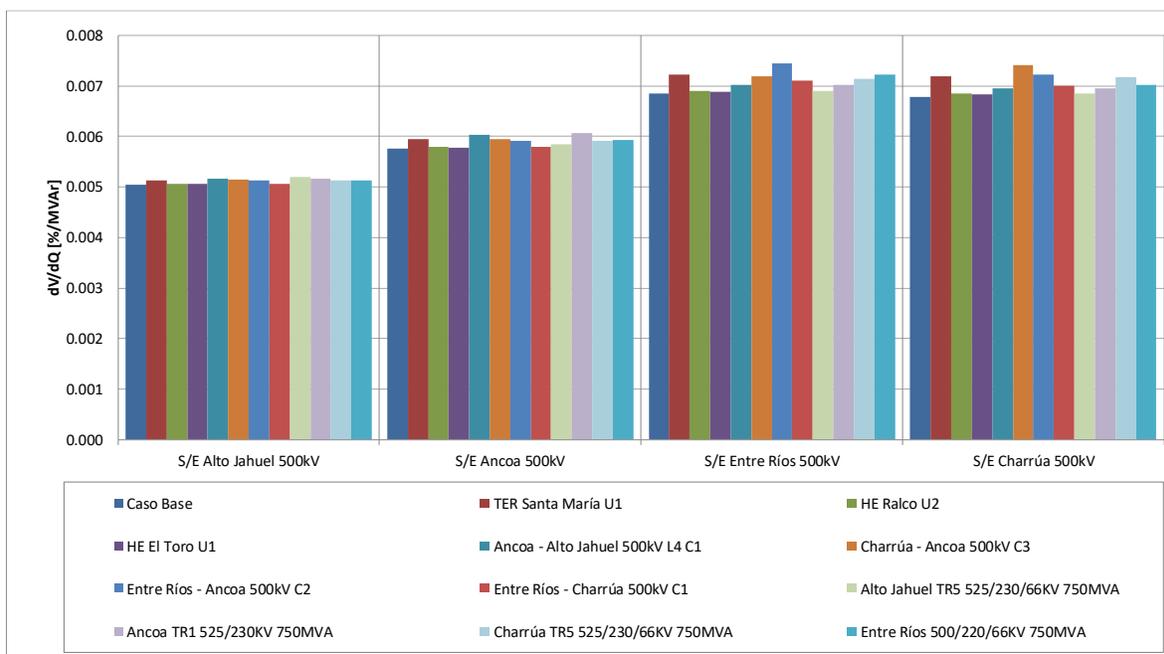


Figura 28 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 500kV del Centro Sur en E2.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Entre Ríos Charrúa 500kV.

Sistema de 220 kV

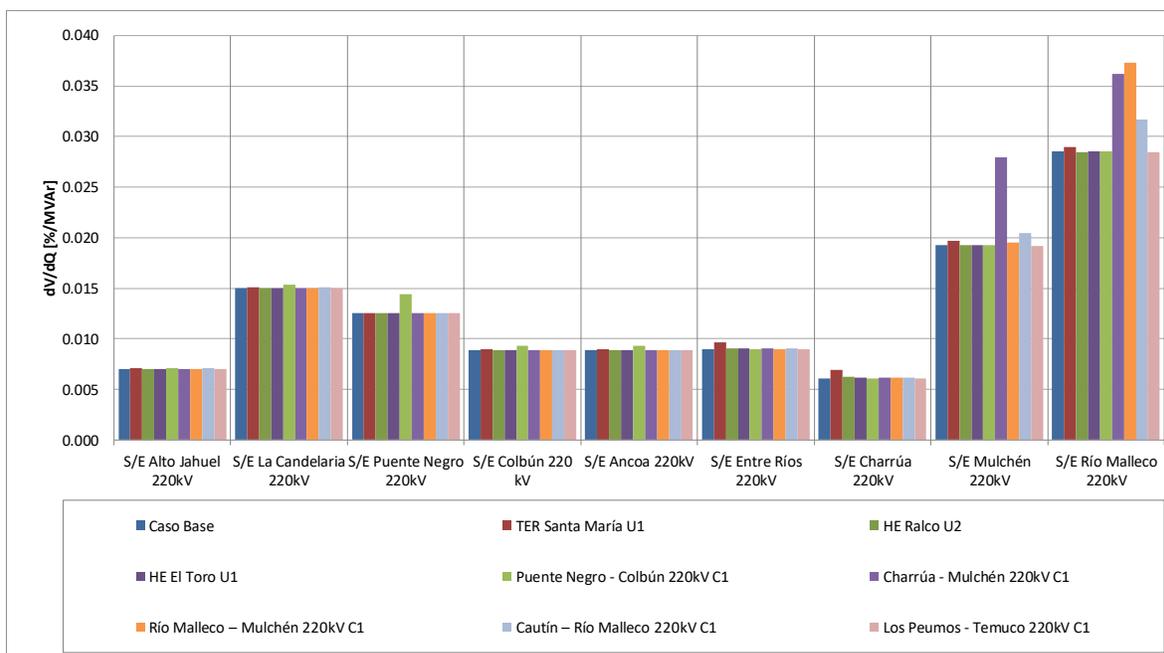


Figura 29 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Centro Sur en E2.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Rio Malleco Mulchén 220kV.

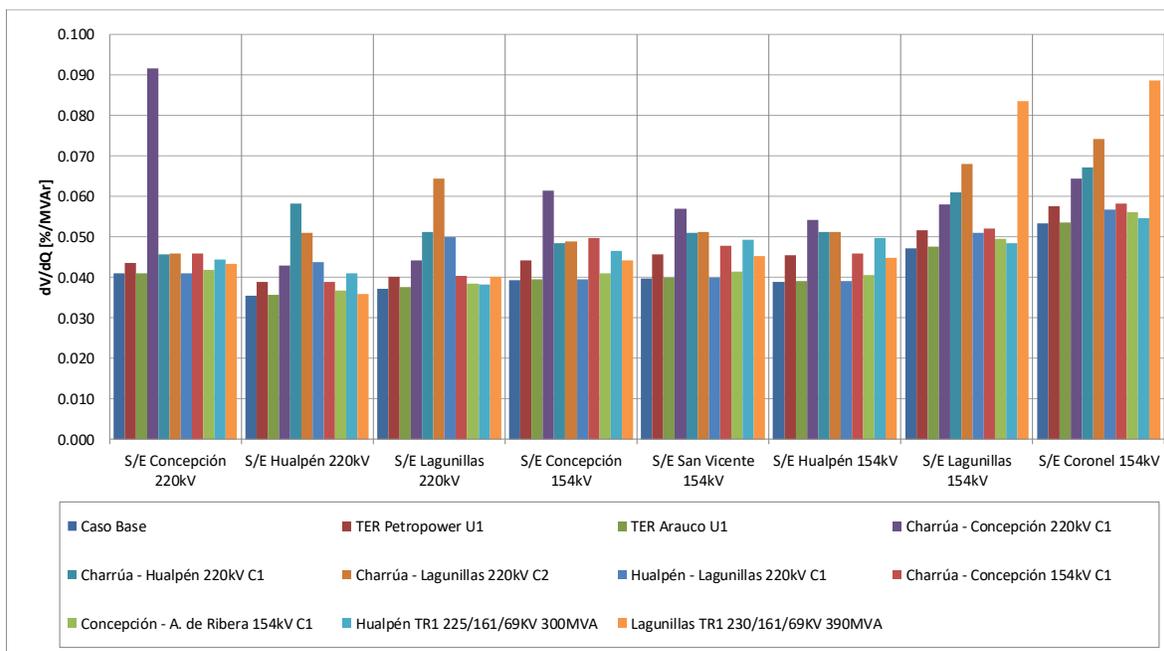


Figura 30 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Centro Sur en E2.

De los gráficos se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Charrúa Concepción 220kV.

Cabe señalar que, ante las distintas fallas analizadas, los elementos de control de tensión se encuentran dentro de sus márgenes de operación. Por lo tanto, ninguna de las barras de la Zona Centro Sur pierde controlabilidad de tensión.

b) Tensiones en Barras de la Zona Centro Sur

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 500kV y 220kV en condiciones normales y post contingencia.

Sistema de 500 kV

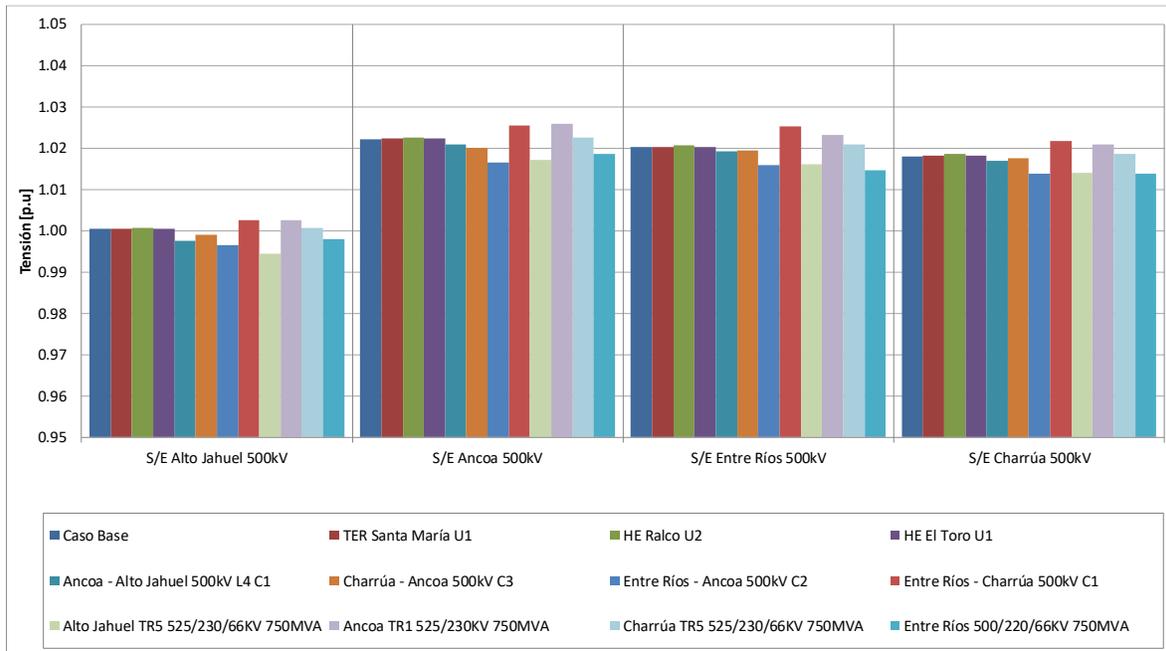


Figura 31 Tensiones en barras de 500 kV de la Zona Centro Sur en E2.

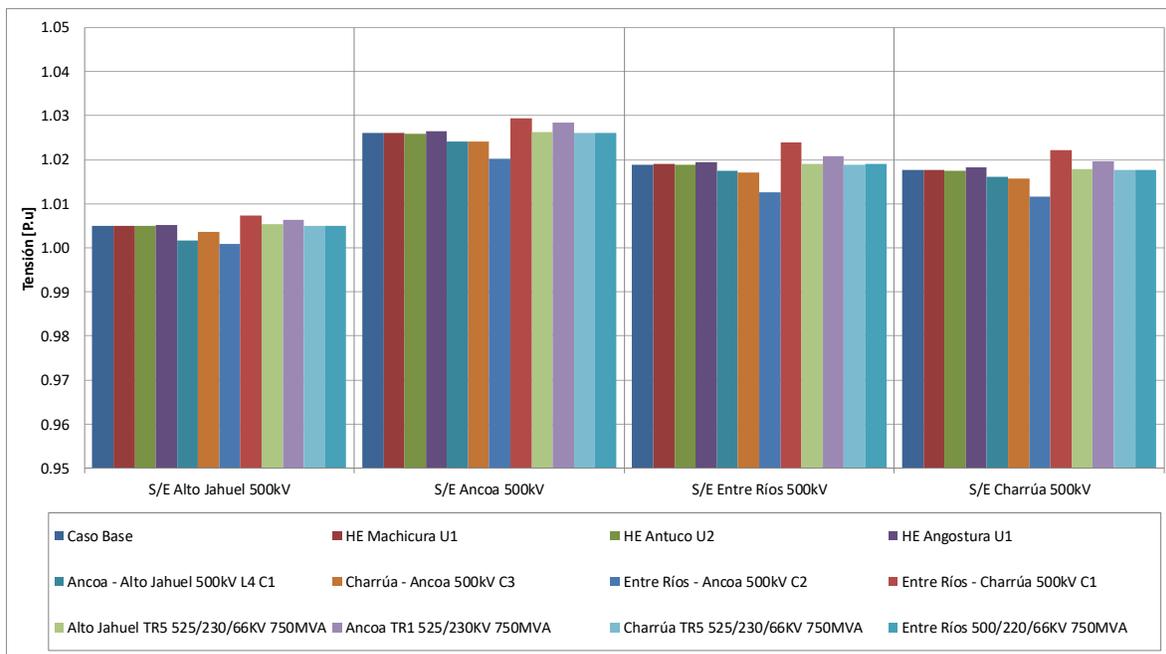


Figura 32 Tensiones en barras de 500kV de la Zona Centro Sur en E6.

De los gráficos anteriores se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Entre Ríos Charrúa 500kV.

Las tensiones de la zona Centro Sur cumplen con los rangos de operación para estado de alerta para todas las contingencias analizadas.

Sistema de 220 kV

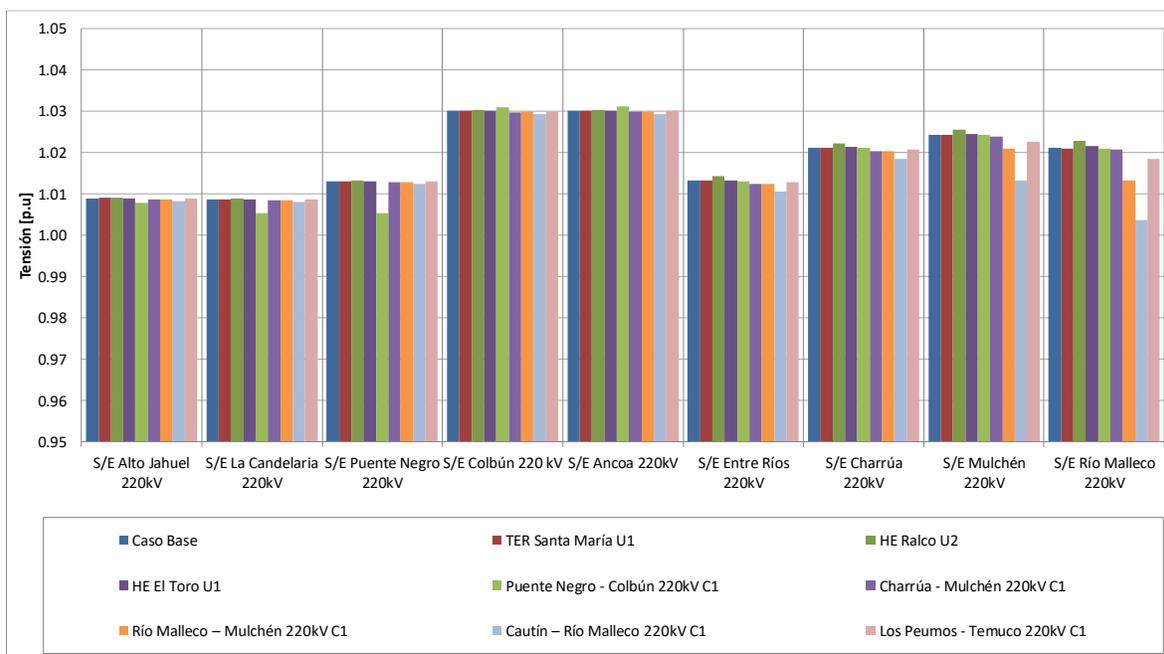


Figura 33 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro Sur en E2.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Cautín Río Malleco 220kV.

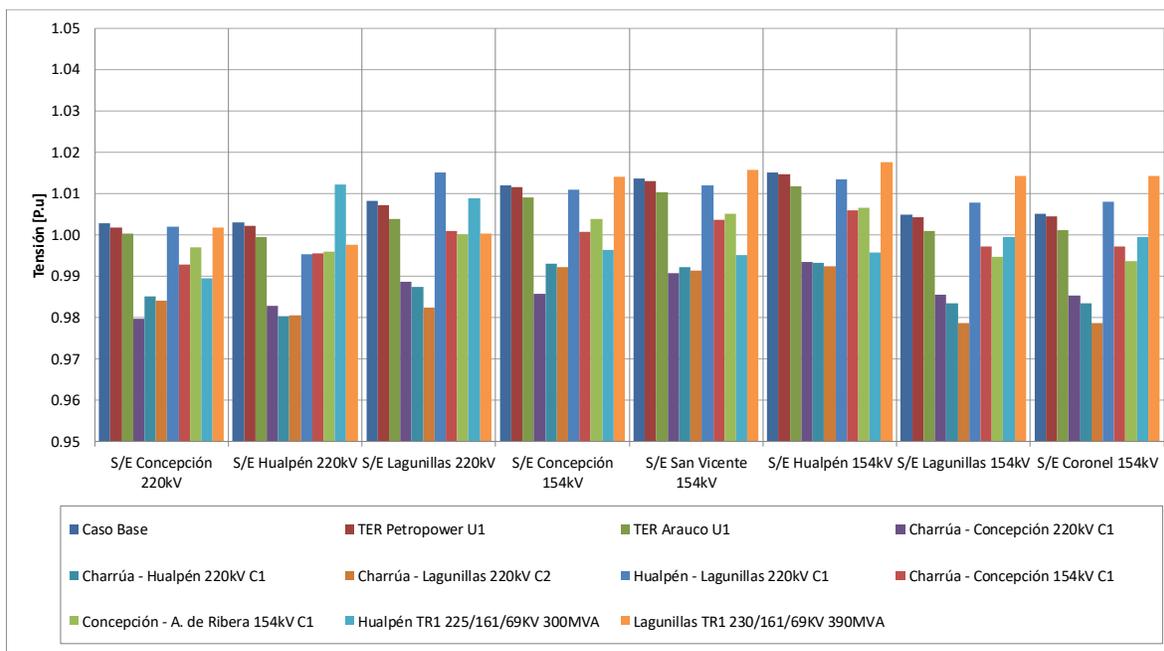


Figura 34 Tensiones en barras de 220 y 154 kV de la Zona Centro Sur en E2.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Charrúa Lagunillas 220kV.

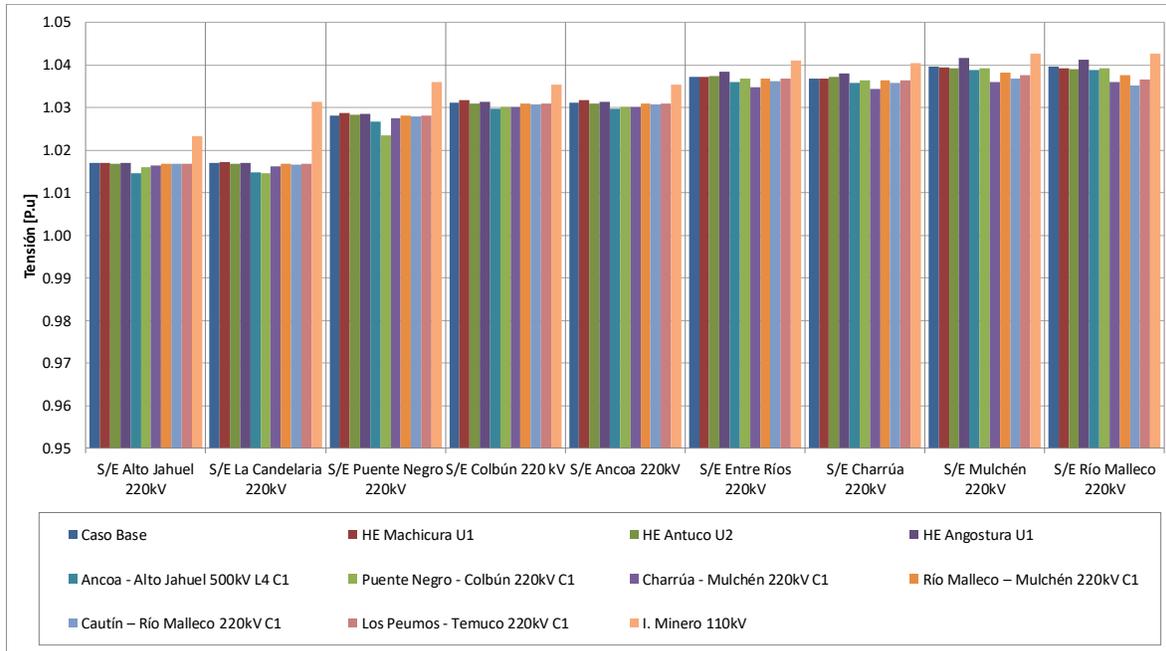


Figura 35 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro Sur en E6.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la desconexión de la carga de Minero 110kV.

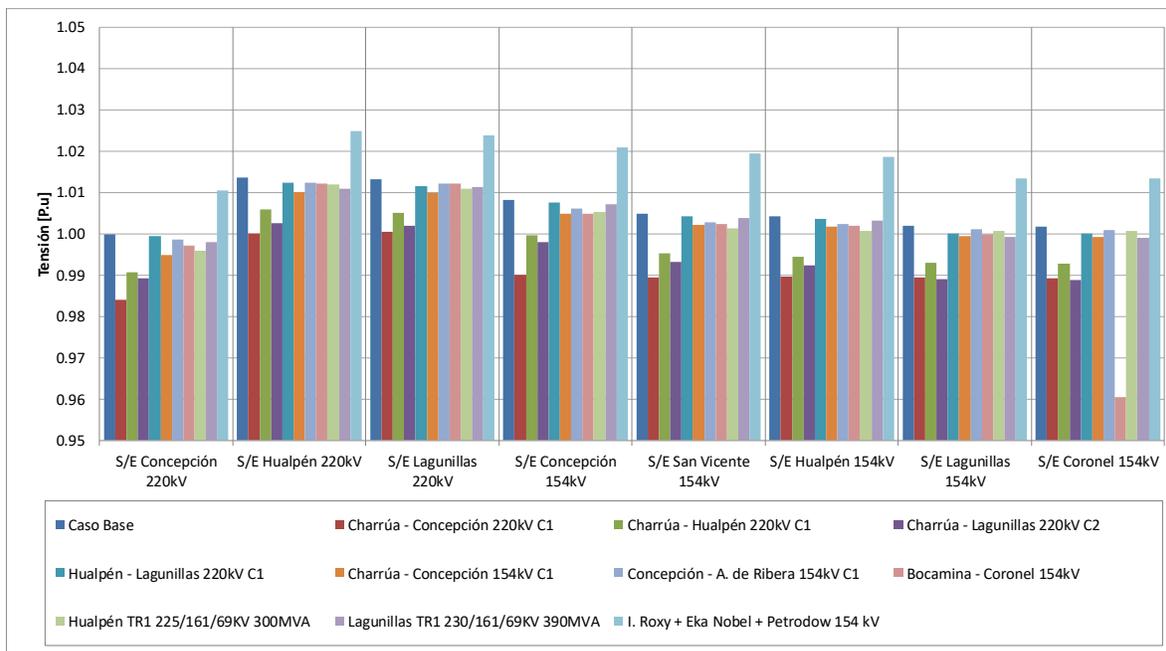


Figura 36 Tensiones en barras de 220 y 154kV de la Zona Centro Sur en E6.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla de un circuito de la línea Bocamina Coronel 154 kV.

De los gráficos anteriores, se puede observar que las tensiones pre y post contingencia se encuentran dentro de los rangos establecidos en la NT.

4.5 Zona Sur

La Zona Sur, se encuentra desde la SE Nogales hasta SE Chiloé.

Para modificar la tensión en las barras de las SS/EE se ajustan las consignas de control de tensión de las centrales y los CER que inyectan en la zona, manteniendo en servicio los recursos estáticos de potencia reactiva. En la siguiente

Tabla 11 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E4 (Demanda máxima) y E5 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide de la siguiente forma:

- SVC: en el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: como la suma de potencia reactiva de las unidades que componen la central.
- Parques ERV: en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.

Tabla 11 Despacho de Potencia Activa y Reactiva Zona Sur.

Resumen Escenario	E4		E5	
	P [MW]	Q [MVA _r]	P [MW]	Q [MVA _r]
Ancud	0,0	0,0	0,0	0,0
Antihue U1	0,0	0,0	0,0	0,0
Antihue U2	0,0	0,0	0,0	0,0
C Palmar 1	1,3	0,0	2,3	0,0
C Palmar 2	0,0	0,0	0,0	-0,3
CH Correntoso	2,3	0,0	1,5	-0,1
CH Los Lagos	10,8	-5,0	0,0	0,0
Callao	0,5	0,0	0,3	0,0
Calle Calle U1-U7	0,0	0,0	0,0	0,0
Calle Calle U8	0,0	0,0	0,0	0,0
Canutillar U1	68,0	0,0	0,0	-10,8
Canutillar U2	68,0	0,0	0,0	-11,1
Capullo	8,3	0,0	5,2	-0,3
Carilafquén	6,7	0,0	7,1	-0,5
Chiloé	0,0	0,0	0,0	0,0
Chufkén	0,0	0,0	0,0	0,0
Chuyaca U1-U4	0,0	0,0	0,0	0,0
Chuyaca U5-U6	0,0	0,0	0,0	0,0
Chuyaca U7-U8	0,0	0,0	0,0	0,0
Collipulli	0,0	0,0	0,7	0,0
Cumbres U1	8,8	0,0	8,2	0,0
Cumbres U2	0,0	0,0	0,0	1,3
Curacautin U1-U3	0,0	0,0	0,0	0,0
Curacautin U2	0,0	0,0	0,0	0,0
Degañ	0,0	0,0	0,0	0,0
El Manzano	3,7	0,0	3,4	0,0
Las Nalcas	1,3	0,0	1,0	0,0
Lautaro Comasa U1	0,0	0,0	0,0	-2,2
Lautaro Comasa U2	0,0	0,0	0,0	-2,2
Licán	0,7	0,0	3,2	-0,4
Malcalhuello	1,9	0,0	1,3	-0,2
Pelohuén	0,0	0,0	0,0	0,0
Pilmaiquen U1	2,8	1,0	4,5	-0,3
Pilmaiquen U2	2,8	1,0	4,5	-0,3
Pilmaiquen U3	2,8	1,0	4,5	-0,3
Pilmaiquen U4	5,5	2,0	7,8	-2,2
Pilmaiquen U5	5,5	0,0	0,0	-2,2
Pulelfu U1	2,0	0,0	2,6	-0,5
Pulelfu U2	0,0	0,0	0,0	-0,5
Pullinque U1	5,5	2,5	16,2	0,9
Pullinque U2	5,5	2,5	0,2	0,7
Pullinque U3	5,5	0,0	0,0	0,0
Quellón II (Trincao)	0,0	0,0	0,0	0,8
Rucatayo	22,6	-10,0	24,8	1,5
Trapen N1	0,0	0,0	0,0	0,0
Trapen N2	0,0	0,0	0,0	0,0
Trapen N3	0,0	0,0	0,0	0,0
Trapen N4	0,0	0,0	0,0	0,0
Triful-Triful	0,3	0,0	0,3	0,0
Valdivia	8,0	0,0	4,1	6,0
PE Aurora	46,2	-6,6	4,1	0,0
PE Puelche Sur_GEN_GEN	55,7	-7,9	4,8	0,0
PE San Pedro II	0,4	0,0	0,2	0,0
San Pedro I	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	353,4	-19,5	112,7	-23,1

4.5.1 Análisis de resultados

A continuación, se resumen los resultados de las simulaciones en operación normal y post contingencias.

a) Sensibilidad de Flujo de Potencia

El gráfico siguiente muestra la sensibilidad de la tensión ante variaciones en la potencia reactiva (dV/dQ) en [%/MVA_r], para las distintas barras de la Zona Sur, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

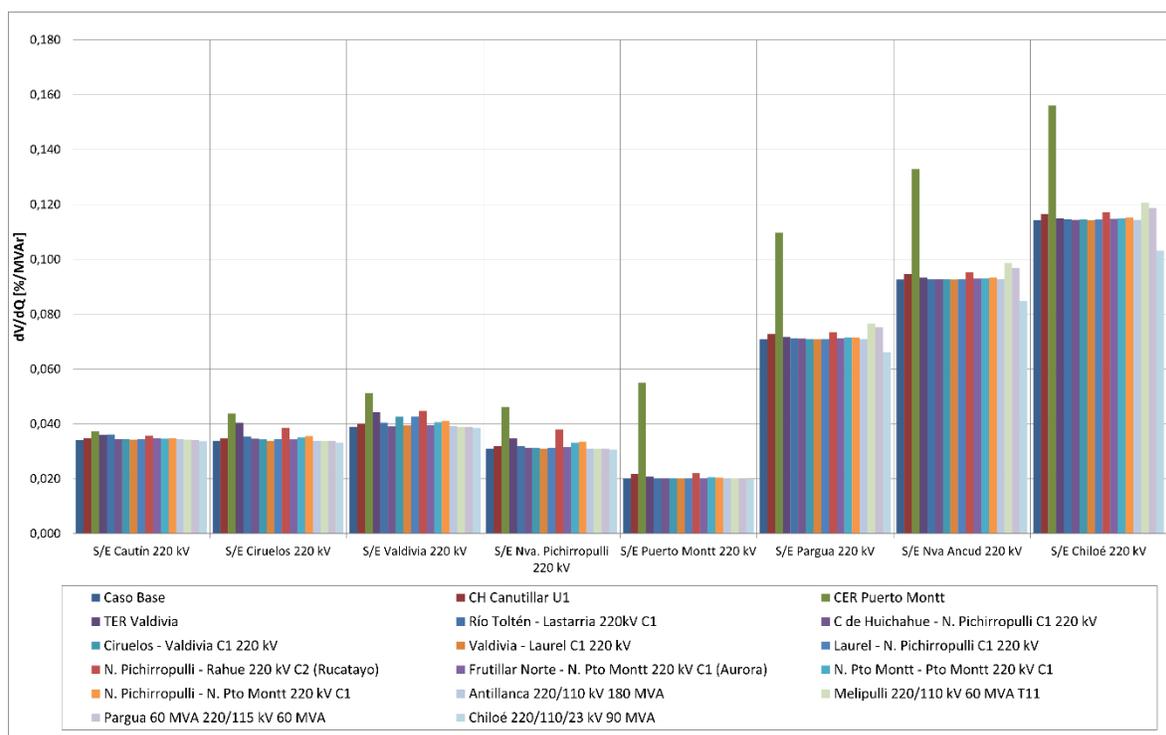


Figura 37 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Sur en E4.

Del gráfico se puede apreciar que la mayor sensibilidad en la tensión se produce ante la falla del CER de Puerto Montt.

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 220kV en condiciones normales y post contingencia.

b) Tensiones en Barras de la Zona Sur

En la siguiente figura se observan las tensiones en las barras de 220kV en condiciones normales y post contingencia.

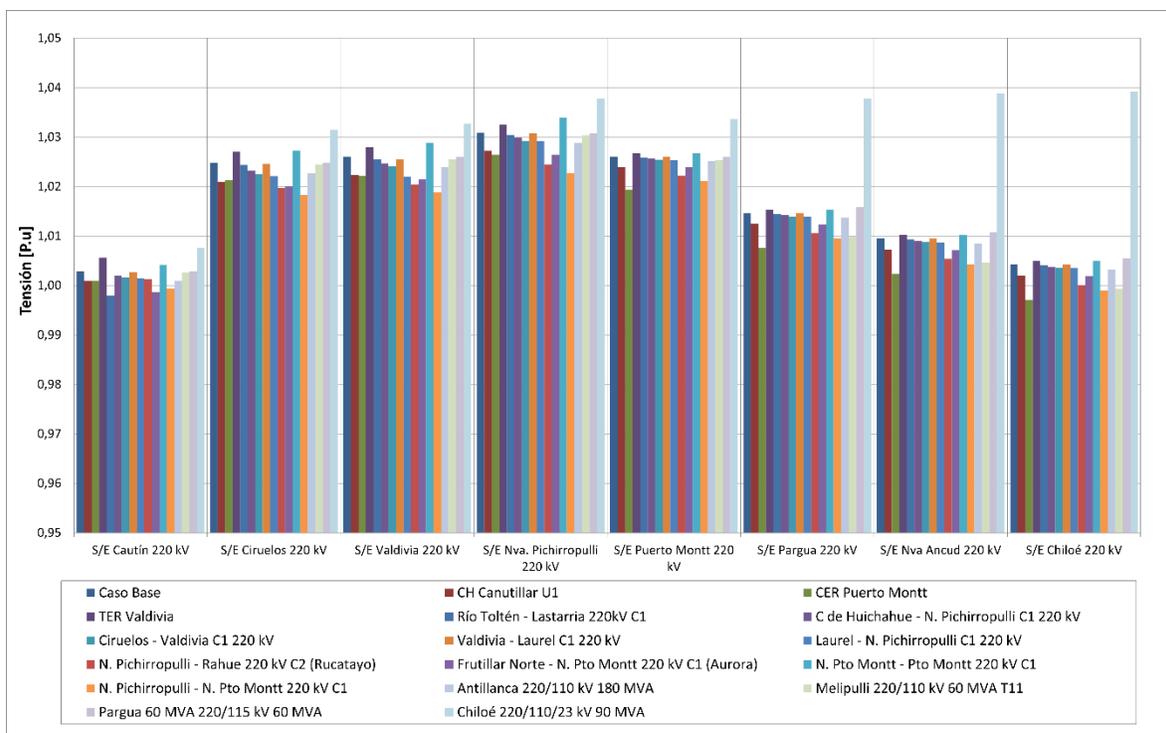


Figura 38 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Sur en E4.

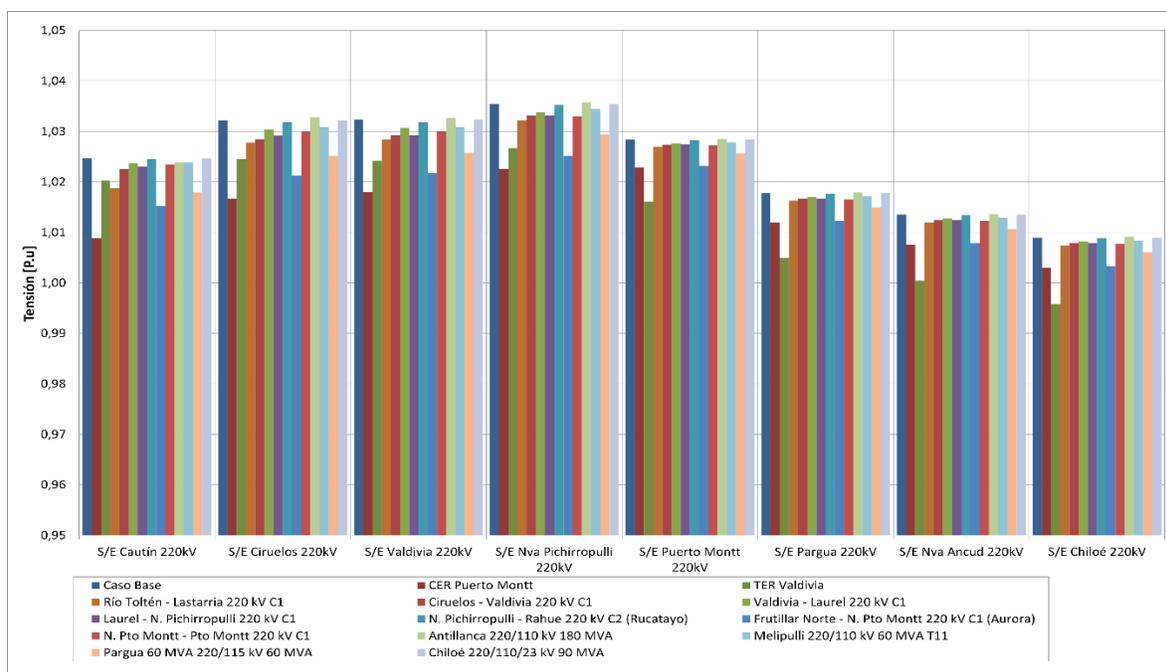


Figura 39 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Sur en E5.

De los gráficos anteriores, se puede observar que las tensiones pre y post contingencia se encuentran dentro de los rangos establecidos en la NT. De los gráficos se puede apreciar que la mayor variación en la tensión se produce ante la falla del transformador de Chiloé 220/110kV.

5 DEFINICIÓN DE TENSIONES DE SERVICIO

5.1 Tensiones de Servicio

Las Tensiones de Servicio corresponden a los valores medios de los rangos de tensión en que deberán operar las barras del SEN, de acuerdo con lo establecido en los Artículos 5-19, 5-23 y 5-47 de la NT.

5.2 Criterios

Los valores de tensión empleados en la operación del sistema son producto de la búsqueda del uso eficaz de los recursos de potencia reactiva y de la reducción en cuanto sea posible del tránsito de ésta por el sistema de transmisión, de manera de contribuir a la seguridad y calidad de servicio, sin comprometer la integridad de las instalaciones.

Esto también puede apreciarse en los escenarios analizados en el capítulo anterior, los cuales presentan diferencias tanto en el despacho de reactivos en operación normal como en los requerimientos adicionales de reactivos post contingencia, y que reflejan los criterios de optimización usados en la operación.

Además, para establecer las tensiones de referencia más adecuadas se deben considerar las necesidades individuales de cada barra en las distintas condiciones de operación posibles (demandas, despachos, indisponibilidades, etc.).

Para la definición de las Tensiones de Servicio se realizó un análisis de los registros históricos de tensión, con un horizonte desde el 01 de julio de 2020 hasta el 01 de julio de 2021, de manera de identificar los rangos típicos de tensión de operación en las distintas barras del sistema de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional en Estado Normal y consecuentemente, determinar las Tensiones de Servicio correspondientes. Anexo a este informe se entregan, en una planilla Excel, los datos de los registros de tensión utilizados en el estudio.

De esta manera, se busca obtener el valor de la tensión de servicio cuyo rango en Estado Normal contiene la mayor cantidad de registros de la operación del sistema, considerando que parte de los registros pueden tener datos erróneos o no corresponder a la operación normal del sistema.

Finalmente, dependiendo de si las actuales Tensiones de Servicio cumplen o no con los criterios establecidos, se opta por mantener o proponer nuevas Tensiones de Servicio.

5.3 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV

Las Tensiones de Servicio definidas para las barras con tensión nominal igual a 500kV son las que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 12 Tensiones de Servicio en barras de 500 kV y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

Barra 500kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.03Vs	0.97Vs	1.05Vs	0.95Vs	1.05Vs	0.93Vs
		[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]
Kimal	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2
Los Changos	503	518,1	487,9	528,2	477,9	528,2	467,8
Cumbres	508	523,2	492,8	533,4	482,6	533,4	472,4
Nueva Cardones	508	523,2	492,8	533,4	482,6	533,4	472,4
Nueva Maitencillo	512	527,4	496,6	537,6	486,4	537,6	476,2
Nueva Pan de Azúcar	513	528,4	497,6	538,7	487,4	538,7	477,1
Polpaico	508	523,2	492,8	533,4	482,6	533,4	472,4
Lo Aguirre	503	518,1	487,9	528,2	477,9	528,2	467,8
Alto Jahuel	500	515,0	485,0	525,0	475,0	525,0	465,0
Ancoa	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2
Entre Rios	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2
Charrua	511	526,3	495,7	536,6	485,5	536,6	475,2

En la tabla anterior se proponen las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 500kV de las SSEE.

A continuación, se muestra una gráfica basada en la tabla anterior, para apreciar la distribución de las tensiones en su rango de operación normal a lo largo del Sistema Eléctrico Nacional, al considerar las tensiones de servicio propuestas.

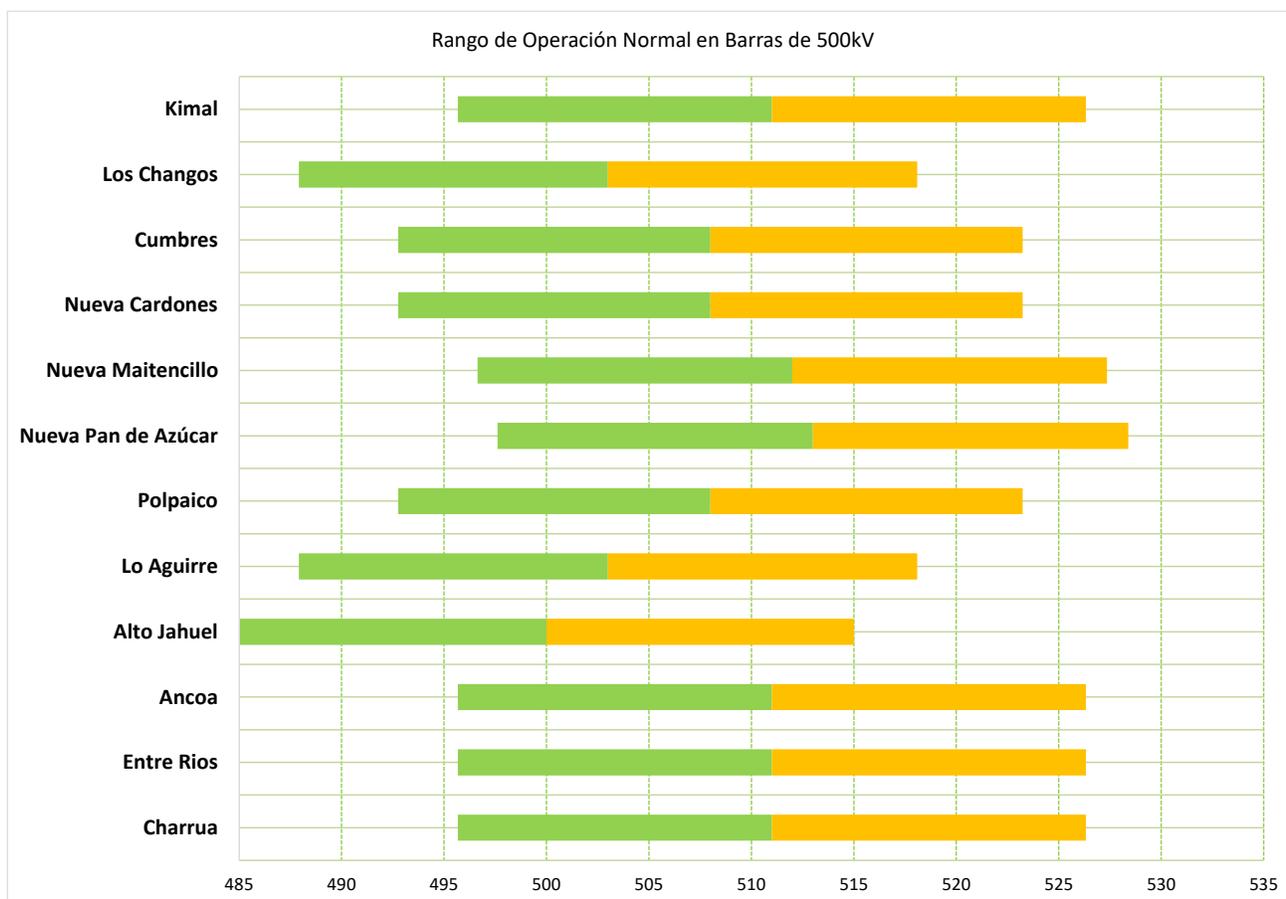


Figura 40: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las Barras de 500kV del Sistema Eléctrico Nacional, considerando los Rangos de Operación Normal ($\pm 3\%$).

5.4 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV

Las Tensiones de Servicio definidas para las barras con tensión nominal igual a 220kV, son las que se detallan en las siguientes zonas:

5.4.1 Tensiones de Servicio Zona Norte Grande

Dada la topología del sistema en la Zona Norte Grande, operacionalmente, no es necesario utilizar Tensiones de Servicio diferentes a la nominal. En consecuencia, la Tensión de Servicio para todas las barras es 220kV.

5.4.2 Tensiones de Servicio Zona Norte Chico

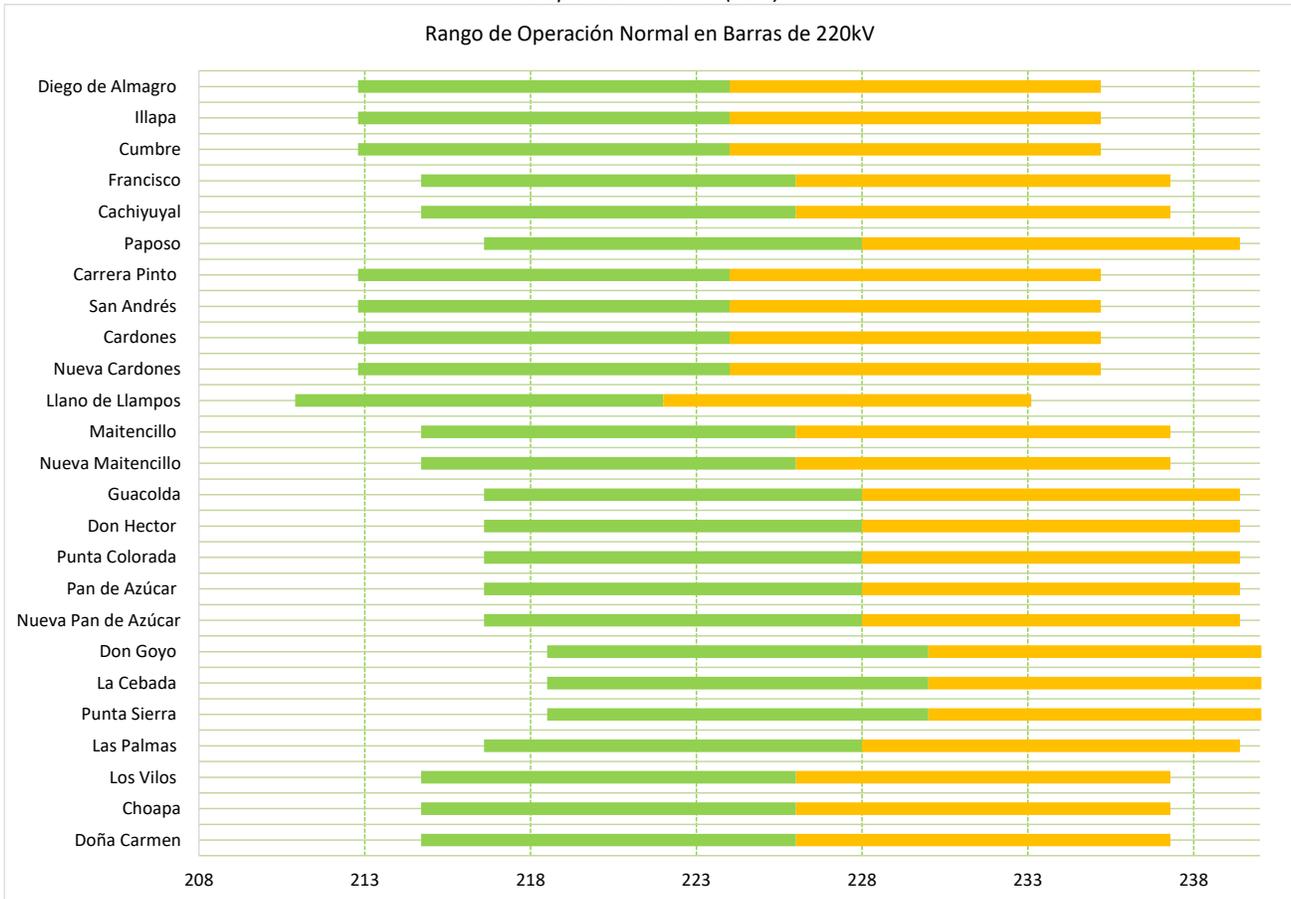
Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 13. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla la Tensión de Servicio es igual a la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica, atributo que se puede caracterizar como el mayor valor de sensibilidad entre la variación de tensión en la barra en cuestión, respecto de las barras identificadas en la tabla. La aproximación general utilizada para la caracterización de la menor distancia eléctrica fue la impedancia entre las barras.

Tabla 13 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Norte Chico y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

Barra 220kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.07Vs [kV]	0.93Vs [kV]	1.1Vs [kV]	0.9Vs [kV]
Diego de Almagro	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Illapa	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Cumbre	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Francisco	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Cachiyuyal	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Paposo	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Carrera Pinto	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
San Andrés	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Cardones	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Nueva Cardones	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Llano de Llampos	222	233,1	210,9	237,5	206,5	244,2	199,8
Maitencillo	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Nueva Maitencillo	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Guacolda	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Don Hector	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Punta Colorada	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Pan de Azúcar	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Nueva Pan de Azúcar	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Don Goyo	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
La Cebada	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Punta Sierra	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Las Palmas	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Los Vilos	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Choapa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Doña Carmen	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4

A continuación, se muestra una gráfica asociada a la tabla anterior, para apreciar la distribución de las tensiones en su rango de operación normal a lo largo del Sistema Eléctrico Nacional, al considerar las Tensiones de Servicio propuestas.

Figura 41: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las barras de 220kV de la Zona Norte Chico, considerando los Rangos de Operación Normal ($\pm 5\%$).



5.4.3 Tensiones de Servicio Zona Centro

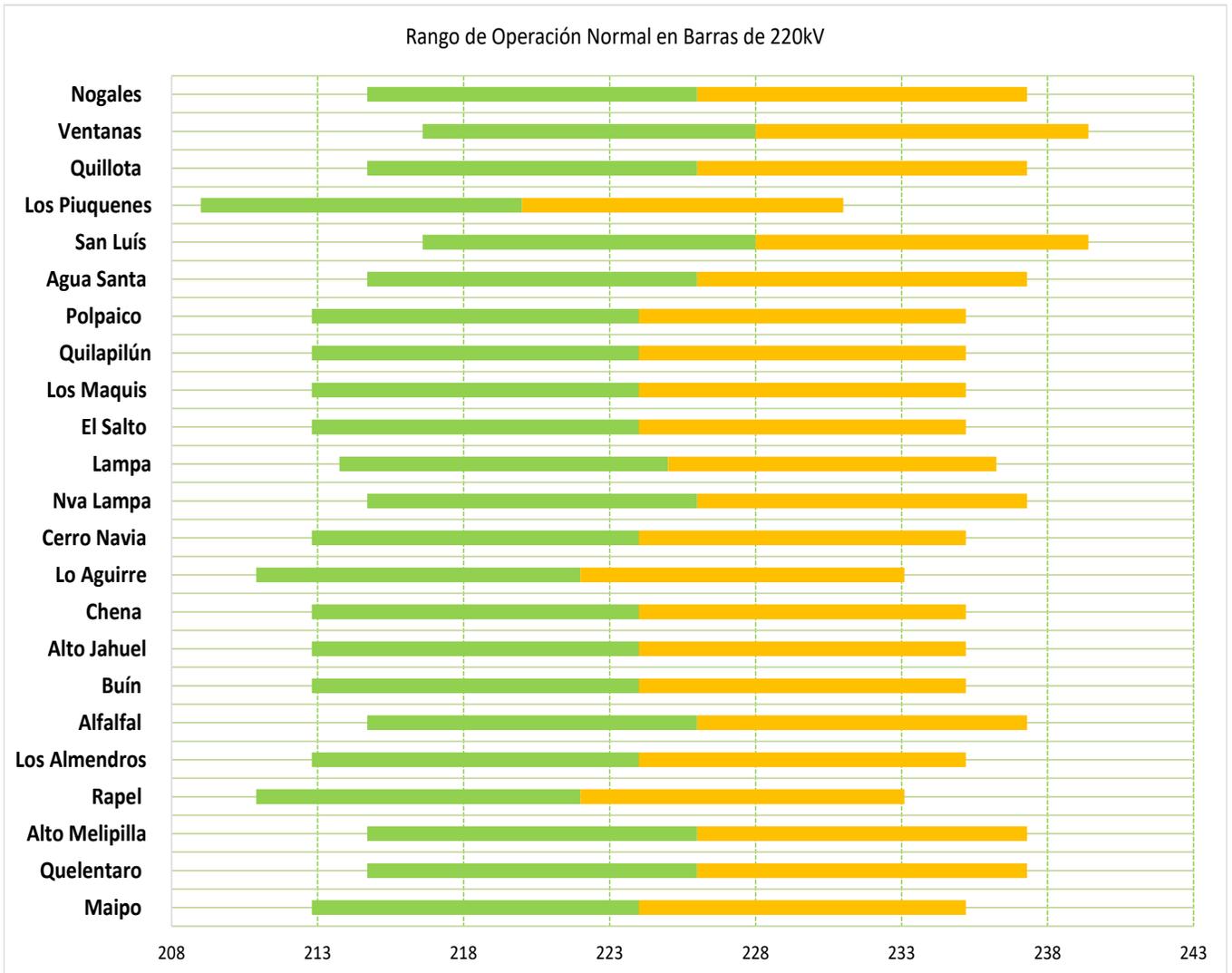
Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, son las indicadas en Tabla 14. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla la Tensión de Servicio es igual a la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica, atributo que se puede caracterizar como el mayor valor de sensibilidad entre la variación de tensión en la barra en cuestión, respecto de las barras identificadas en la tabla. La aproximación general utilizada para la caracterización de la menor distancia eléctrica fue la impedancia entre las barras.

Tabla 14 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Centro y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

Barra 220kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.07Vs [kV]	0.93Vs [kV]	1.1Vs [kV]	0.9Vs [kV]
Nogales	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Ventanas	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Quillota	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Los Piuquenes	220	231,0	209,0	235,4	204,6	242,0	198,0
San Luís	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Agua Santa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Polpaico	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Quilapilún	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Los Maquis	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
El Salto	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Lampa	225	236,3	213,8	240,8	209,3	247,5	202,5
Nva Lampa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Cerro Navia	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Lo Aguirre	222	233,1	210,9	237,5	206,5	244,2	199,8
Chena	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Alto Jahuel	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Buín	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Alfalfal	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Los Almendros	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Rapel	222	233,1	210,9	237,5	206,5	244,2	199,8
Alto Melipilla	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Quelentaro	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Maipo	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6

A continuación, se muestra una gráfica asociada a la tabla anterior, para apreciar la distribución de las tensiones en su rango de operación normal a lo largo del Sistema Eléctrico Nacional, al considerar las tensiones de servicio propuestas.

Figura 42: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las barras de 220kV de la Zona Centro, considerando los Rangos de Operación Normal ($\pm 5\%$).



5.4.4 Tensiones de Servicio Zona Sur

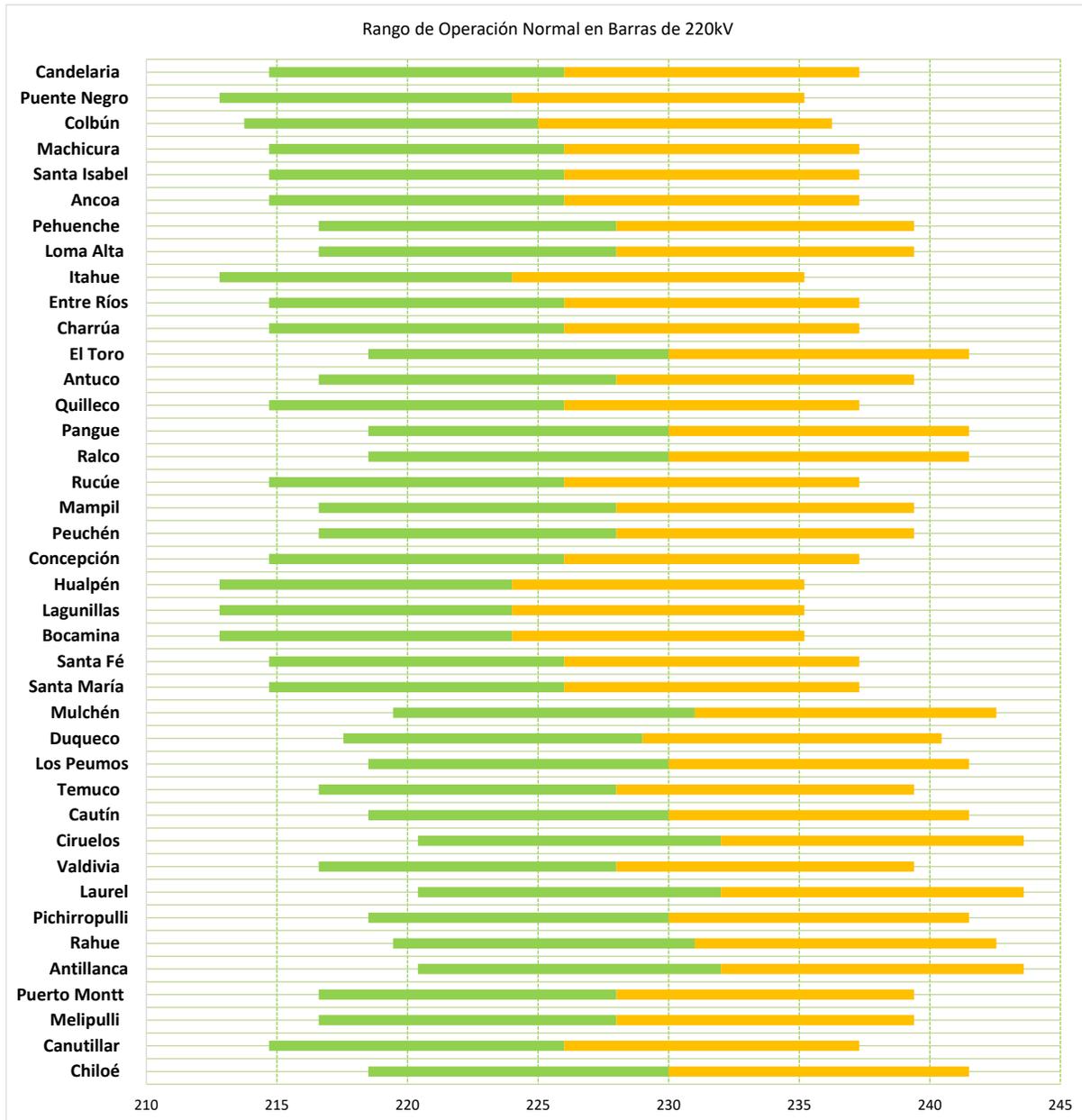
Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, son las indicadas en Tabla 15. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla la Tensión de Servicio es igual a la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica, atributo que se puede caracterizar como el mayor valor de sensibilidad entre la variación de tensión en la barra en cuestión, respecto de las barras identificadas en la tabla. La aproximación general utilizada para la caracterización de la menor distancia eléctrica fue la impedancia entre las barras.

Tabla 15 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Sur y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia.

Barra 220kV	Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.07Vs [kV]	0.93Vs [kV]	1.1Vs [kV]	0.9Vs [kV]
Candelaria	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Puente Negro	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Colbún	225	236,3	213,8	240,8	209,3	247,5	202,5
Machicura	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Santa Isabel	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Ancoa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Pehuente	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Loma Alta	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Itahue	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Entre Ríos	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Charrúa	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
El Toro	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Antuco	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Quilleco	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Pangue	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Ralco	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Rucúe	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Mampil	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Peuchén	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Concepción	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Hualpén	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Lagunillas	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Bocamina	224	235,2	212,8	239,7	208,3	246,4	201,6
Santa Fé	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Santa María	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Mulchén	231	242,6	219,5	247,2	214,8	254,1	207,9
Duqueco	229	240,5	217,6	245,0	213,0	251,9	206,1
Los Peumos	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Temuco	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Cautín	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Ciruelos	232	243,6	220,4	248,2	215,8	255,2	208,8
Valdivia	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Laurel	232	243,6	220,4	248,2	215,8	255,2	208,8
Pichirropulli	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0
Rahue	231	242,6	219,5	247,2	214,8	254,1	207,9
Antillanca	232	243,6	220,4	248,2	215,8	255,2	208,8
Puerto Montt	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Melipulli	228	239,4	216,6	244,0	212,0	250,8	205,2
Canutillar	226	237,3	214,7	241,8	210,2	248,6	203,4
Chiloé	230	241,5	218,5	246,1	213,9	253,0	207,0

A continuación, se muestran las gráficas asociadas a la tabla anterior, para apreciar la distribución de las tensiones en su rango de operación normal a lo largo del Sistema Eléctrico Nacional, al considerar las tensiones de servicio propuestas.

Figura 43: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las barras de 220kV de la Zona Centro Sur, considerando los Rangos de Operación Normal ($\pm 5\%$).



6 RESUMEN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los análisis realizados en el presente estudio se destaca lo siguiente:

- Este estudio propone nuevas Tensiones de Servicio para el Sistemas de Transmisión de 500kV y 220kV. Estas nuevas Tensiones de Servicio fueron obtenidas mediante el análisis de los datos de la operación real del sistema y además se realizaron flujos estáticos y cálculos de sensibilidad dV/dQ , para escenarios de demanda alta y baja, verificando el rango de operación establecido en la norma técnica de seguridad y calidad de servicio tanto en operación normal como post contingencia.
- Los valores de tensión empleados en la operación real del sistema son producto de la búsqueda en todo momento del uso eficaz de los recursos de potencia reactiva y de la reducción en cuanto sea posible del tránsito de ésta por el sistema de transmisión. En consecuencia, las Tensiones de Servicio se definen a partir del análisis estadístico de los valores que se registran en la operación regular del Sistema Eléctrico Nacional y considera las necesidades individuales de cada barra en las distintas condiciones de operación factibles (demandas, despachos, indisponibilidades, etc.), estableciendo las tensiones de referencia más adecuadas.
- Como resultado de lo anterior, los rangos admisibles de tensión de operación aquí definidos permiten la utilización eficiente de los recursos de potencia reactiva para el control de tensión y sin compromiso de la integridad de las instalaciones, de manera que contribuyan a la seguridad y calidad de servicio.
- Sin perjuicio de lo indicado por la NT en relación con las exigencias de seguridad y calidad de servicio para las tensiones en Estado Normal y de Alerta, es relevante tener presente que la operación de un sistema longitudinal muy extendido, poco enmallado y con una distribución de carga-generación no uniforme como el Sistema Eléctrico Nacional, requiere de bandas de tensión adecuadas que permitan gradientes naturales con tensiones superiores a la nominal y el uso eficiente de los recursos de potencia reactiva. En caso contrario, se pueden presentar incongruencias tales como flujos de potencia reactiva indeseados o contrapuestos a la operación más conveniente para el sistema.

7 REFERENCIAS

- [1] Coordinador Eléctrico Nacional, “Estudio de Control de Tensión y Requerimientos de Potencia Reactiva,” 2021.

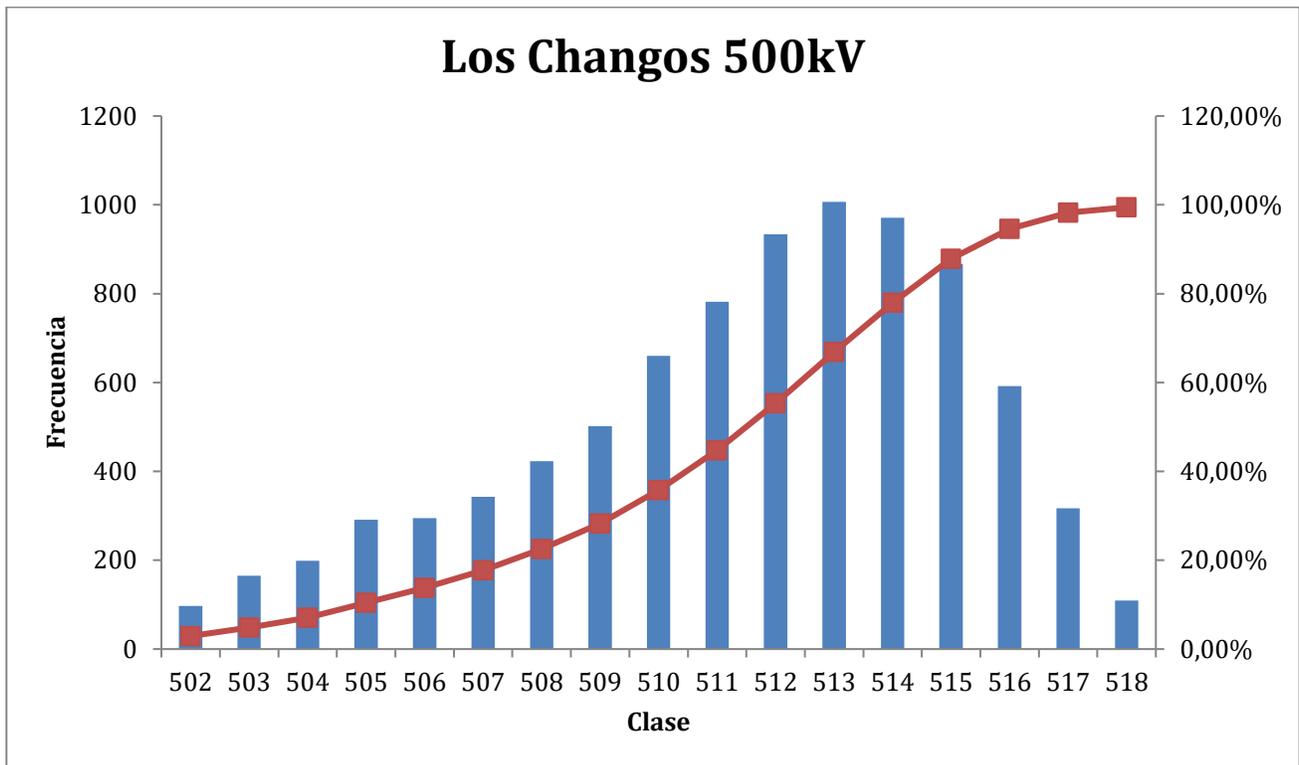
8 ANEXOS

“Distribución de Tensiones por Barra y Nivel Tensión Nominal”

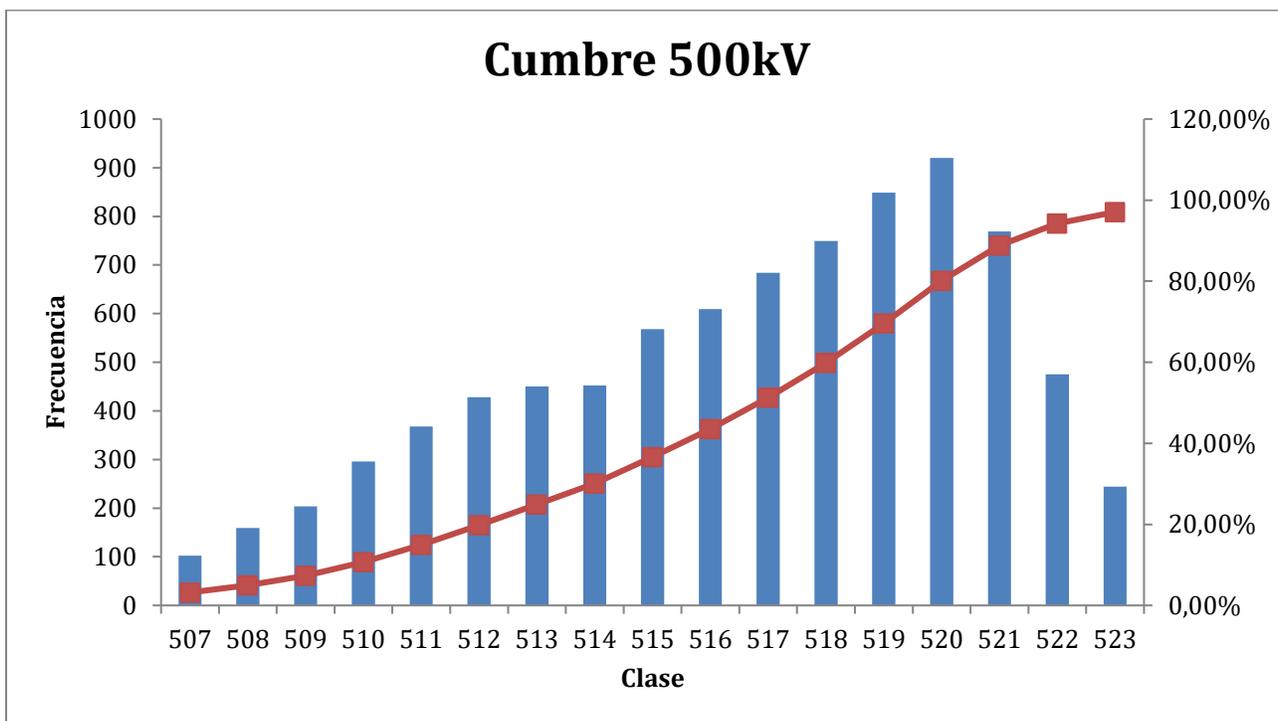
En el presente anexo, se muestran los histogramas obtenidos para cada una de las barras indicadas a lo largo del estudio, con datos de operación durante el año 2020-2021. Cabe señalar que sólo se muestran los valores de tensión (en kV) que presentan una frecuencia absoluta porcentual entre un 2% hasta un 99%, para evitar que aparezcan valores de tensiones derivados de registros erróneos, las cuales no aportan al desarrollo del presente informe. Los gráficos muestran en barras azules las frecuencias de los datos, mientras que la curva de color rojo representa las frecuencias acumuladas.

8.1 Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 500kV

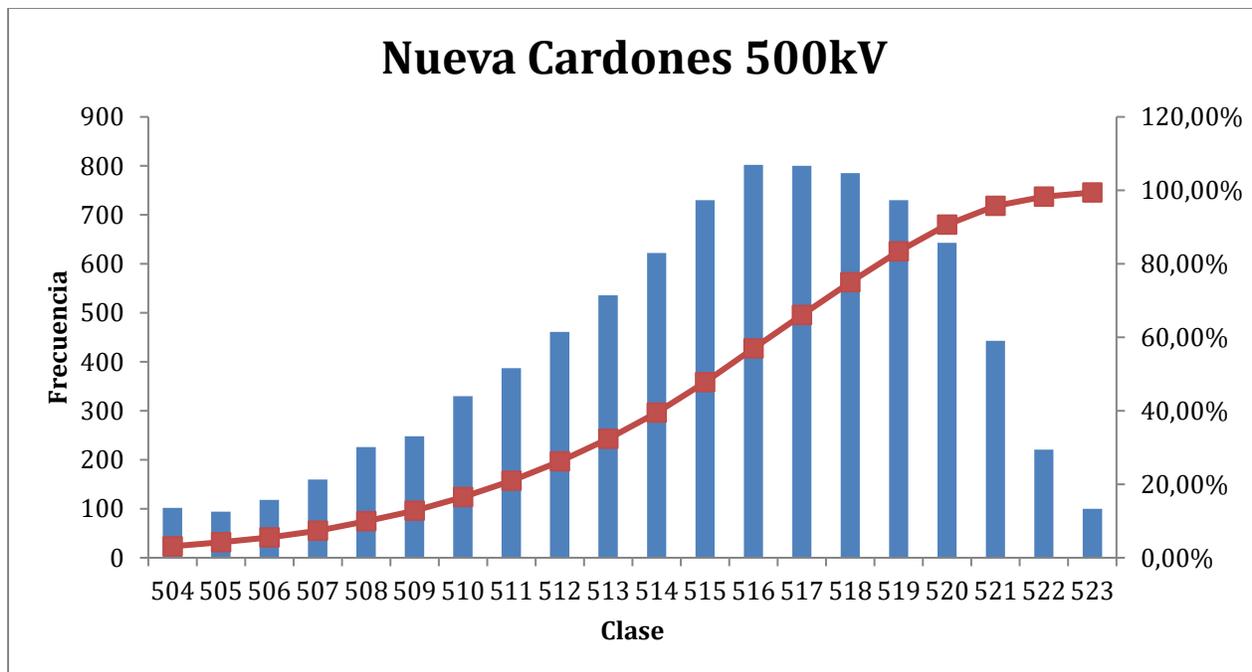
a) Los Changos



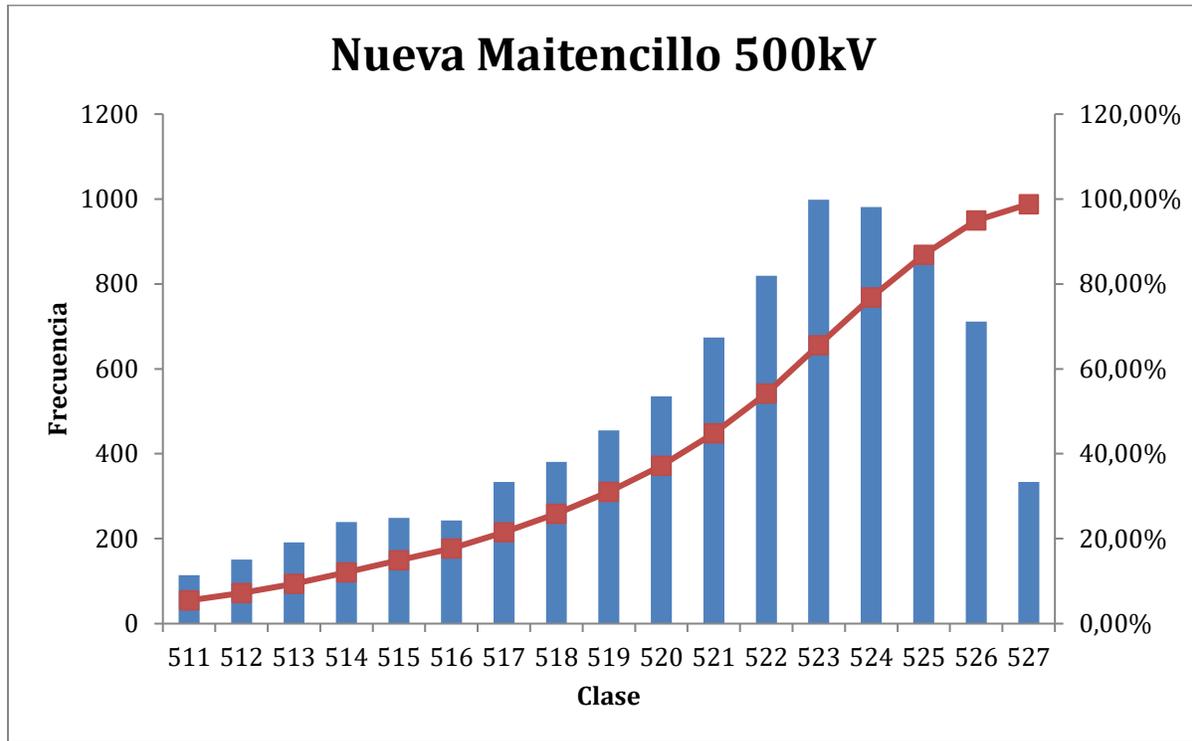
b) Cumbre



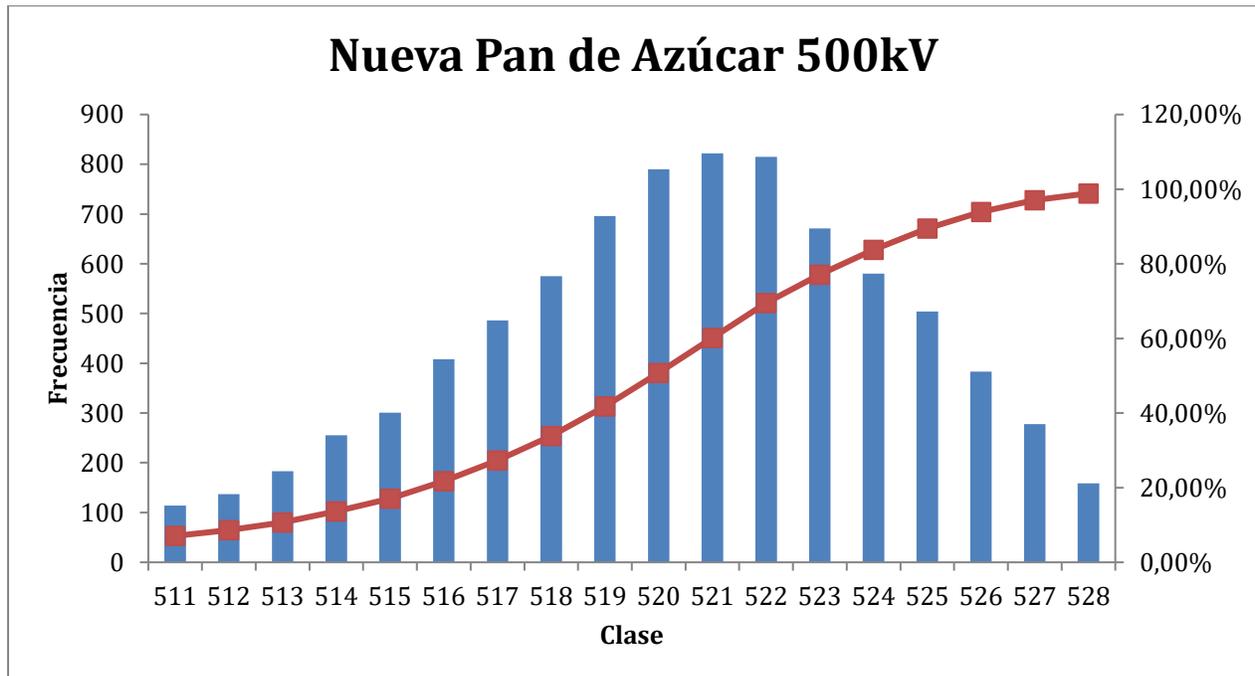
c) Nueva Cardones



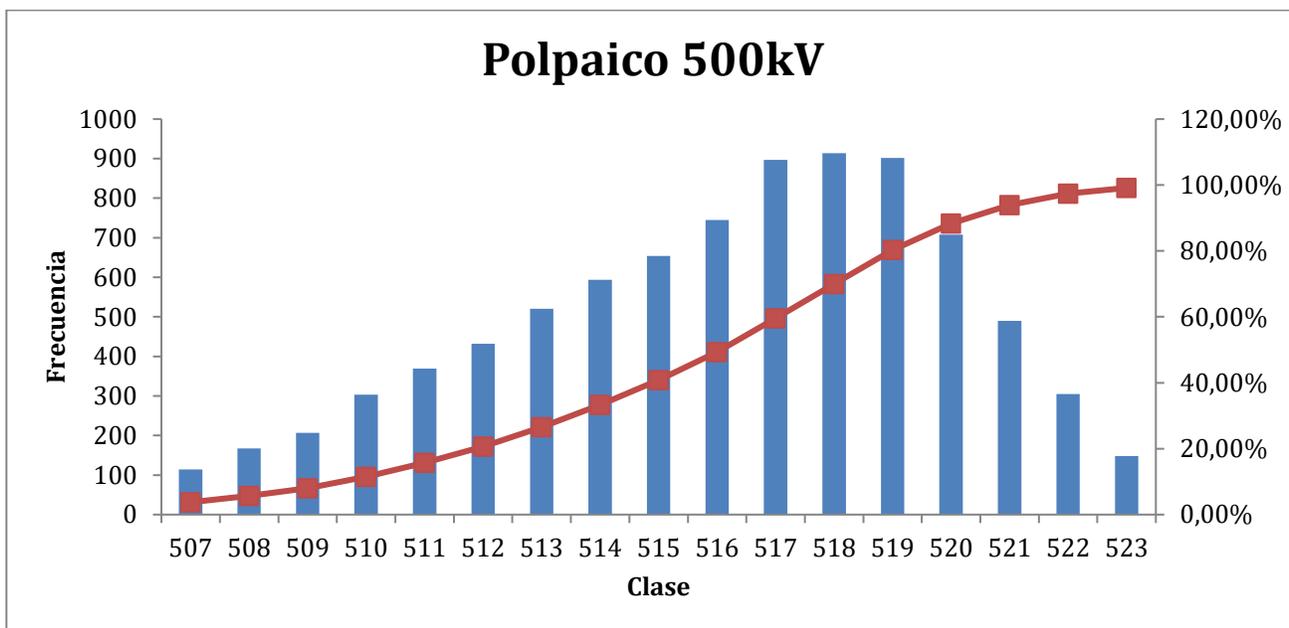
d) Nueva Maitencillo



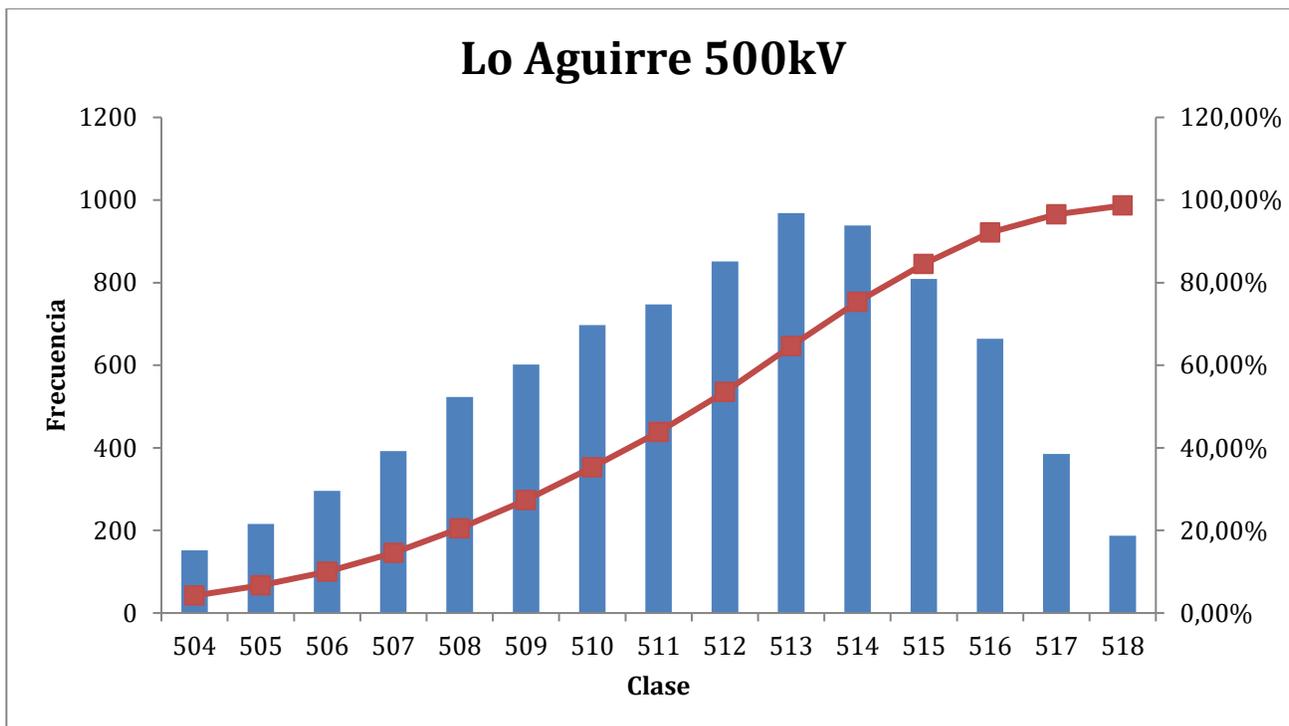
e) Nueva Pan de Azúcar



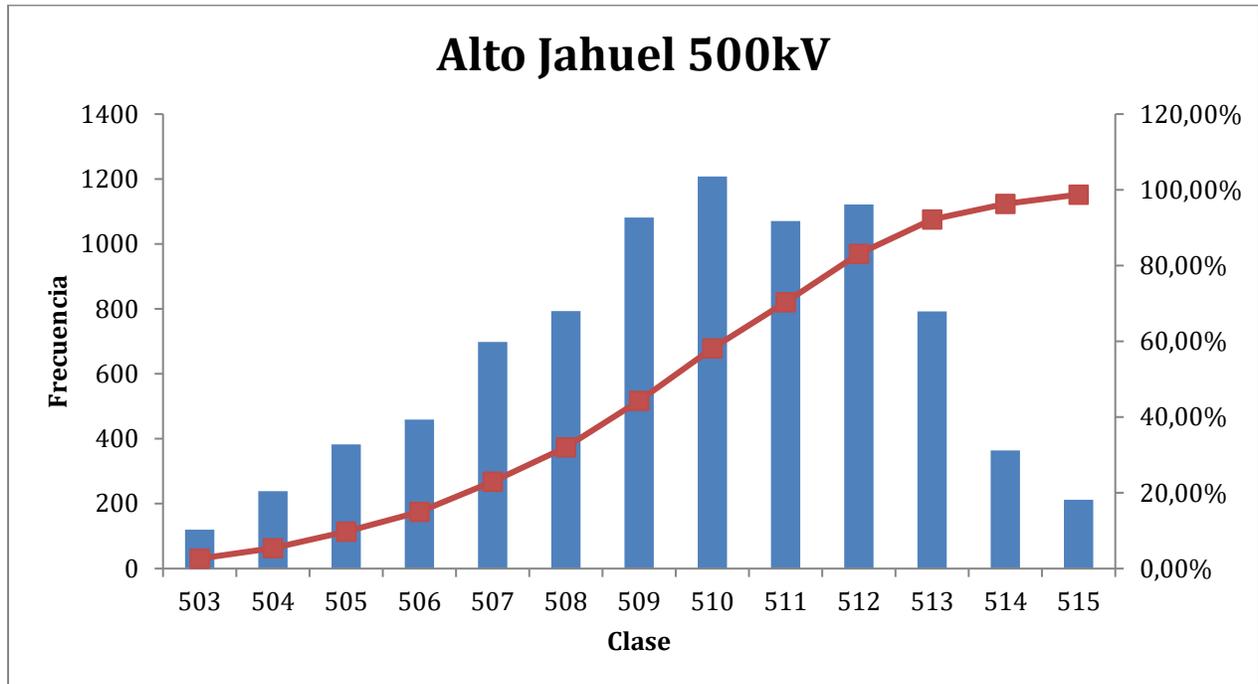
f) Polpaico



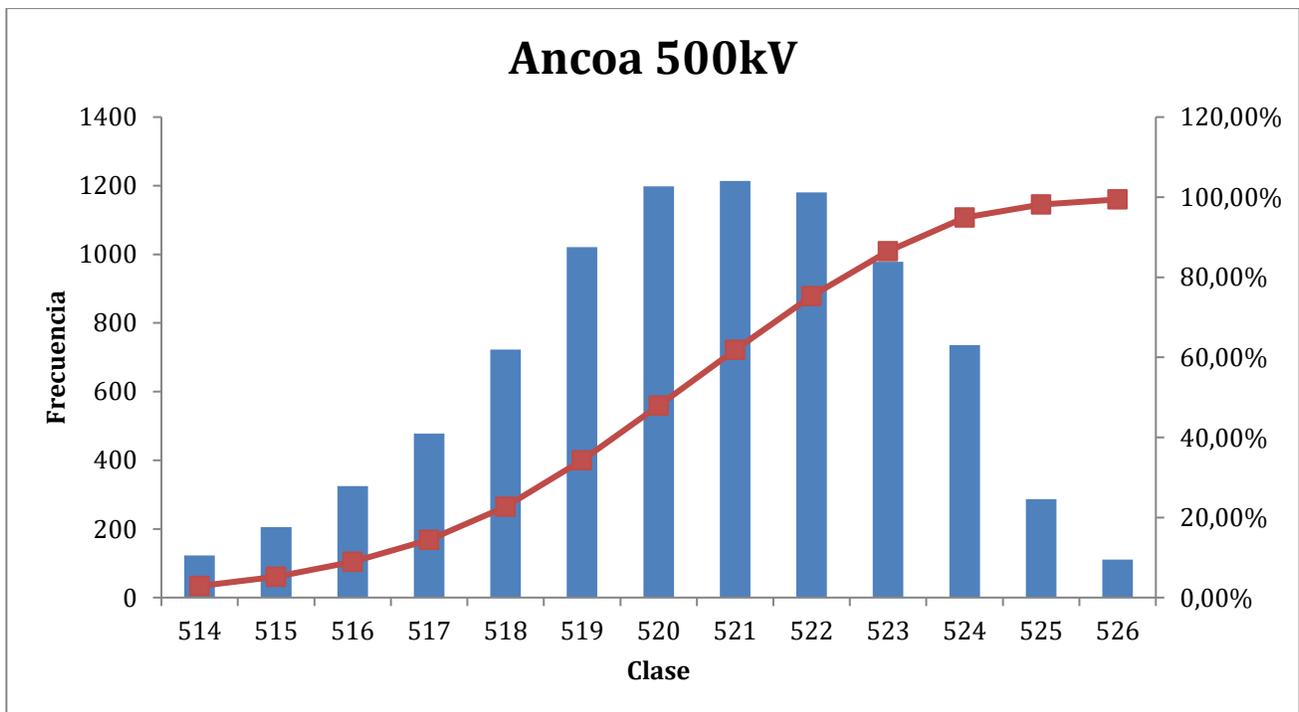
g) Lo Aguirre



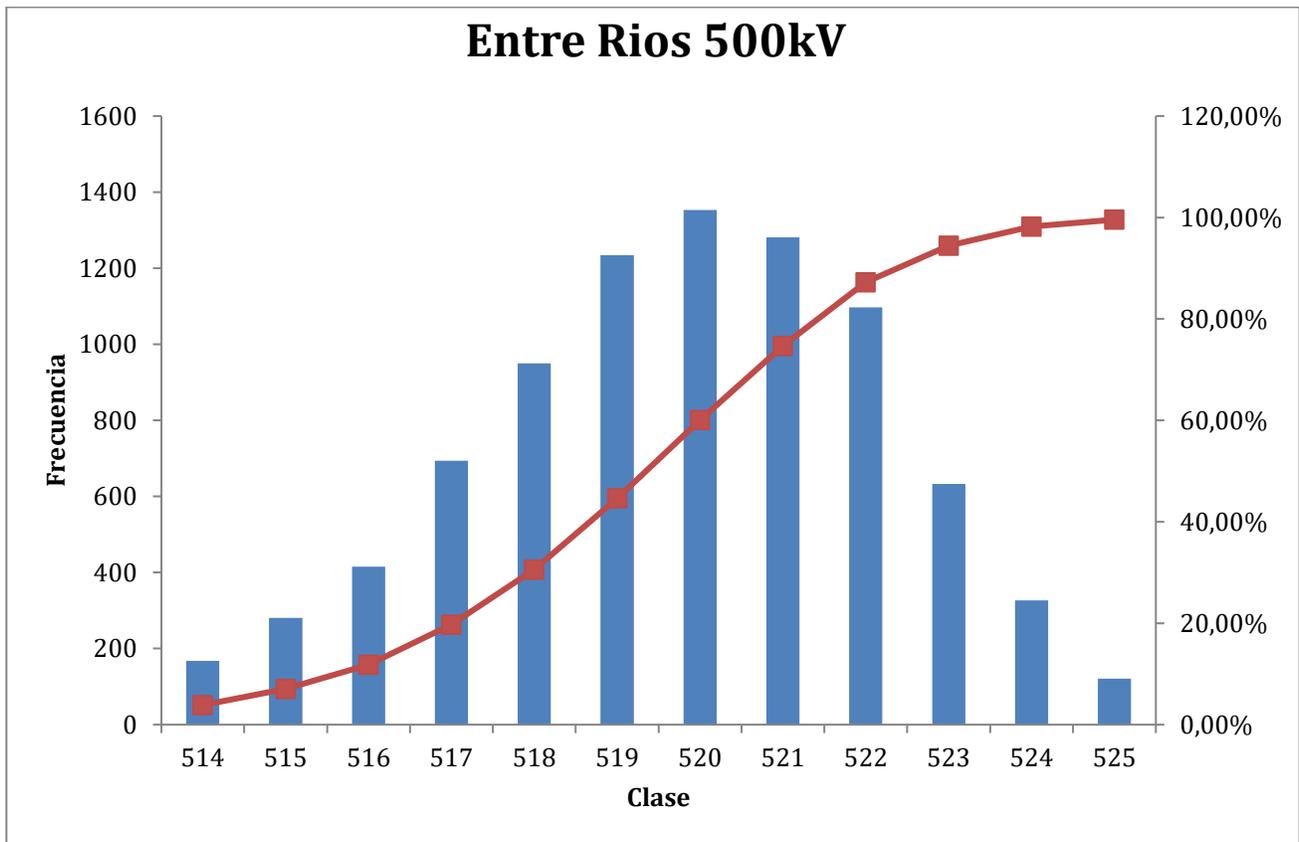
h) Alto Jahuel



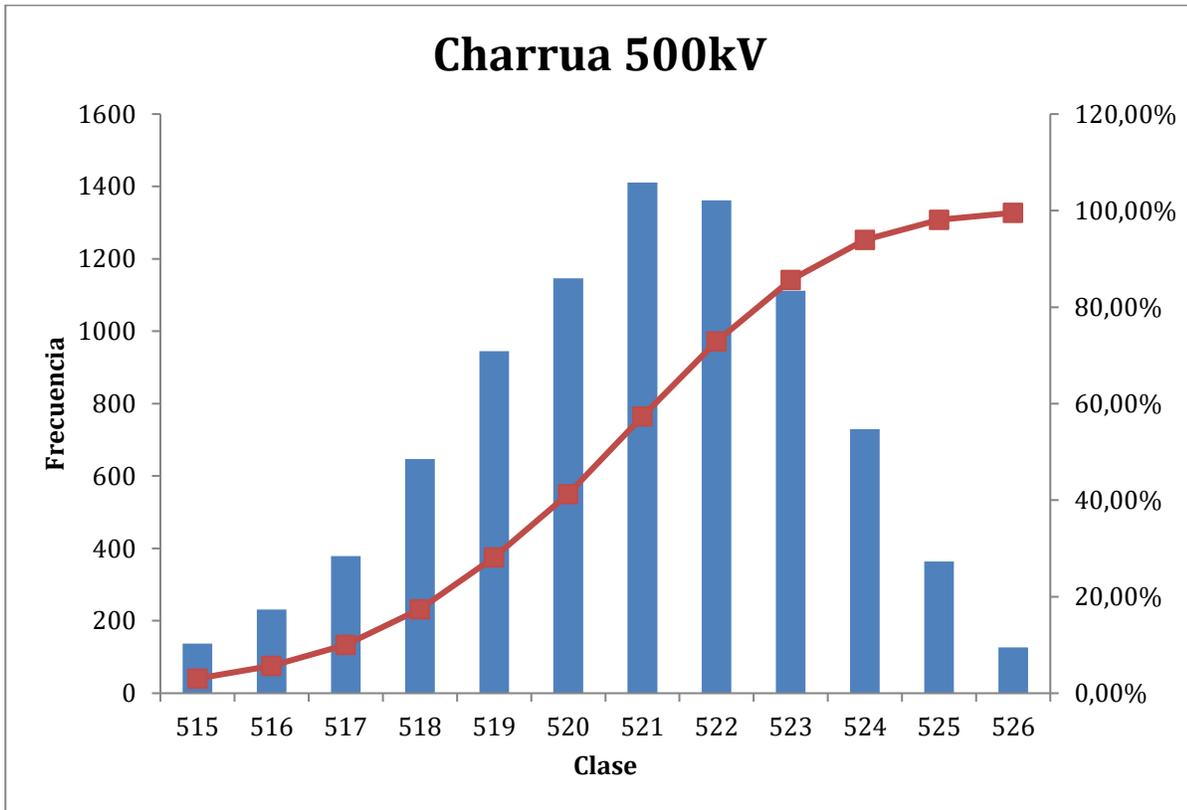
i) Ancoa



j) Entre Ríos



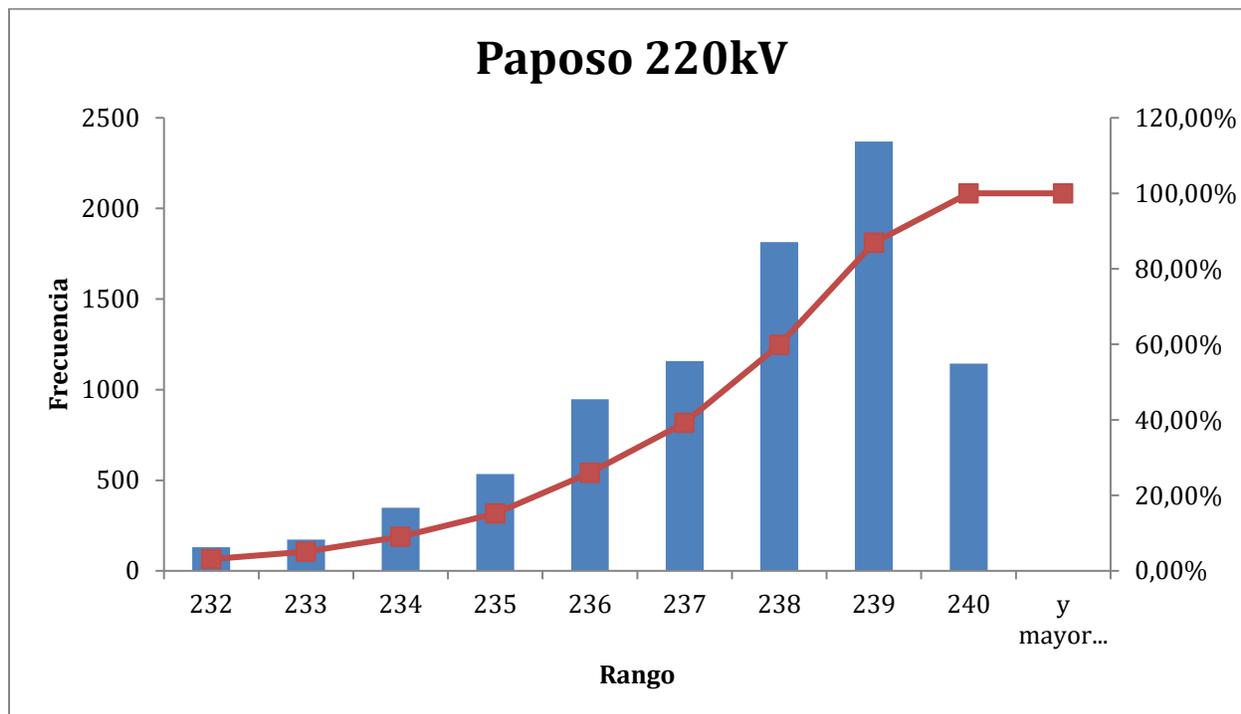
k) Charrúa



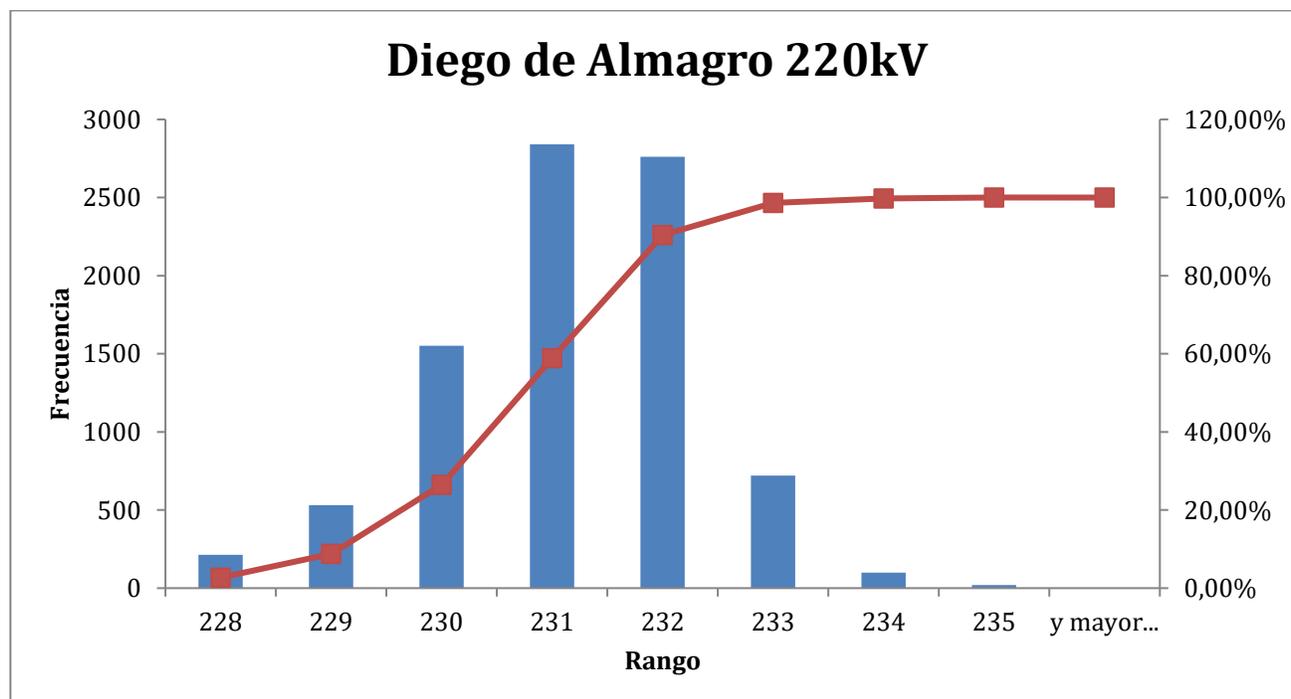
8.2 Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 220kV

8.2.1 Zona Norte Chico

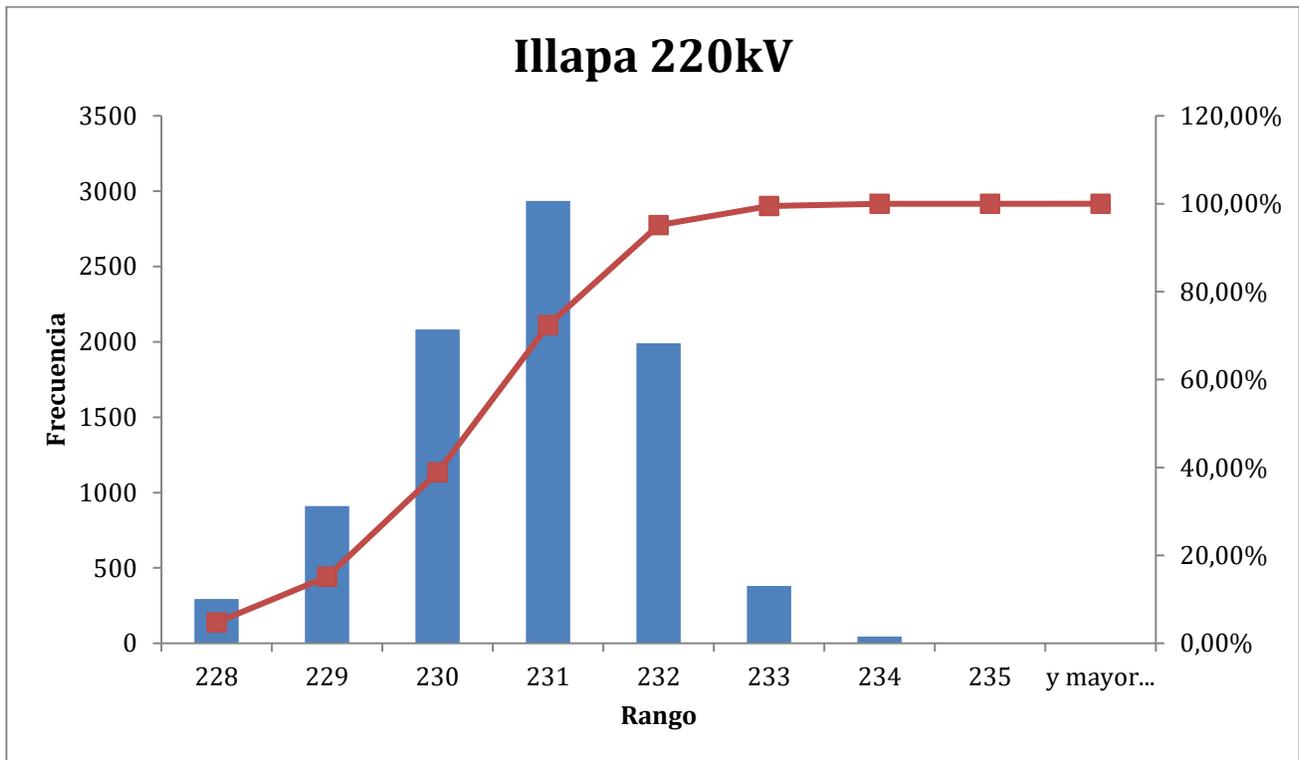
a) Paposo



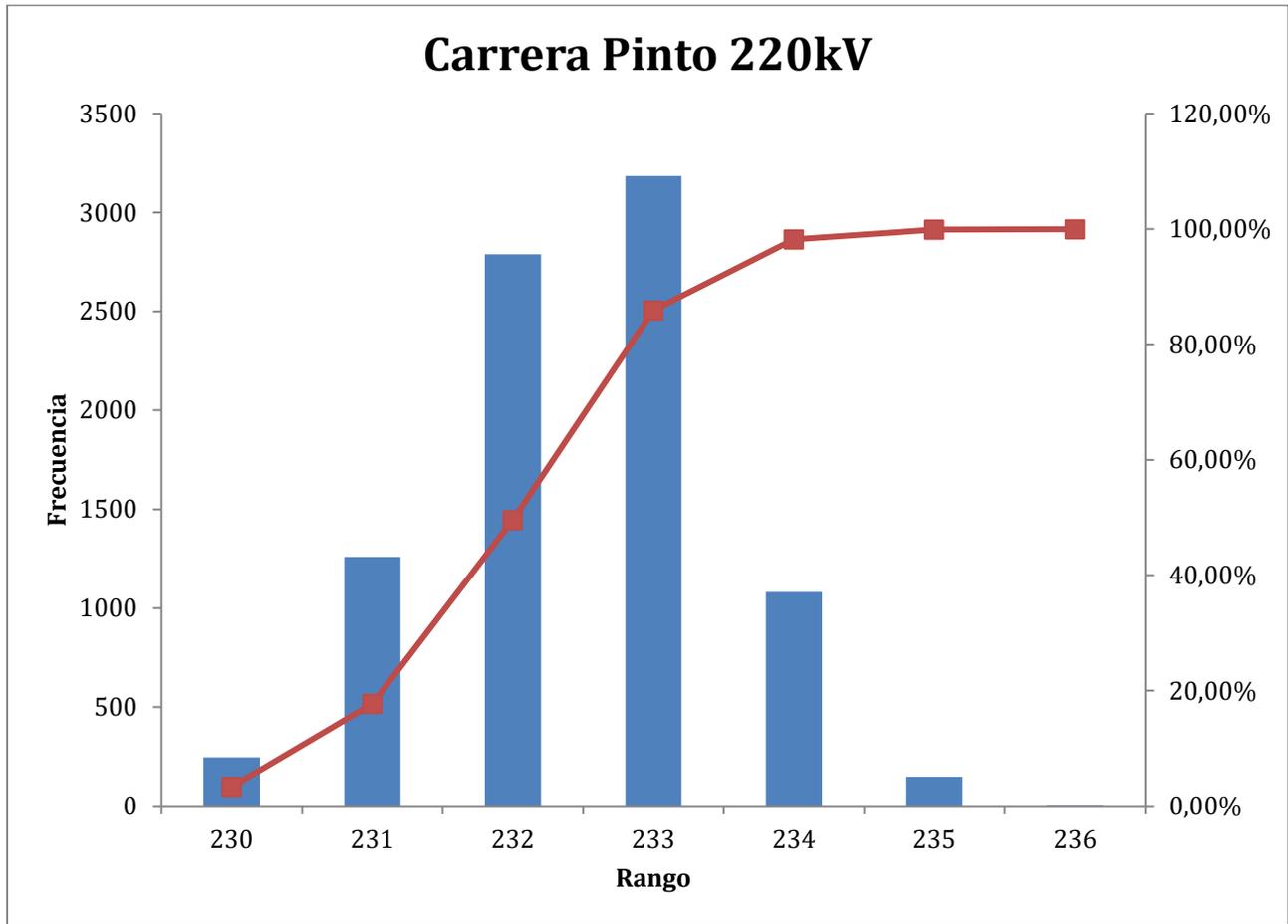
b) Diego de Almagro



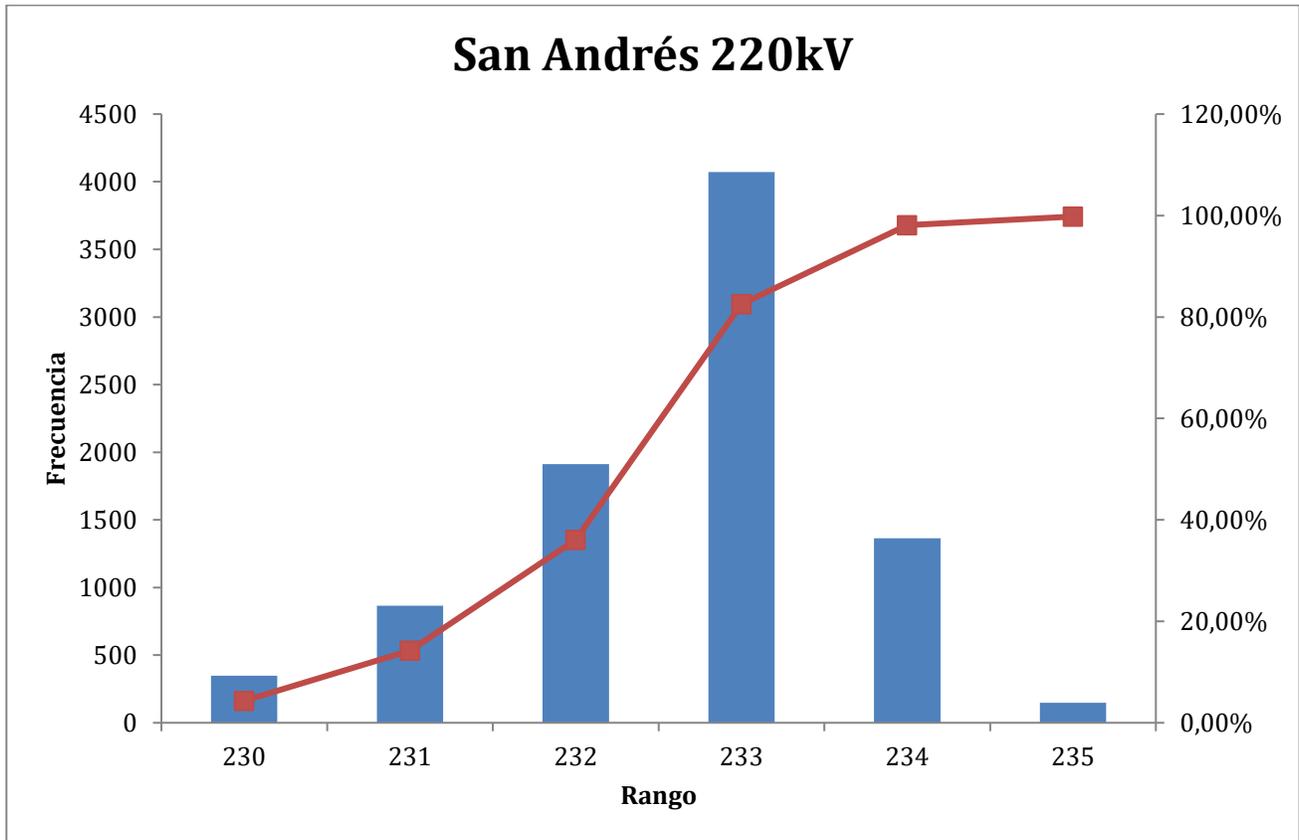
c) Illapa



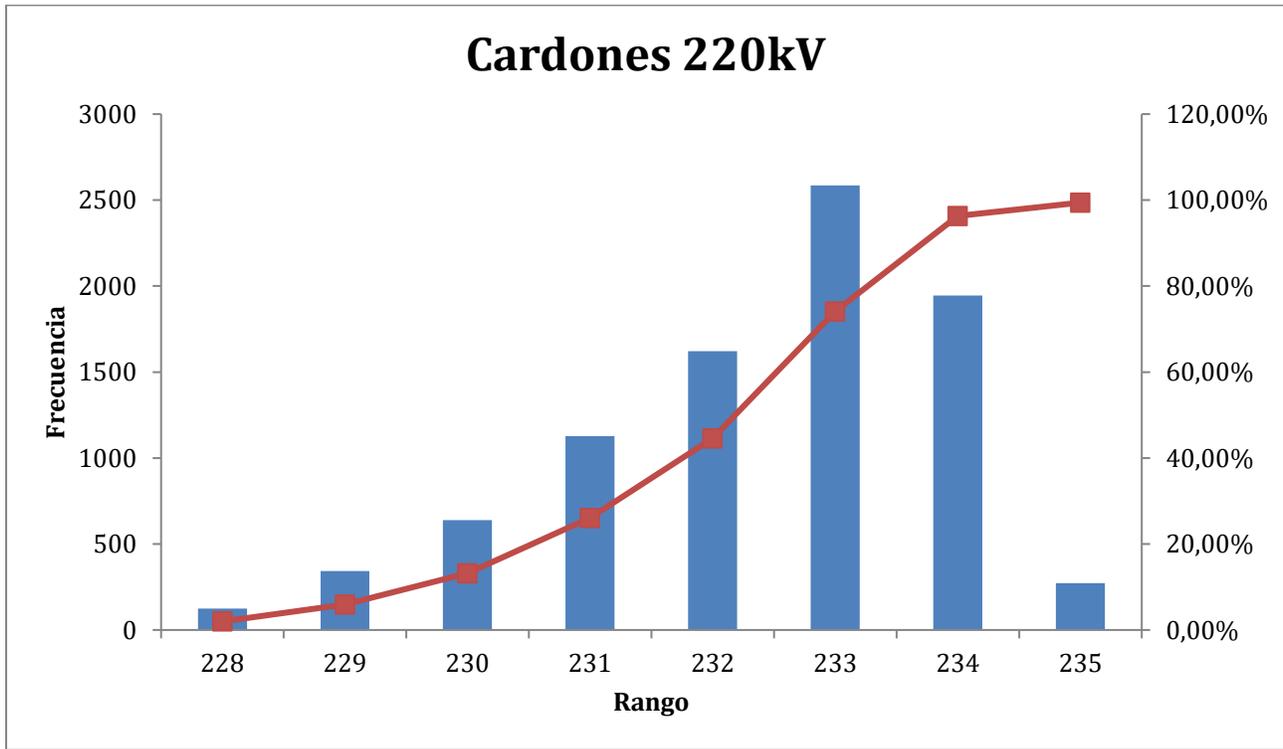
d) Carrera Pinto



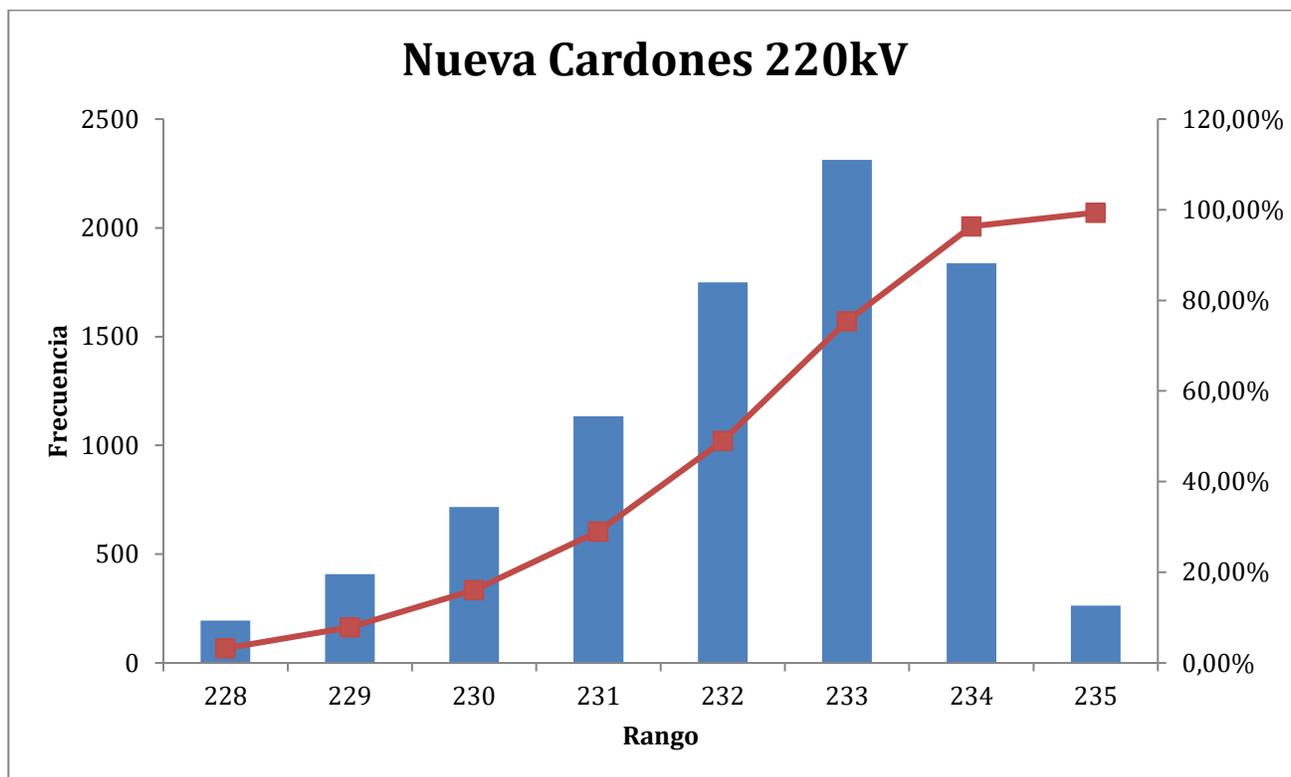
e) **San Andrés**



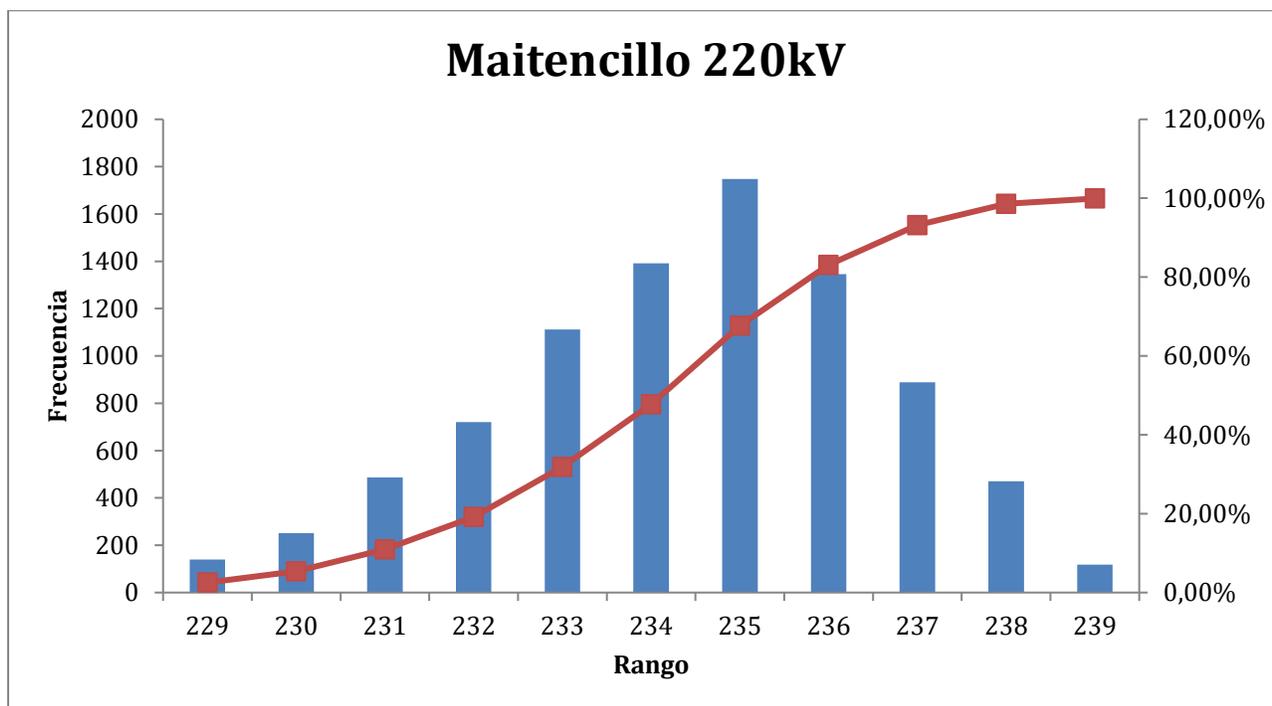
f) **Cardones**



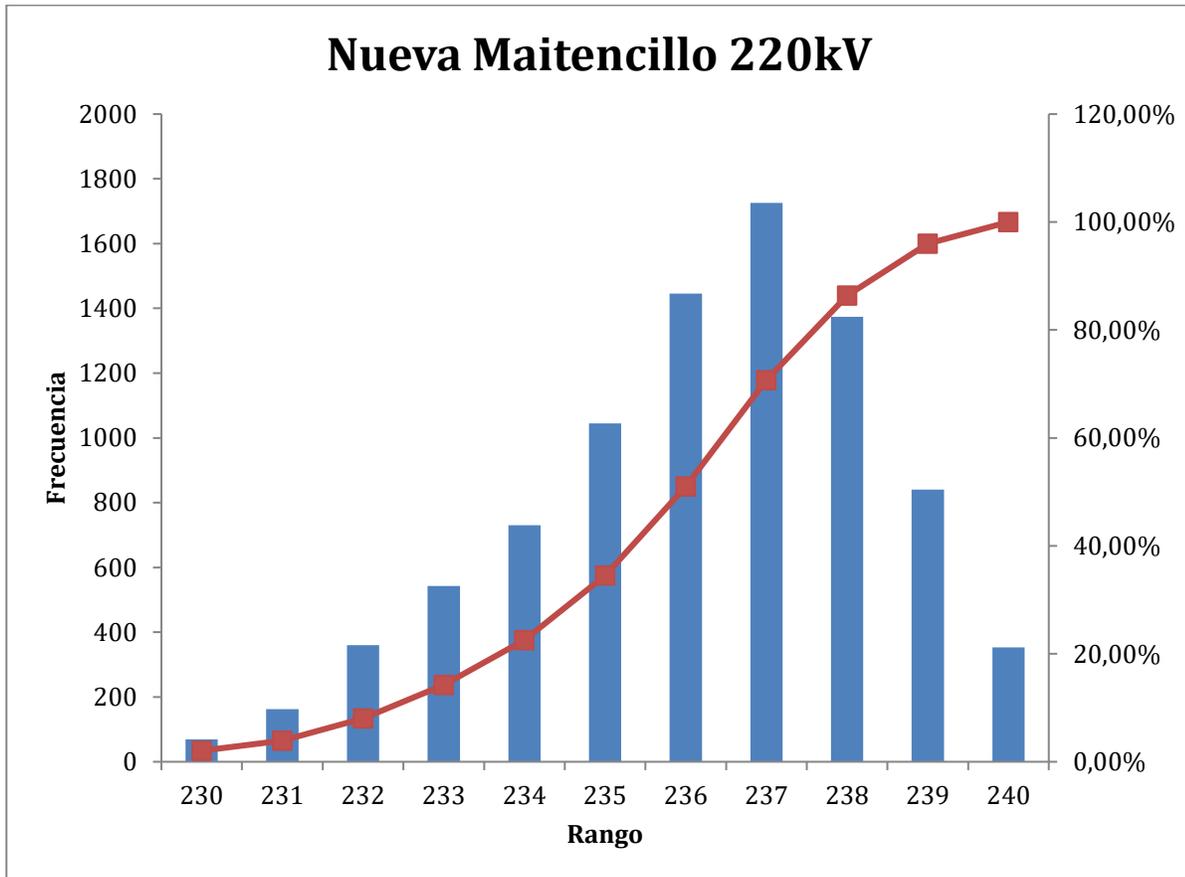
g) Nueva Cardones



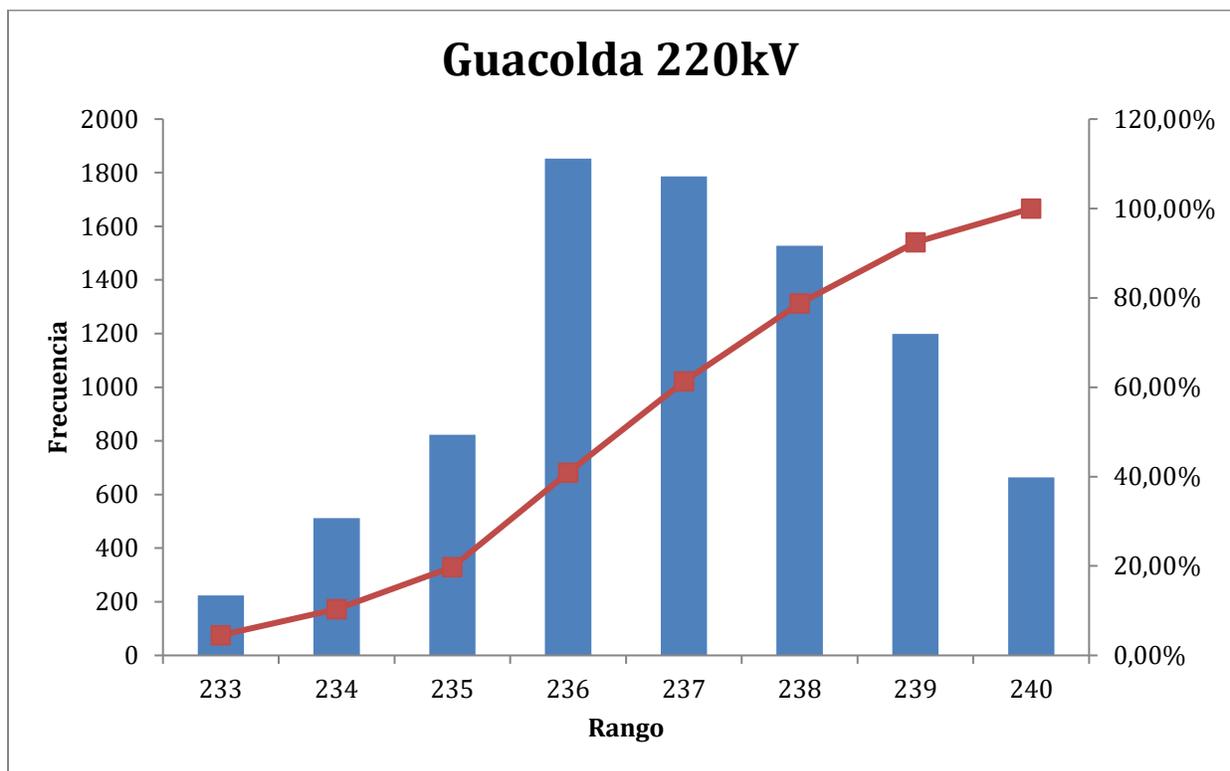
h) Maitencillo



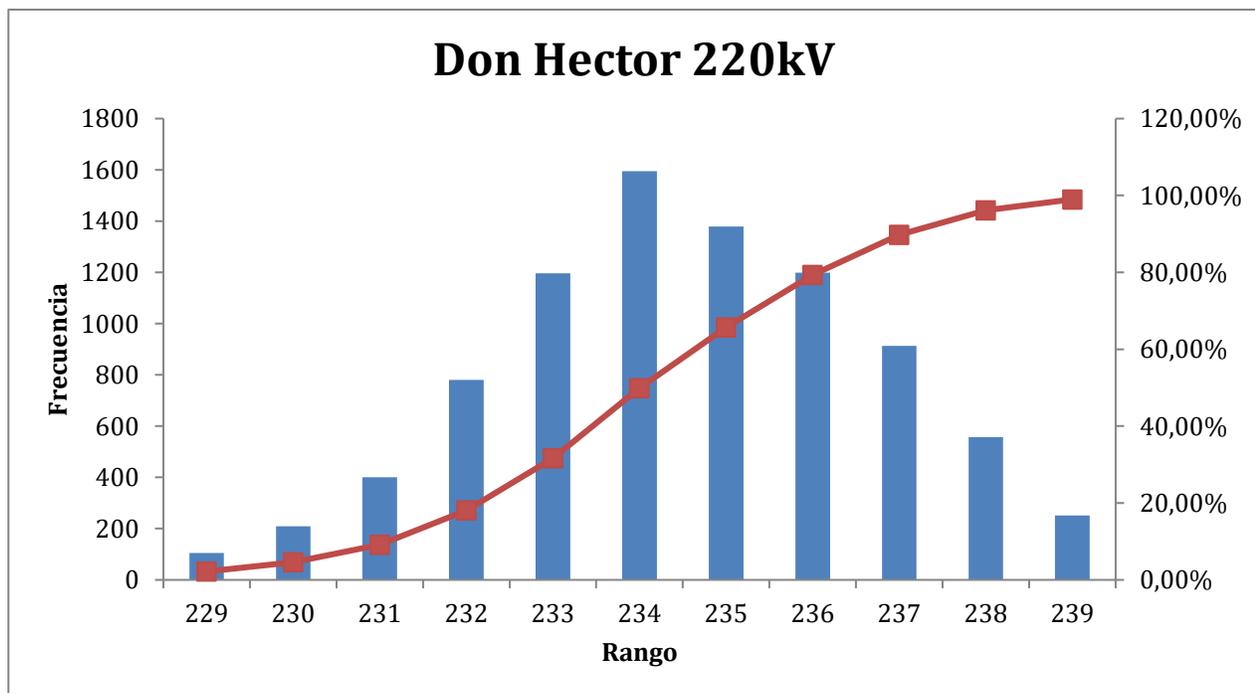
i) Nueva Maitencillo



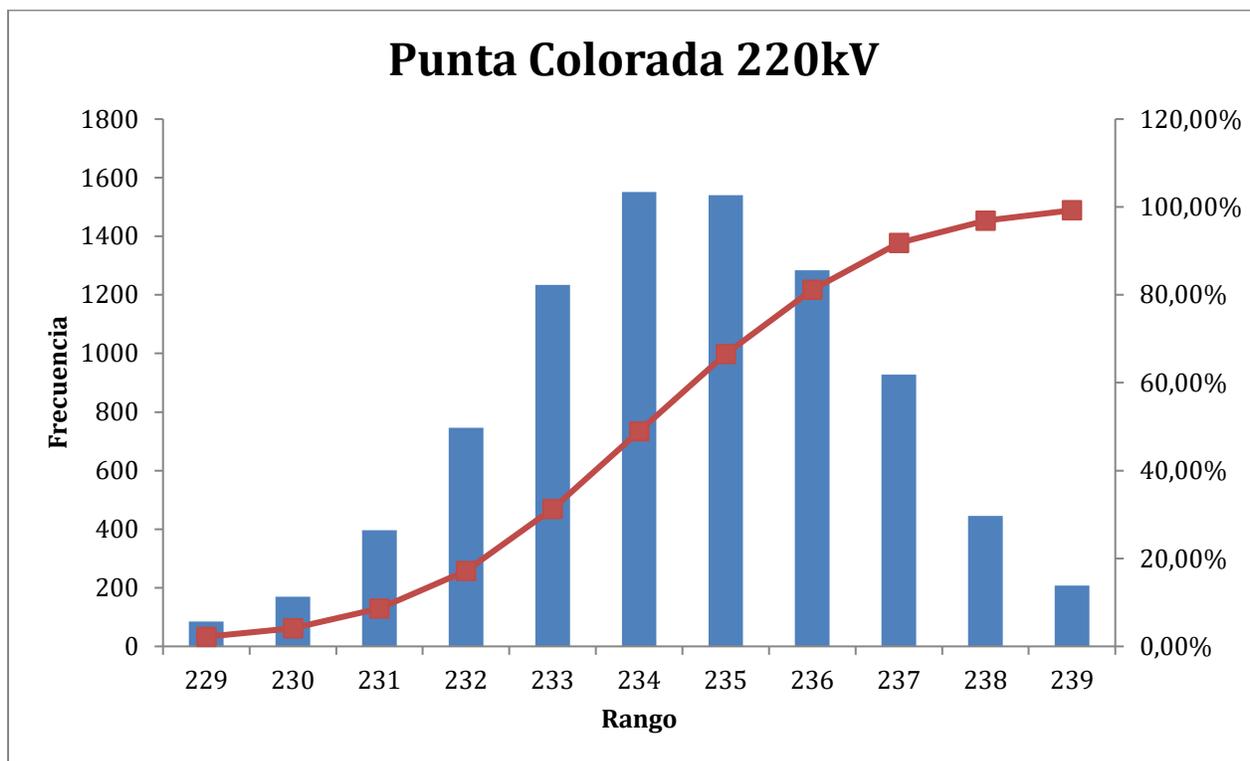
j) **Guacolda**



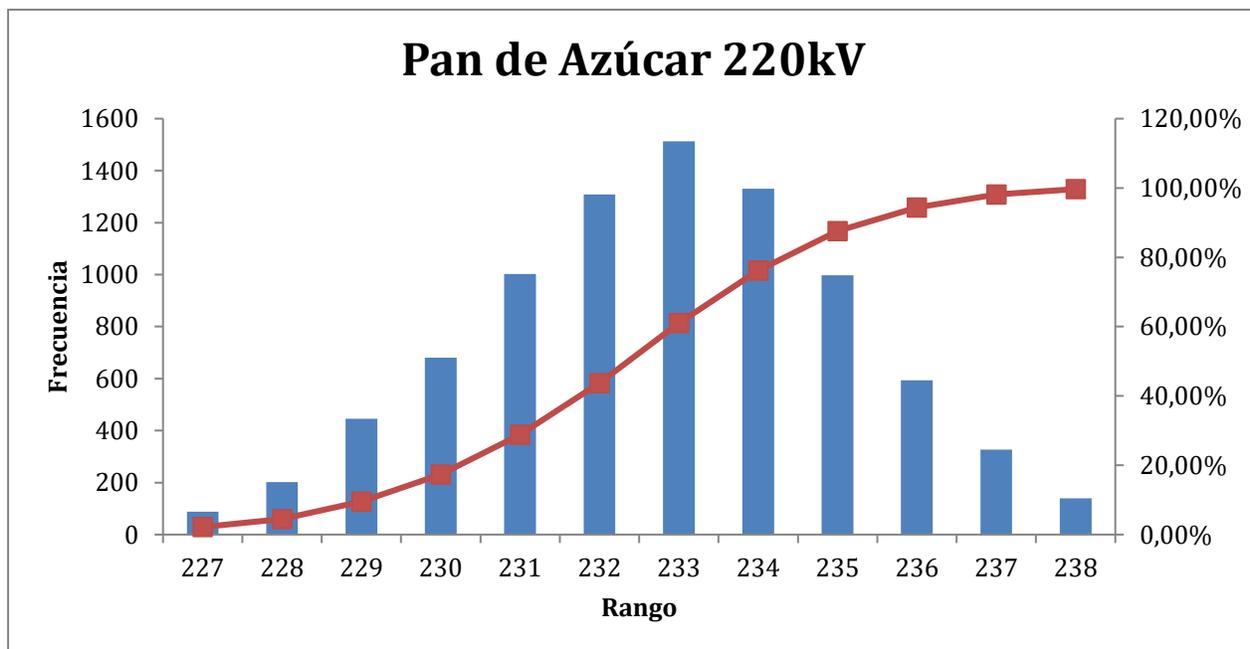
k) **Don Héctor**



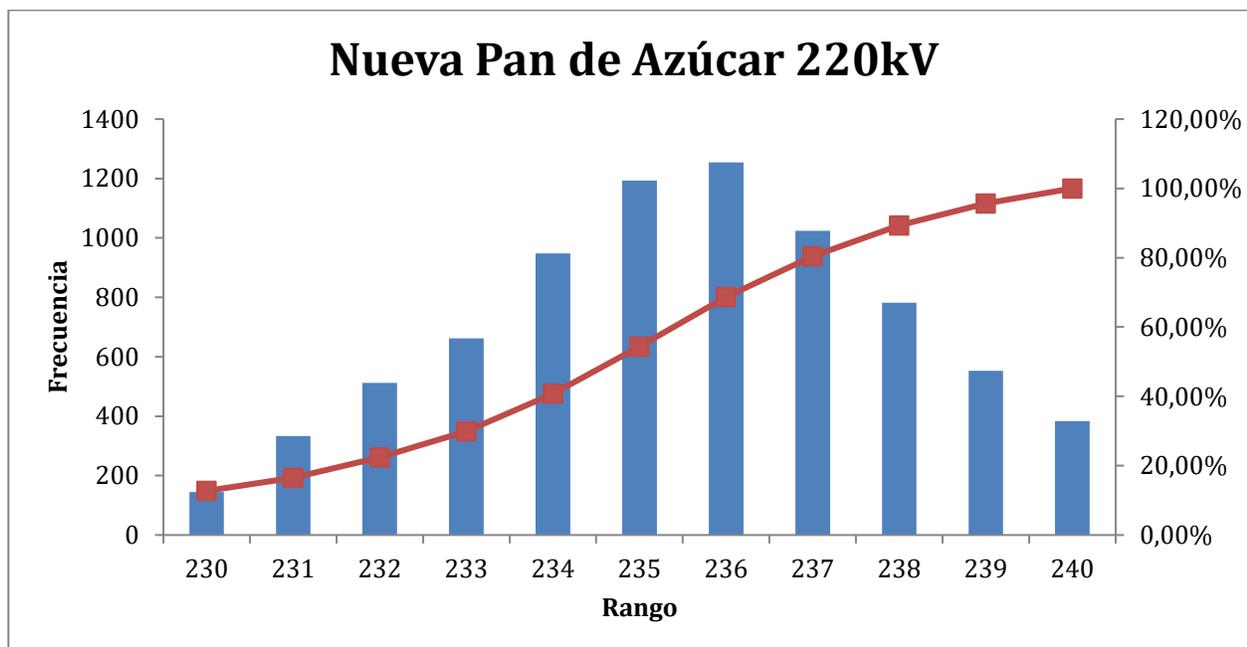
I) Punta Colorada



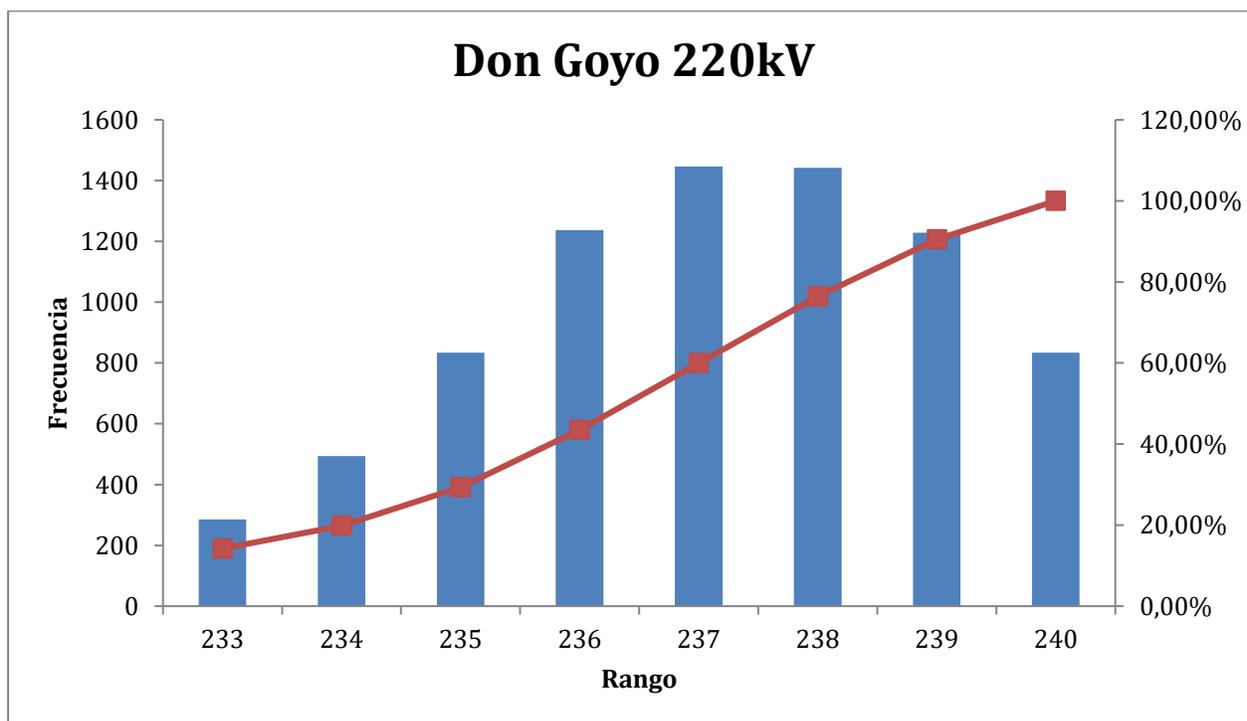
m) Pan de Azúcar



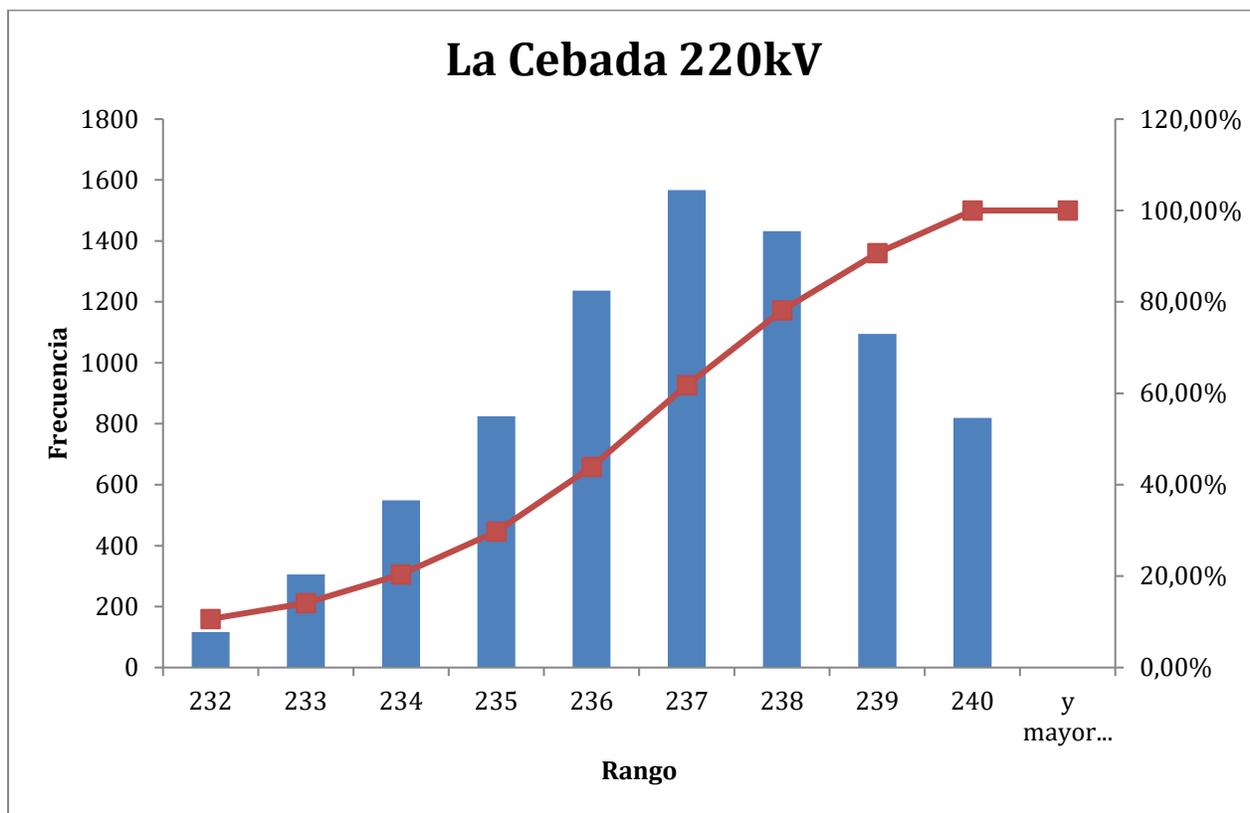
n) Nueva Pan de Azúcar



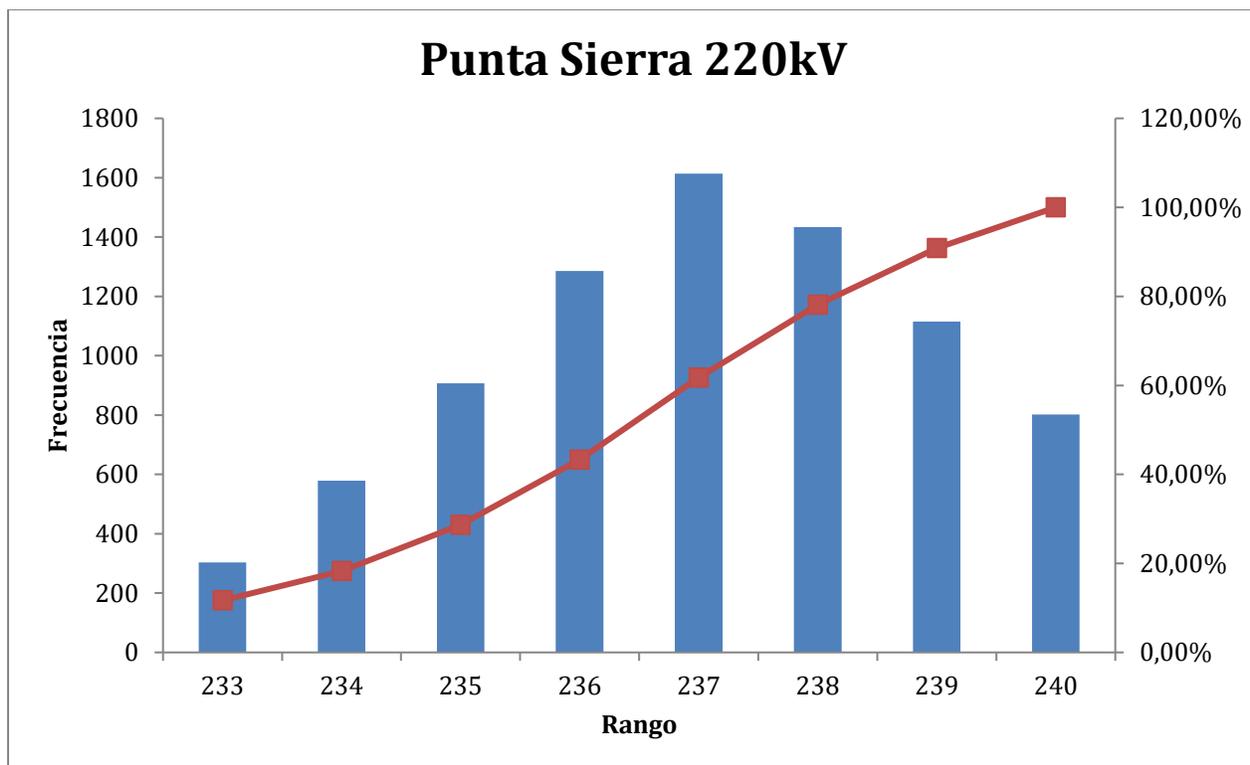
o) Don Goyo



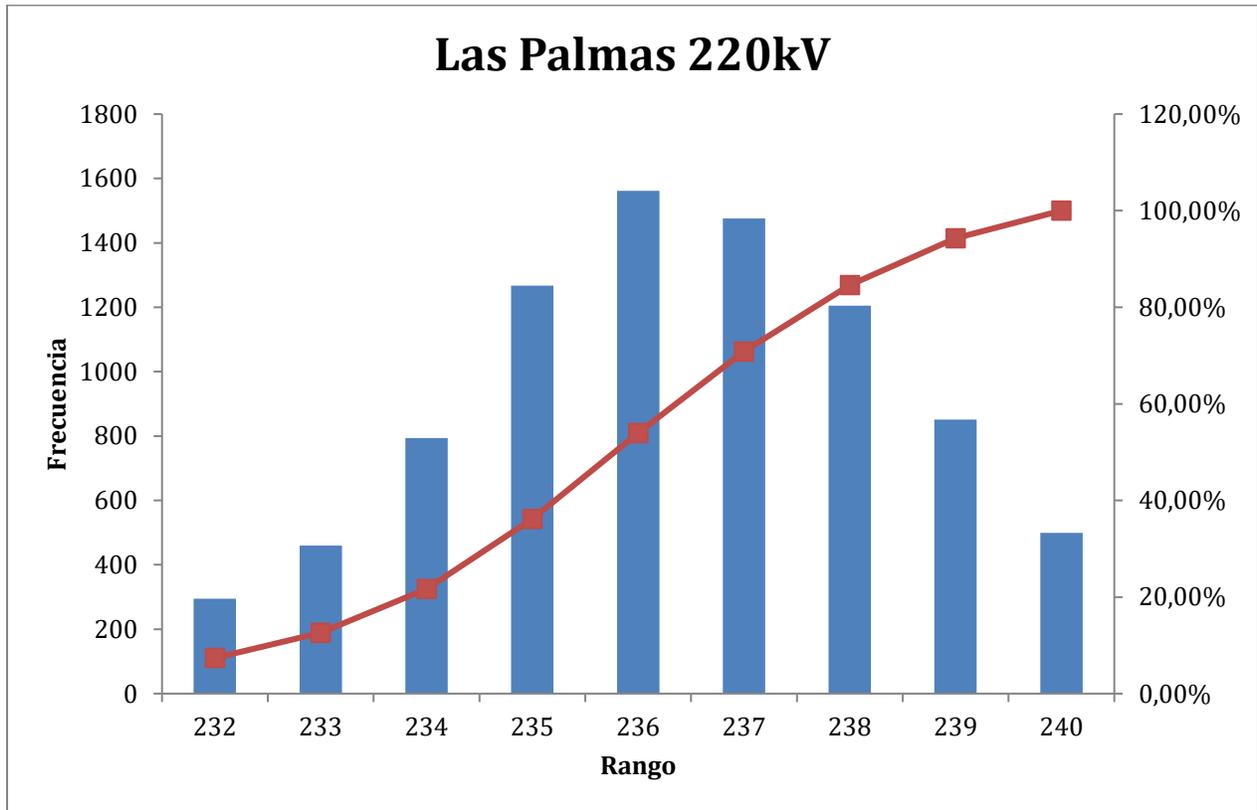
p) La Cebada



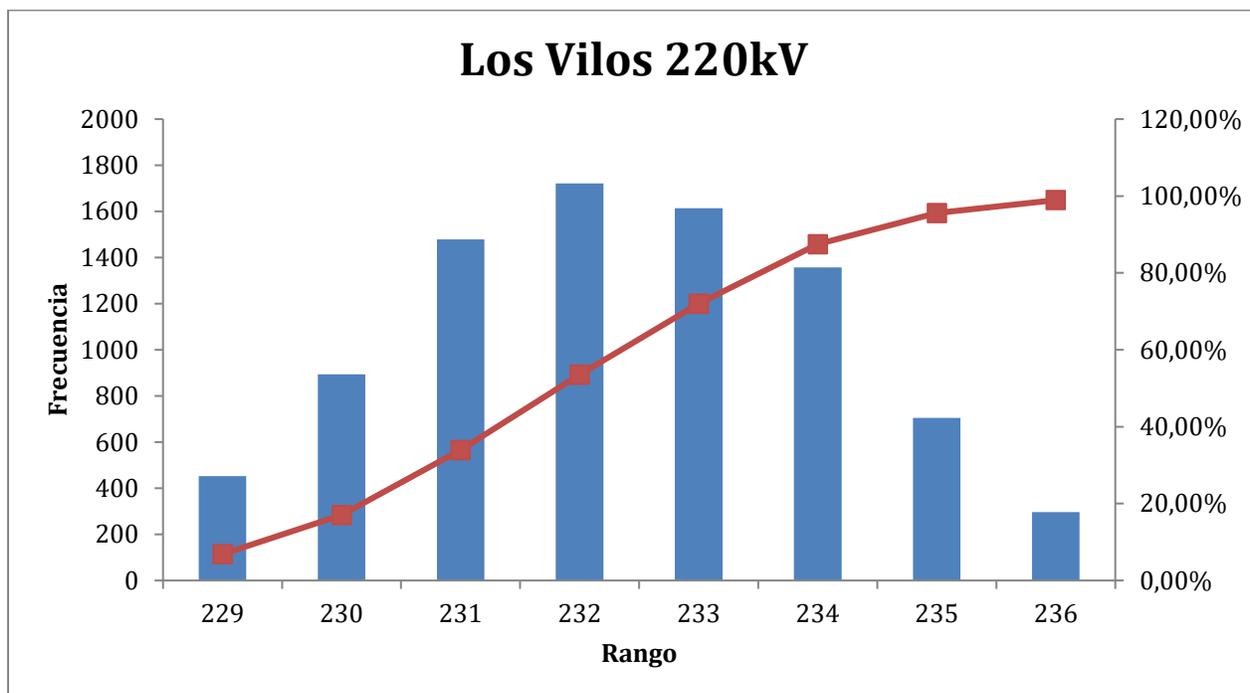
q) Punta Sierra



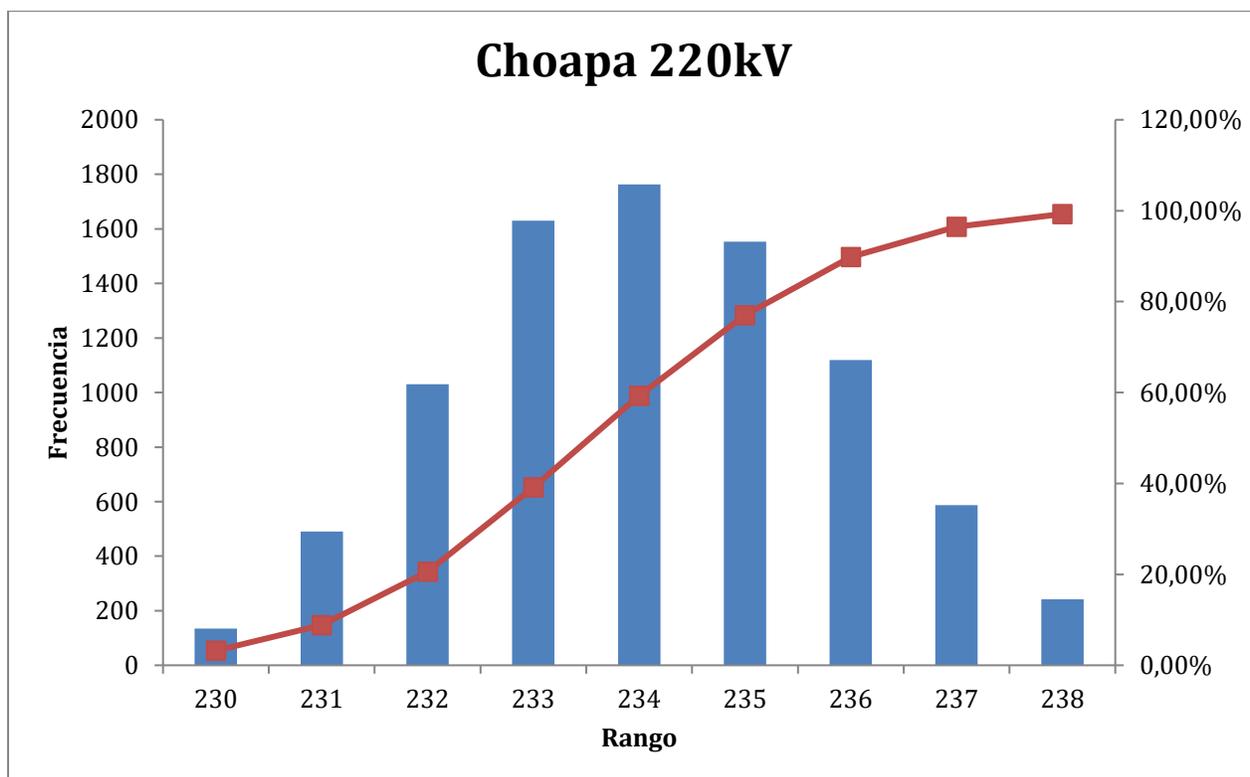
r) **Las Palmas**



s) Los Vilos

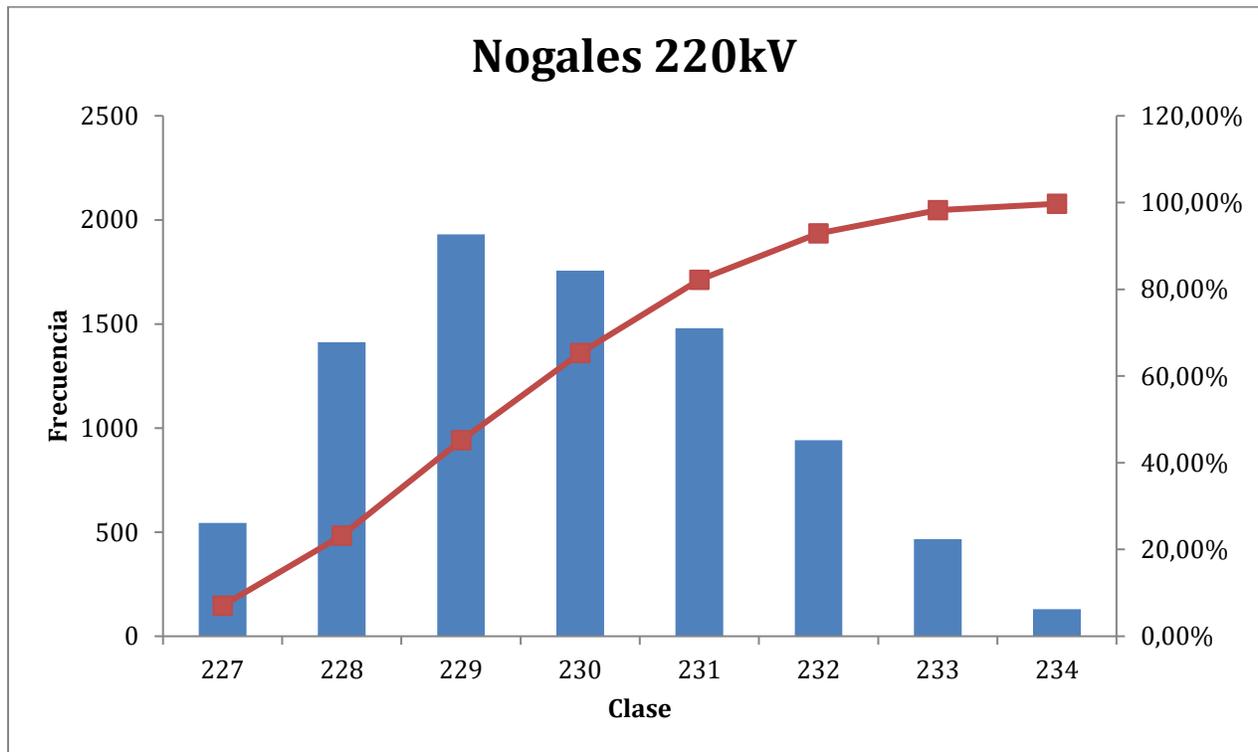


t) Choapa

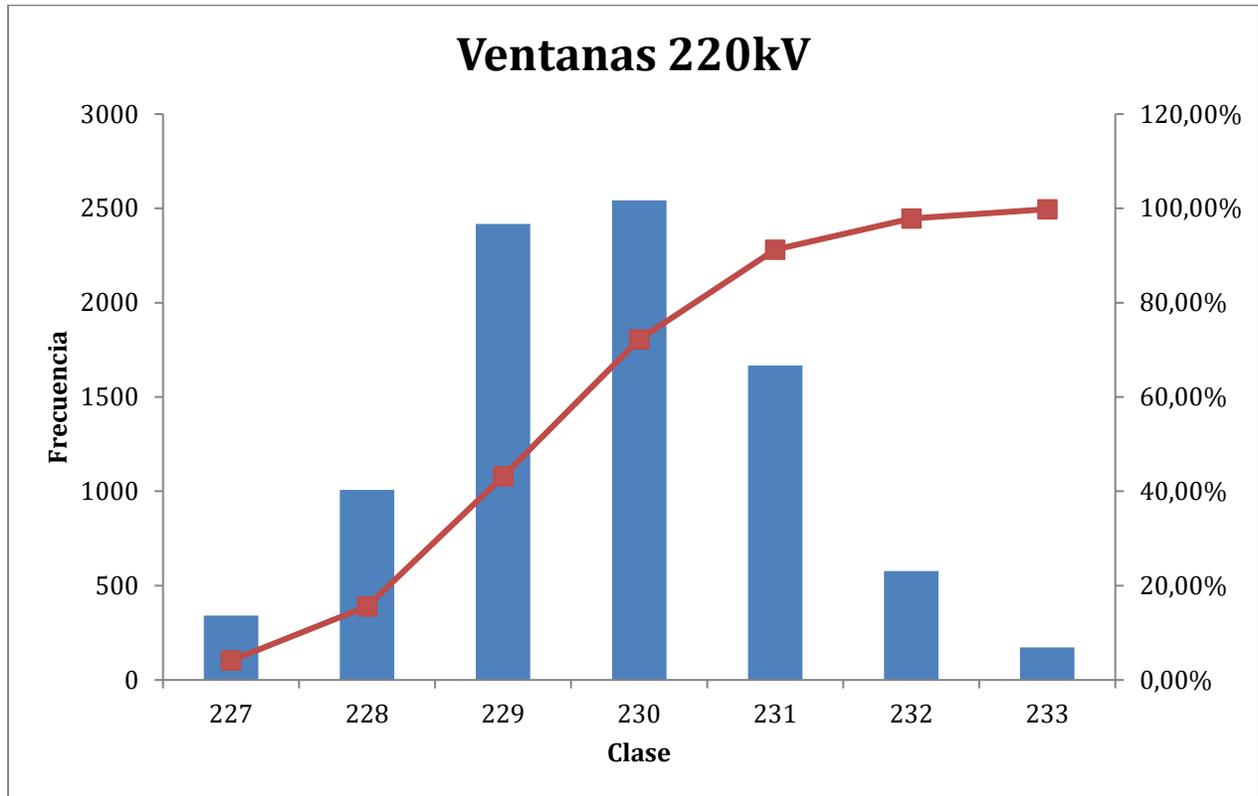


8.2.2 Zona Centro

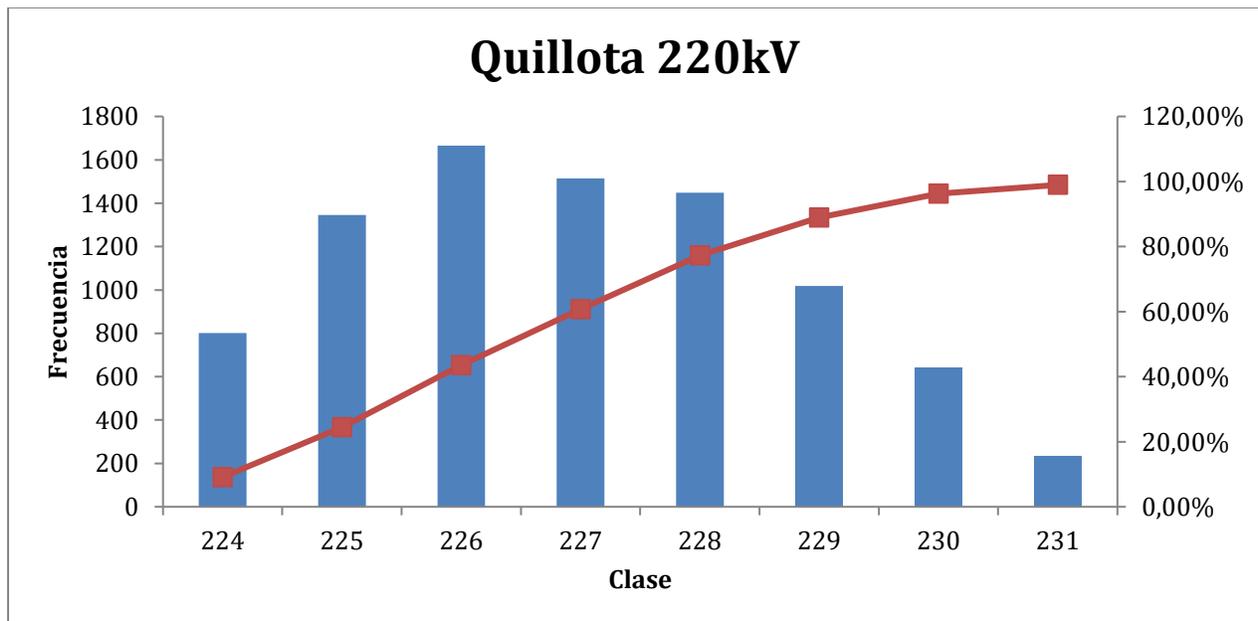
a) Nogales



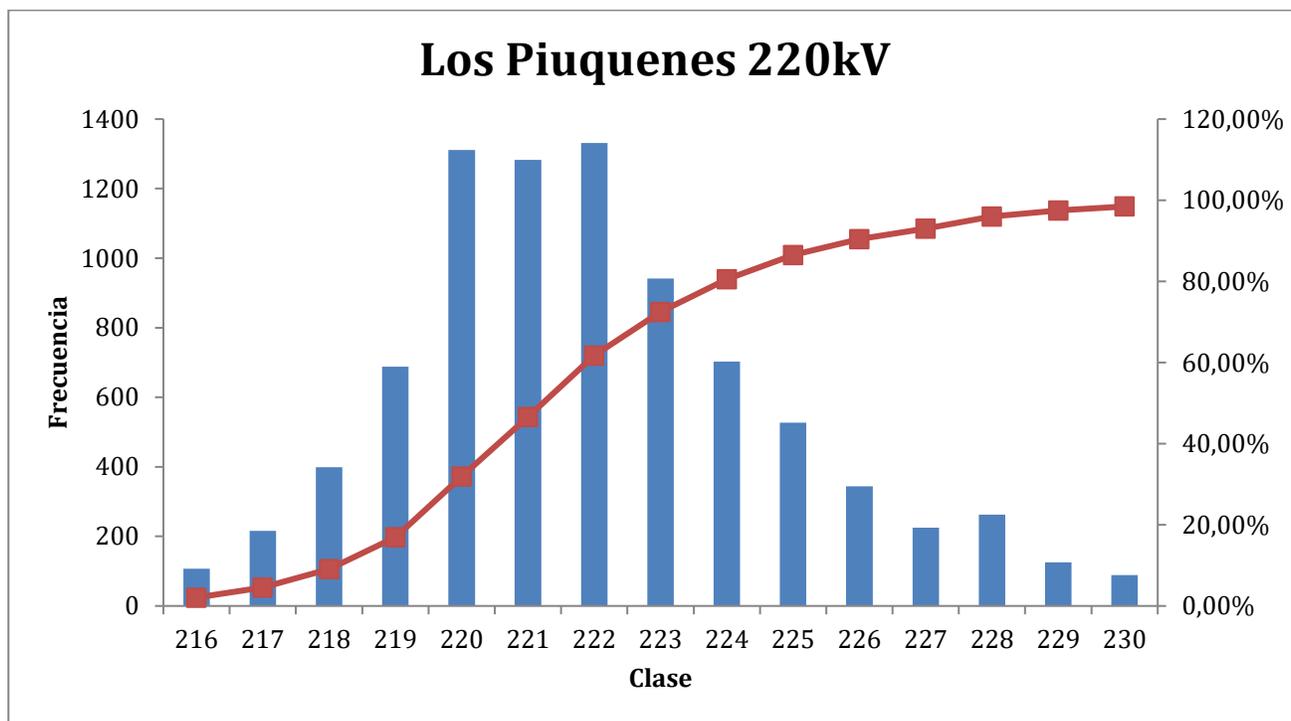
b) Ventanas



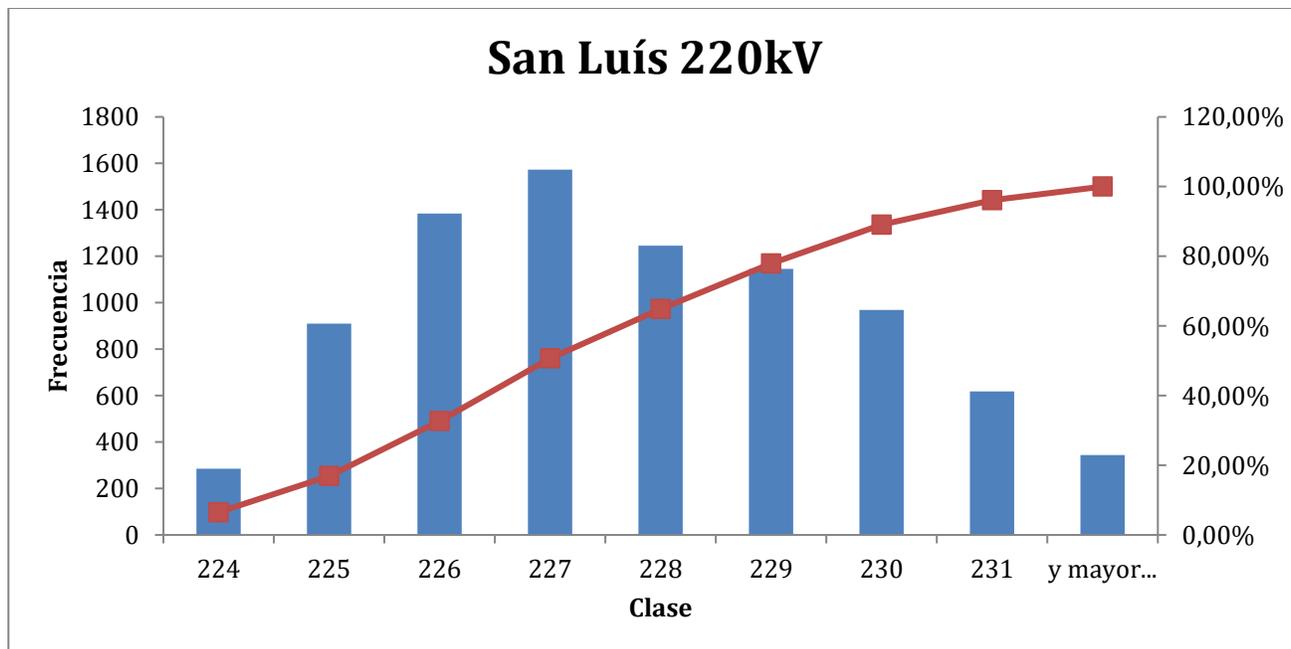
c) Quillota



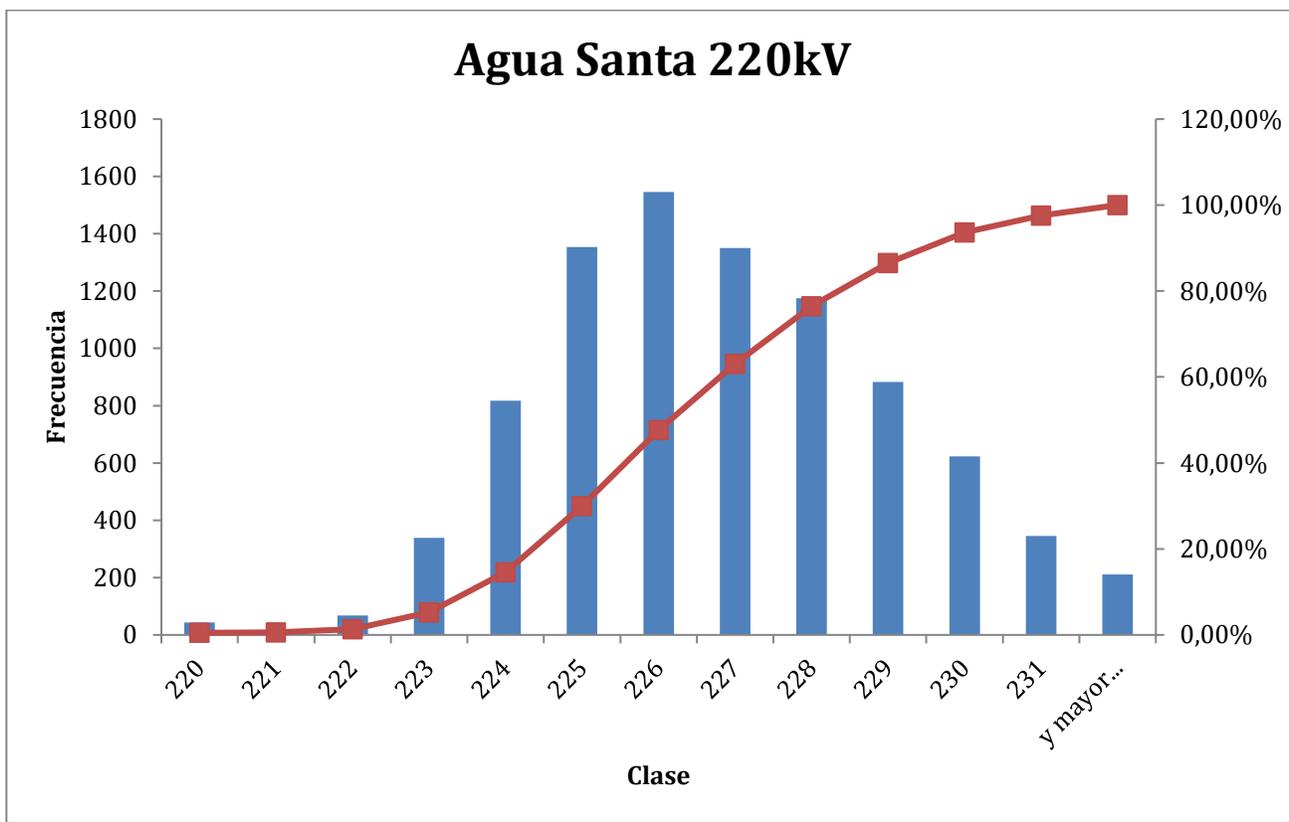
d) **Los Piuquenes**



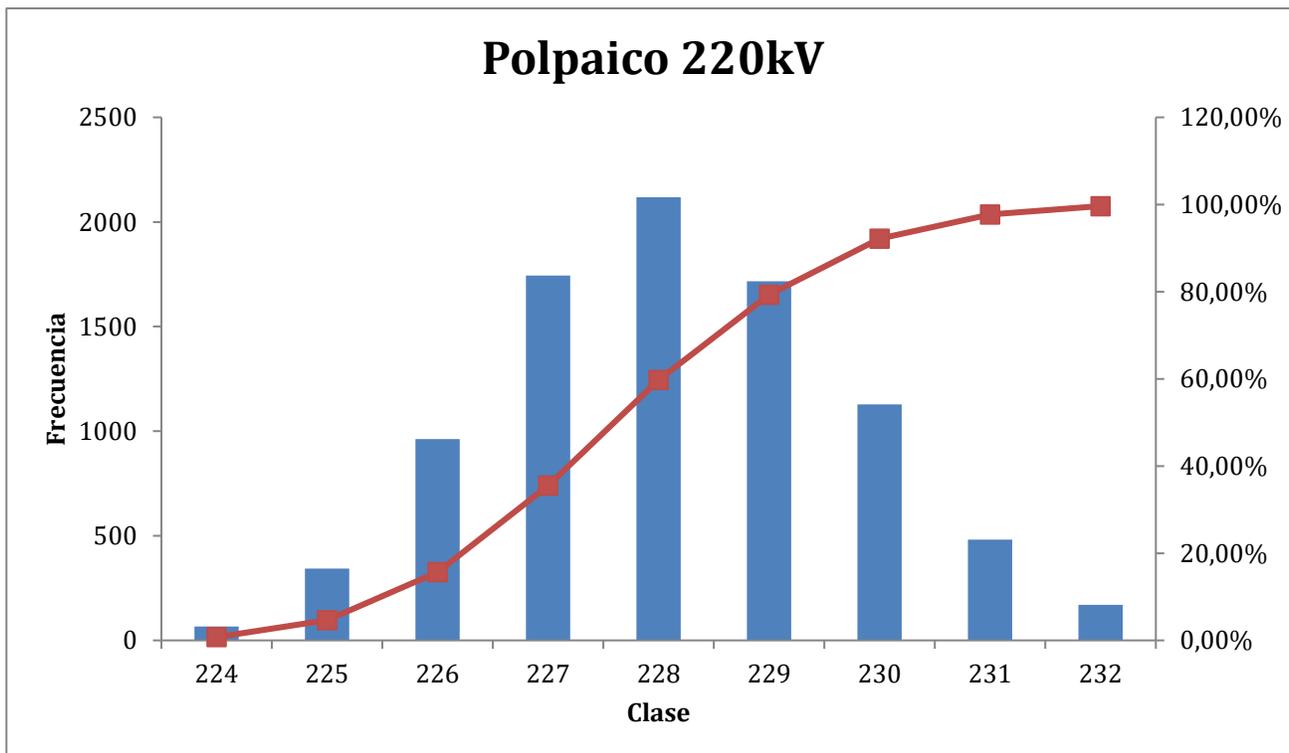
e) **San Luís**



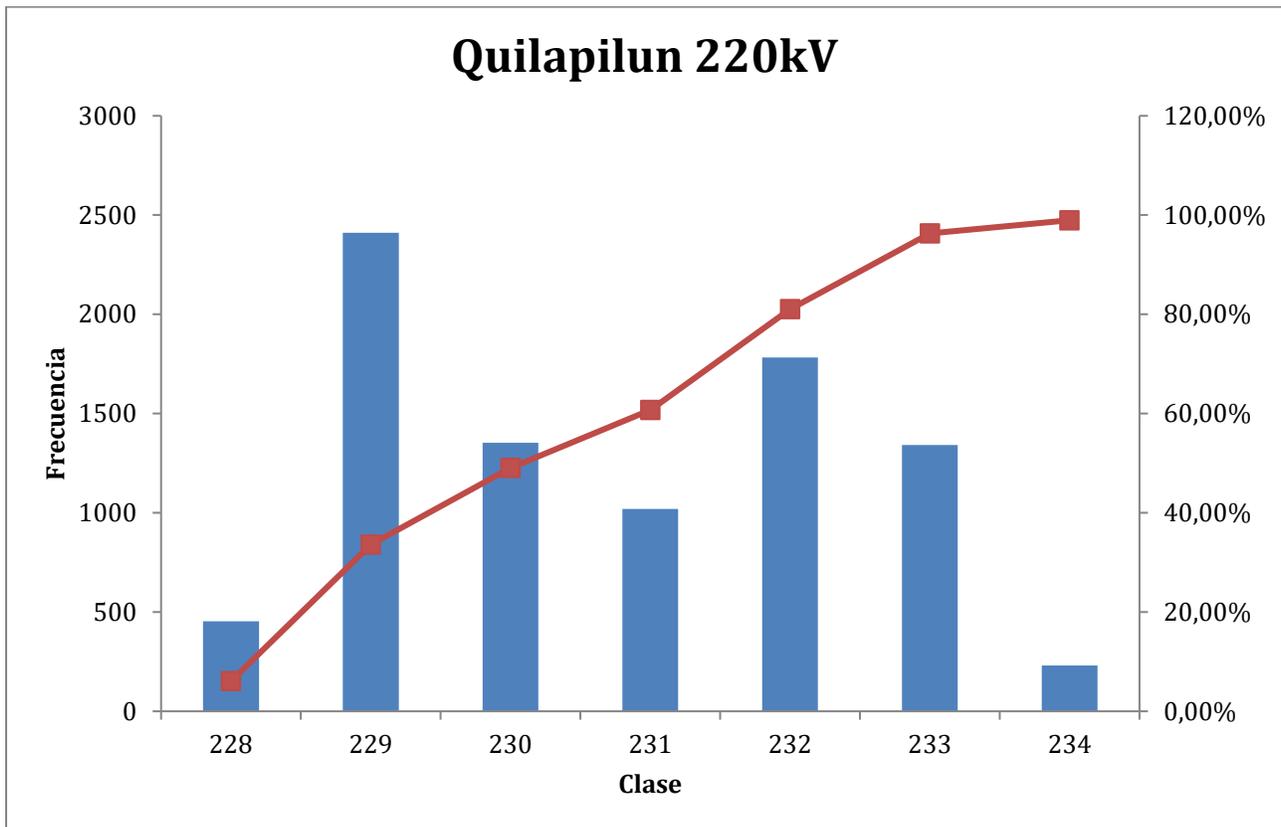
f) Agua Santa



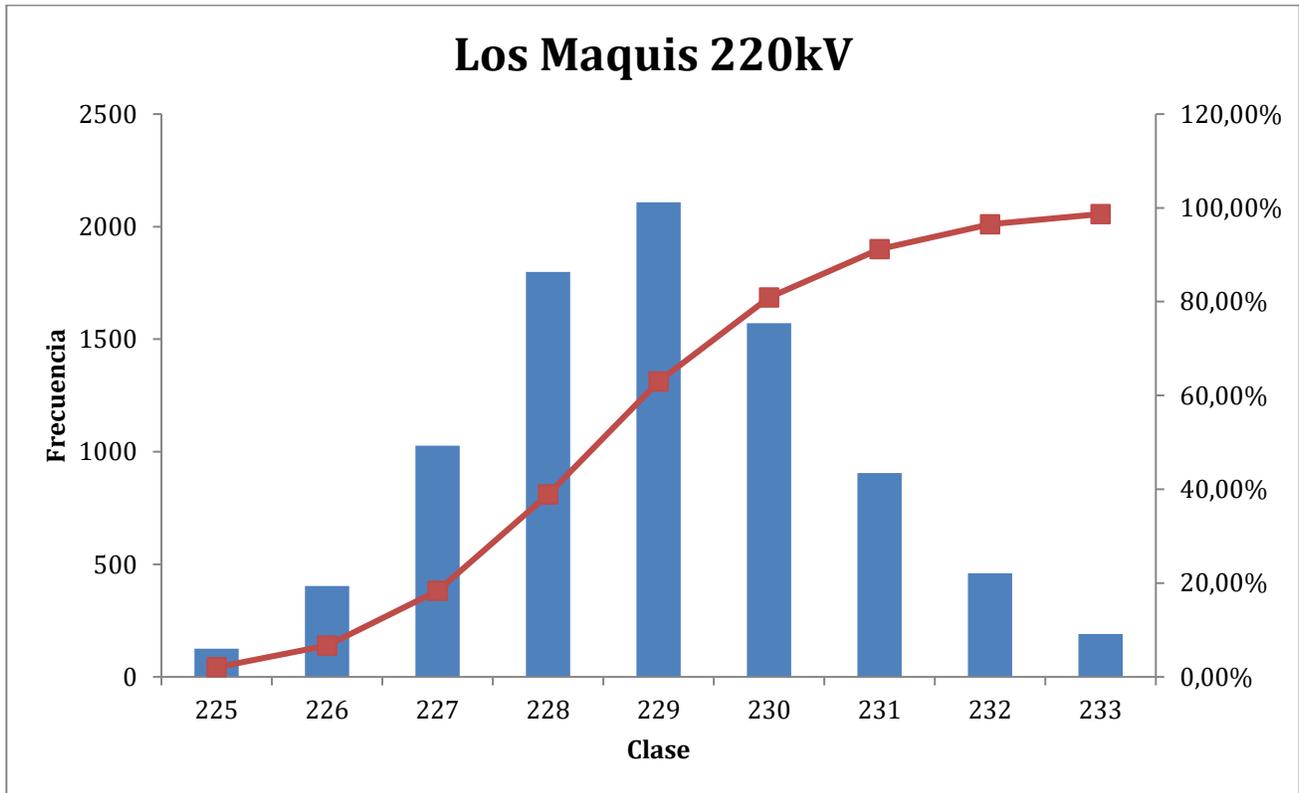
g) Polpaico



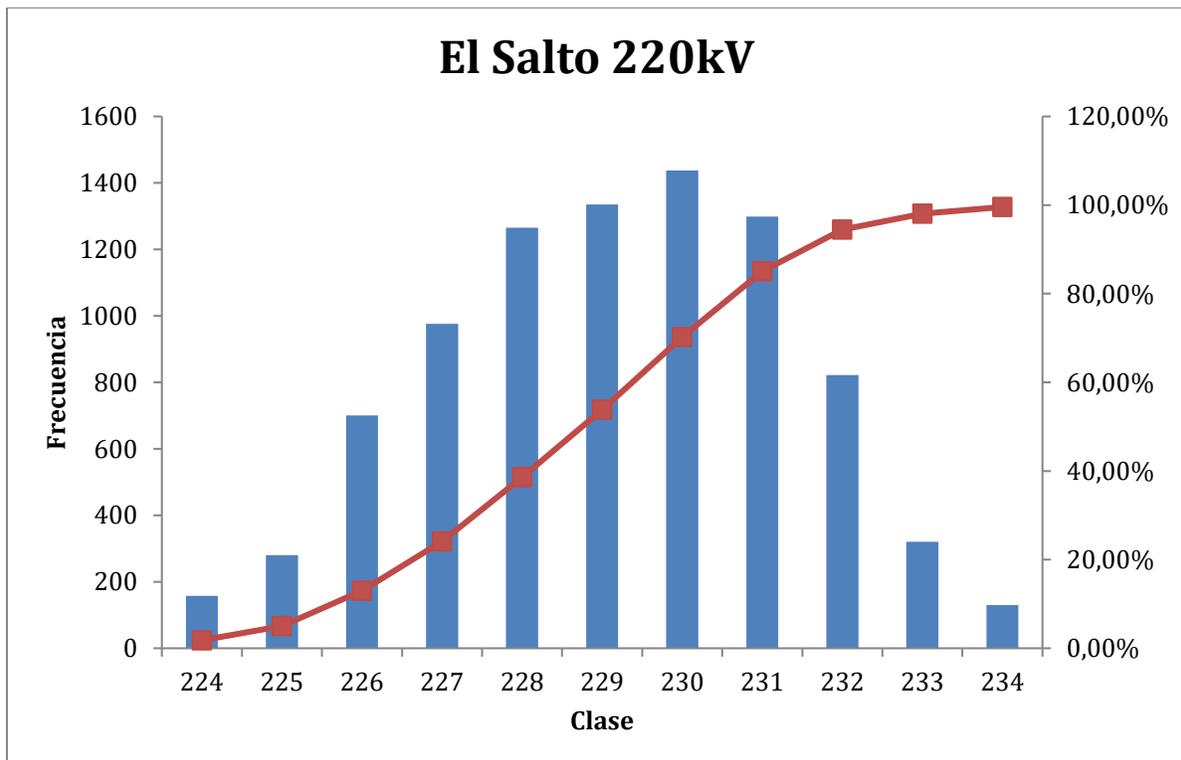
h) Quilapilún



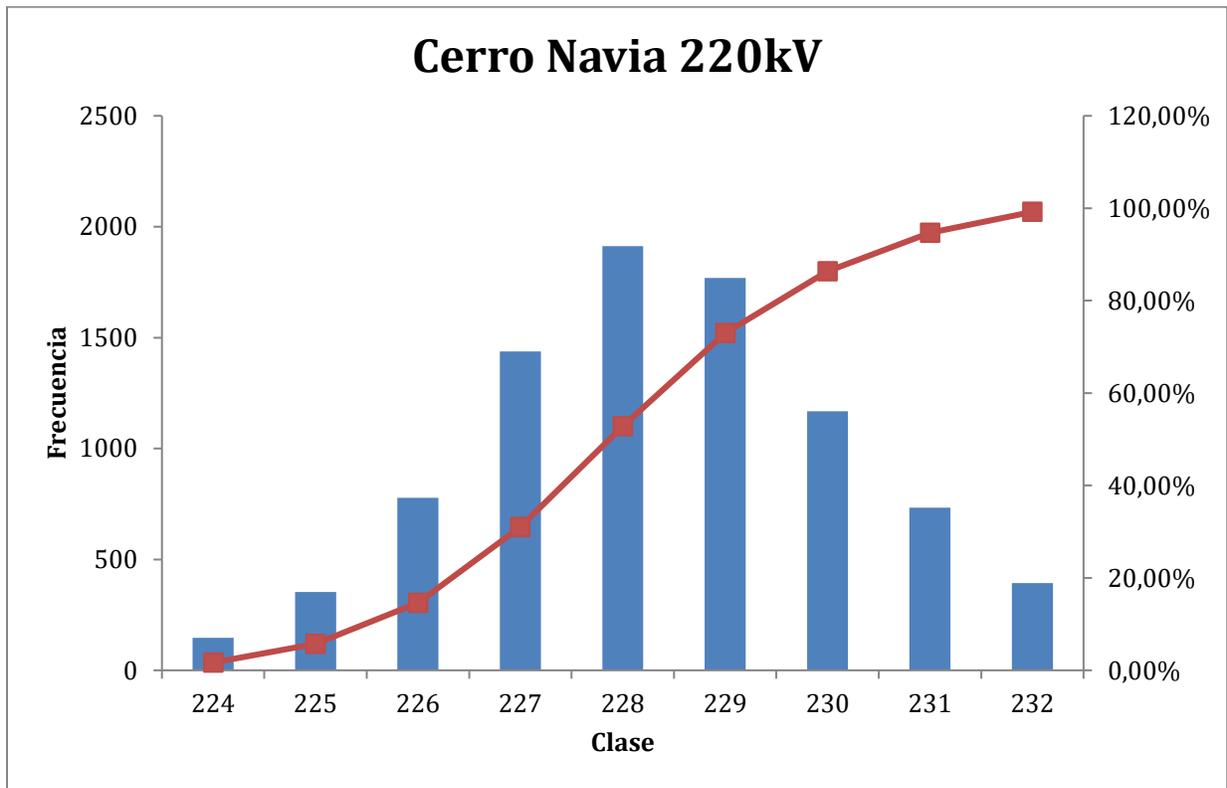
i) Los Maquis



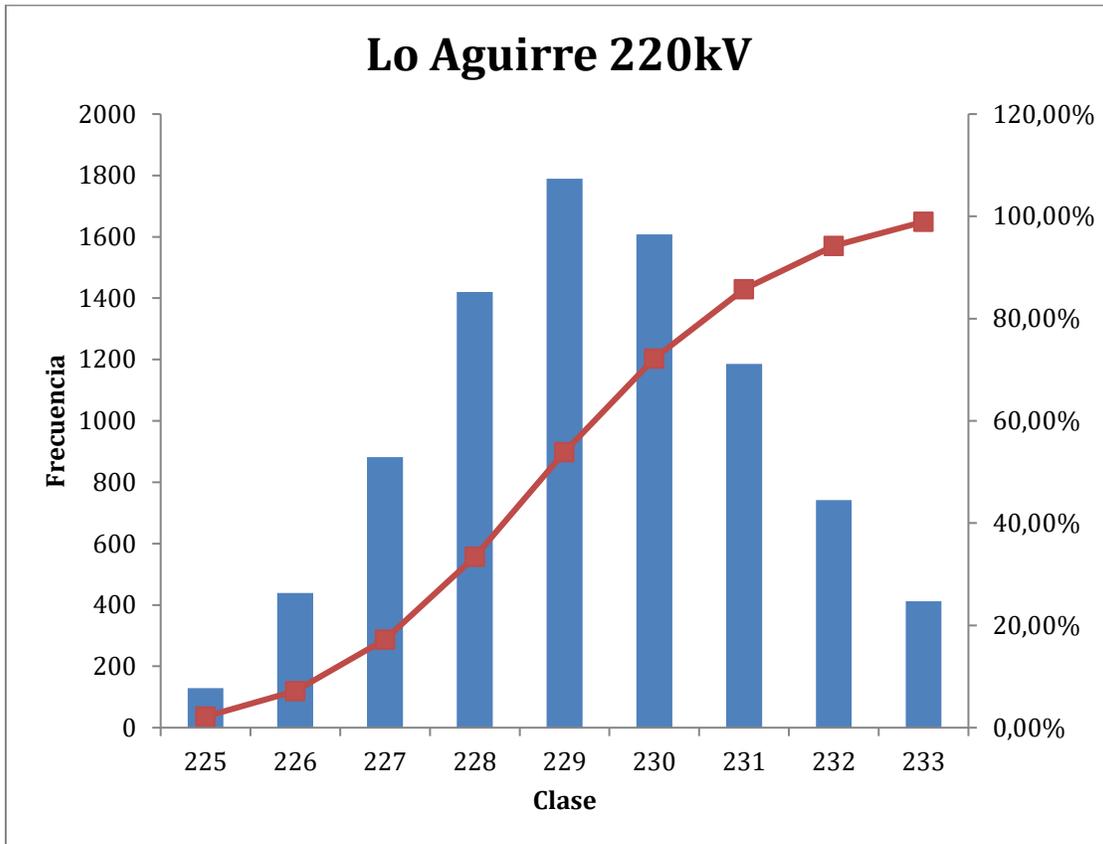
j) El Salto



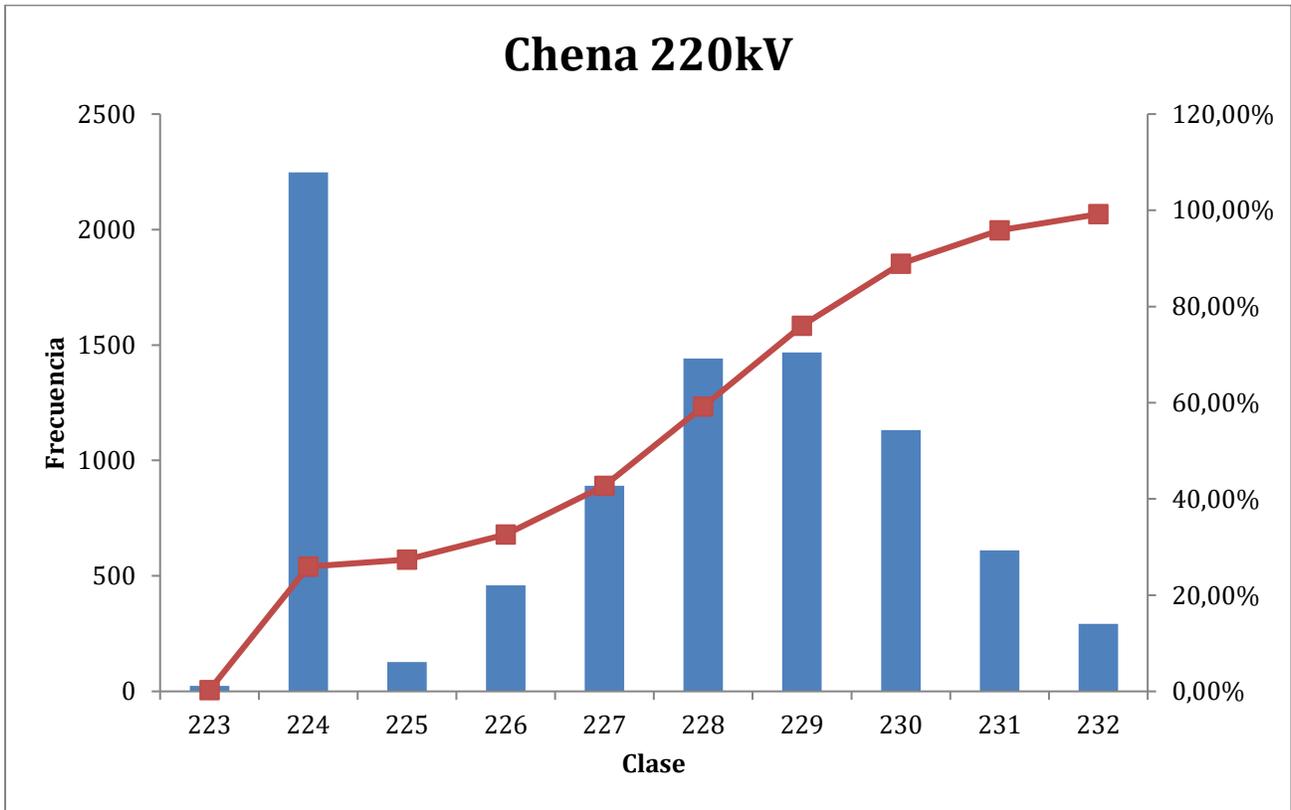
k) **Cerro Navia**



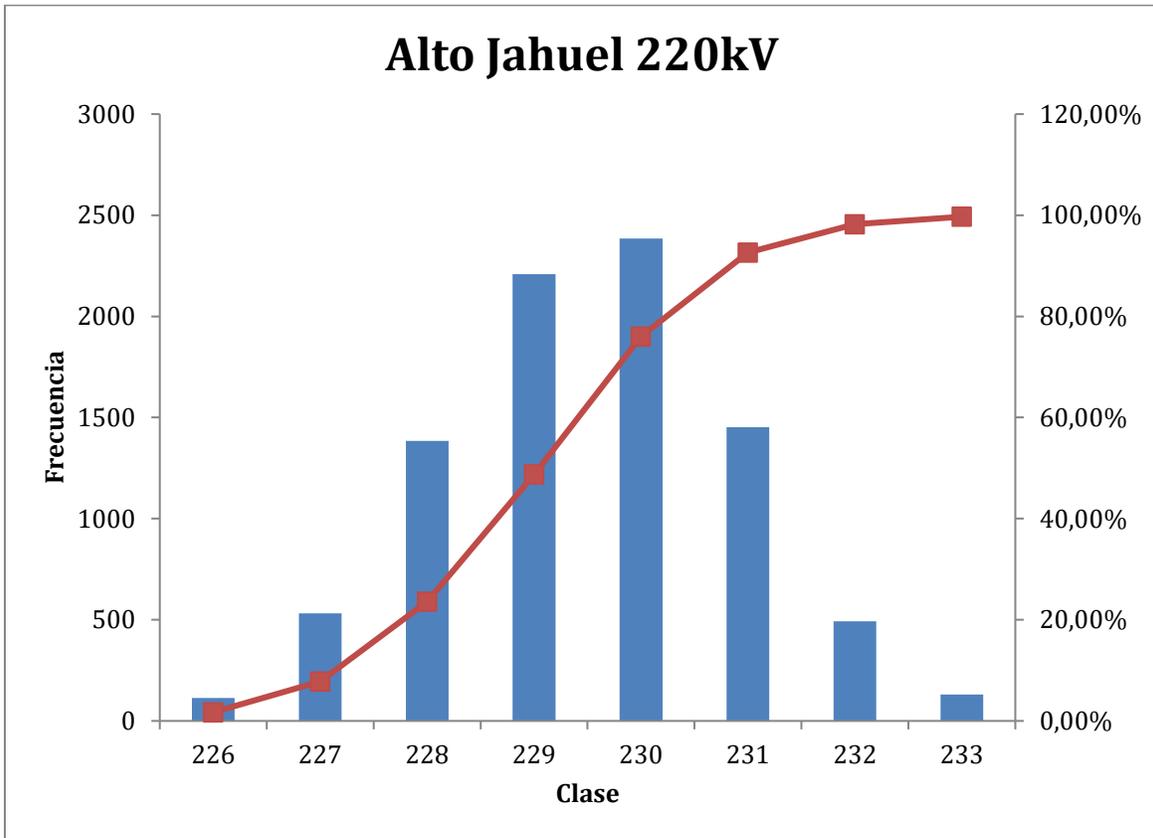
I) **Lo Aguirre**



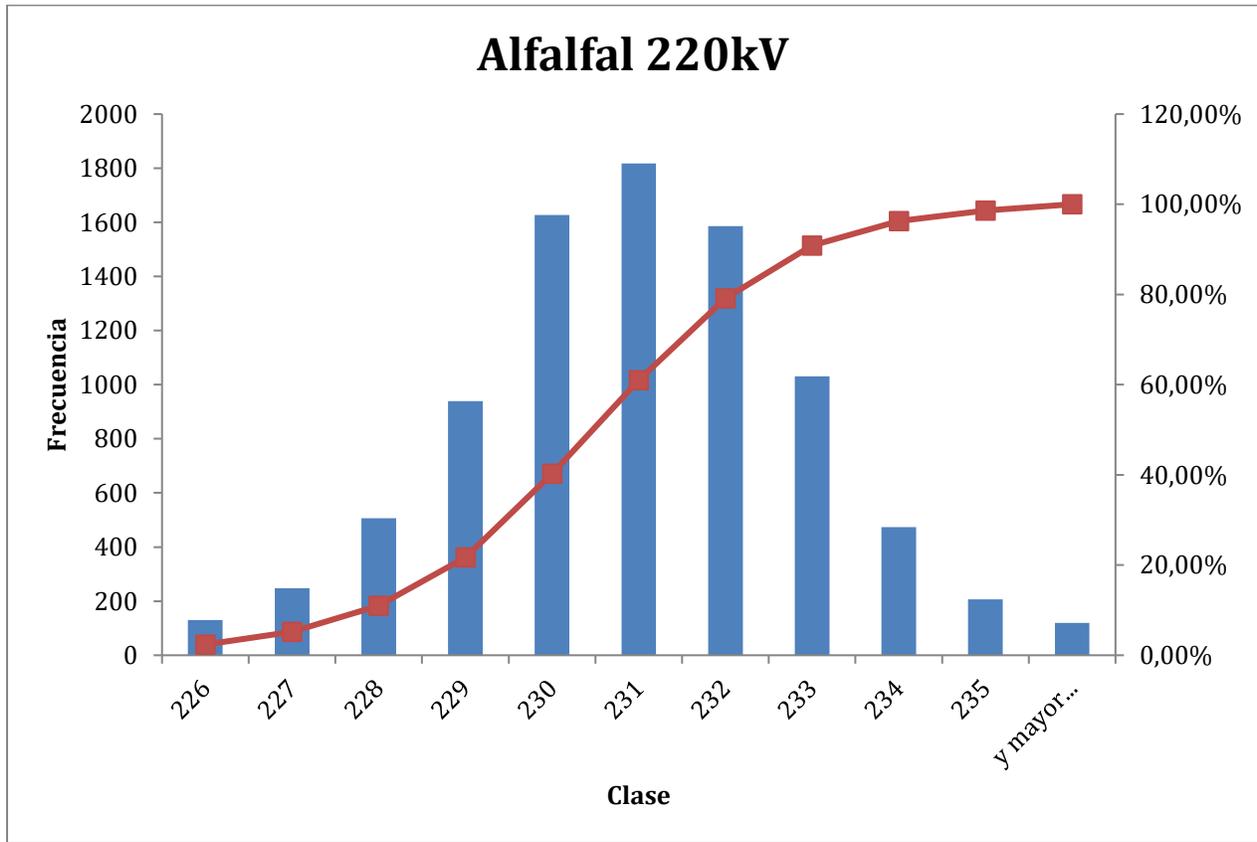
m) Chena



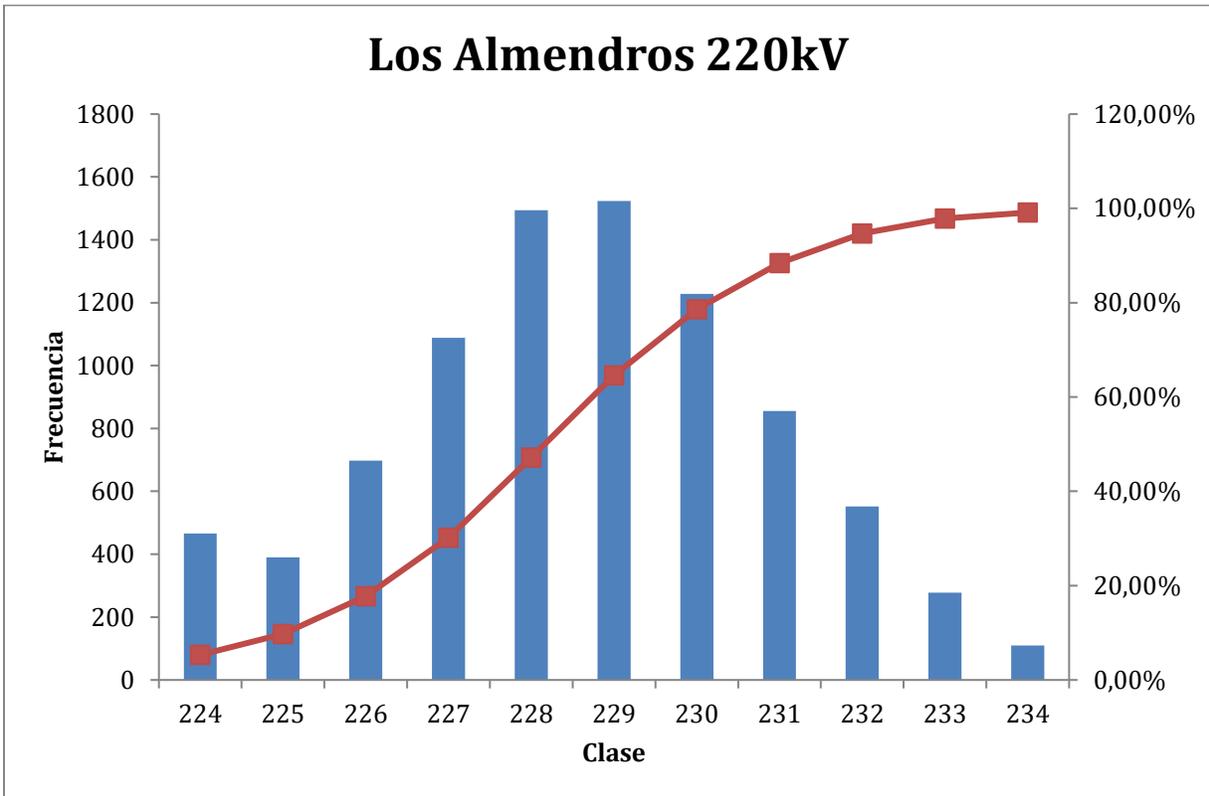
n) **Alto Jahuel**



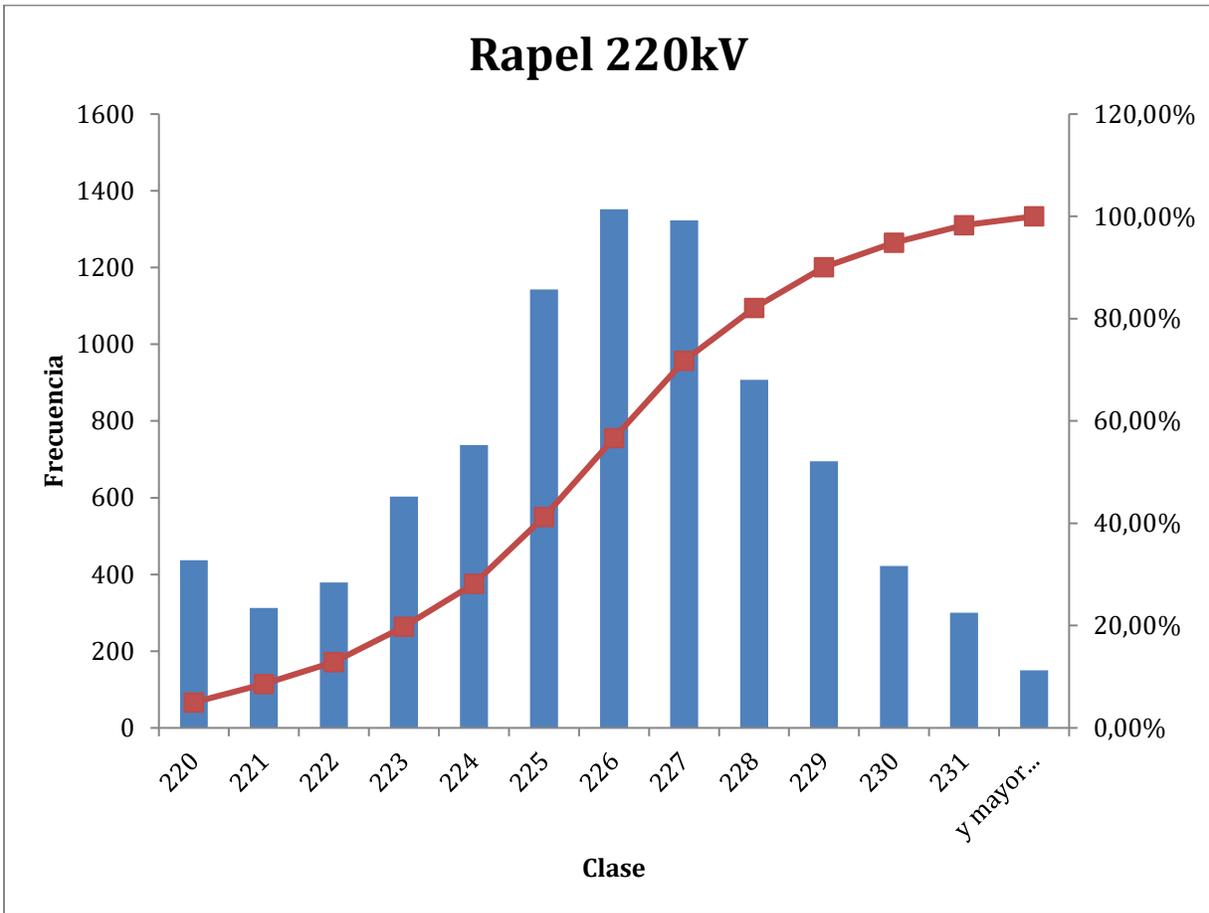
o) Alfalfal



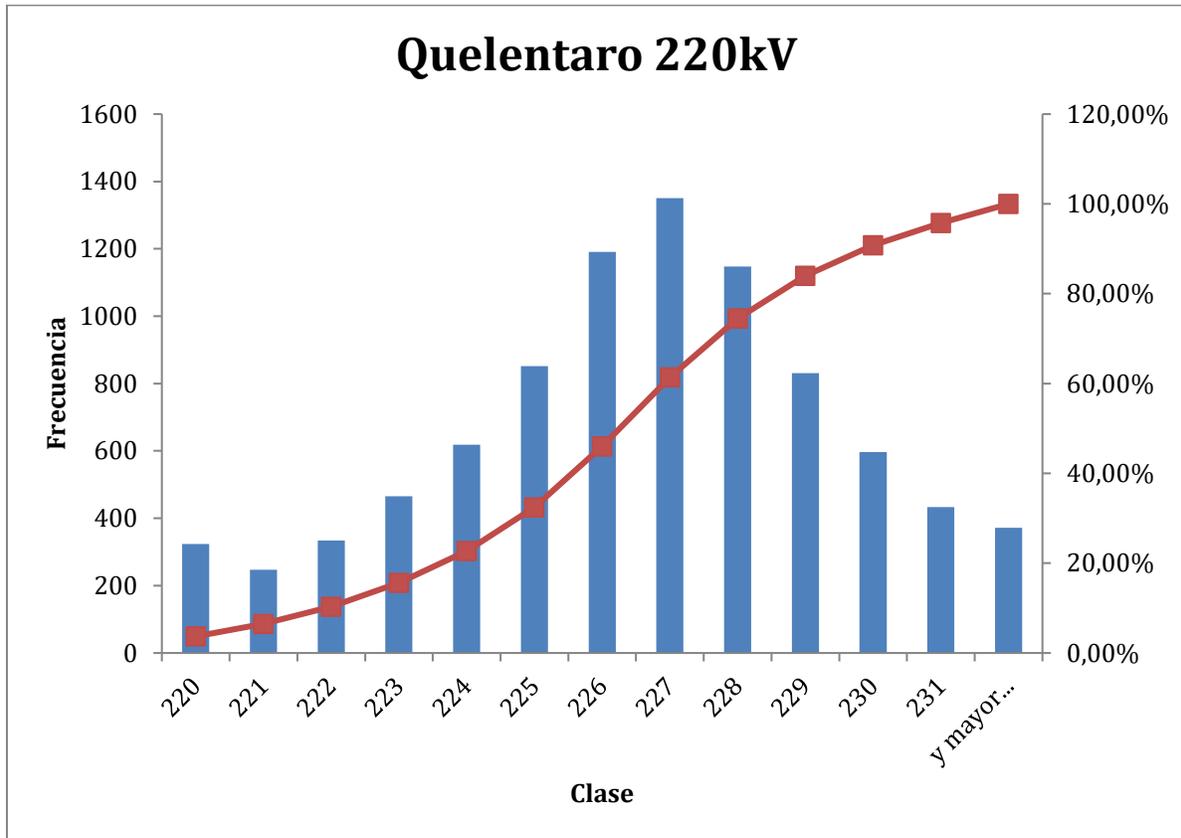
p) Los Almendros



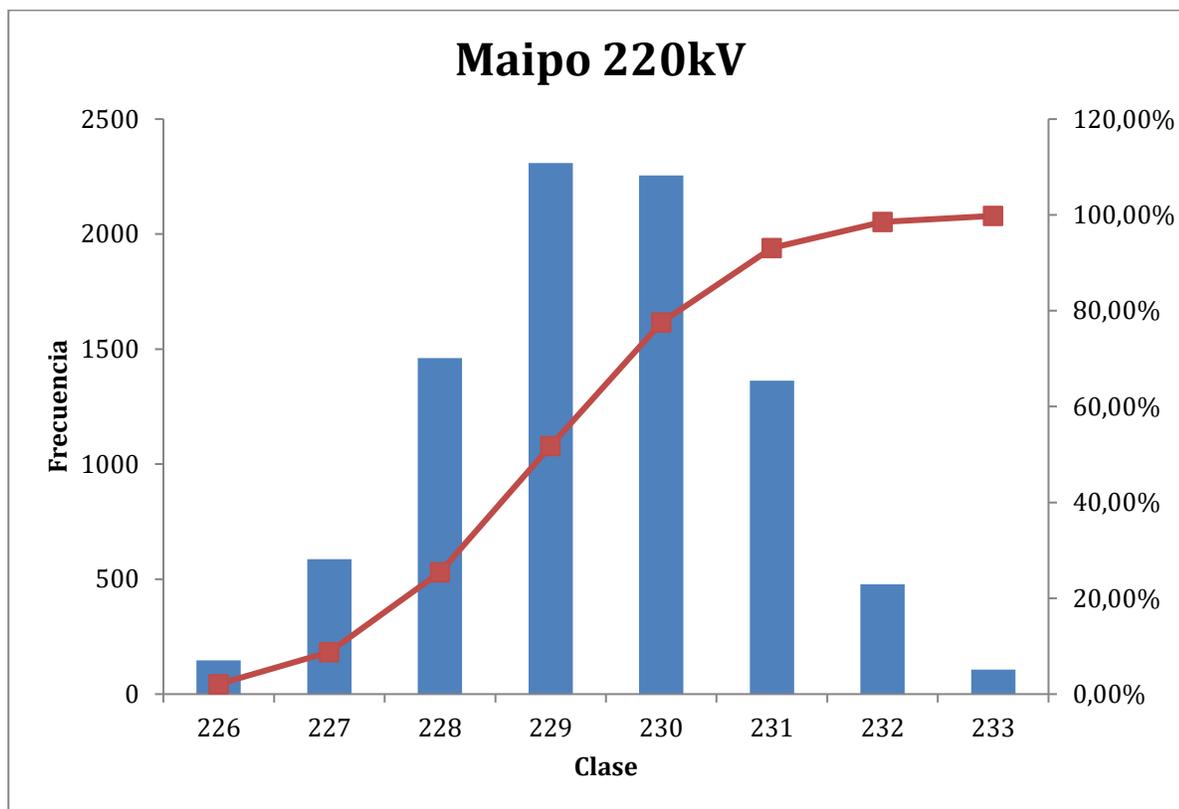
q) **Rapel**



r) **Quelentaro**

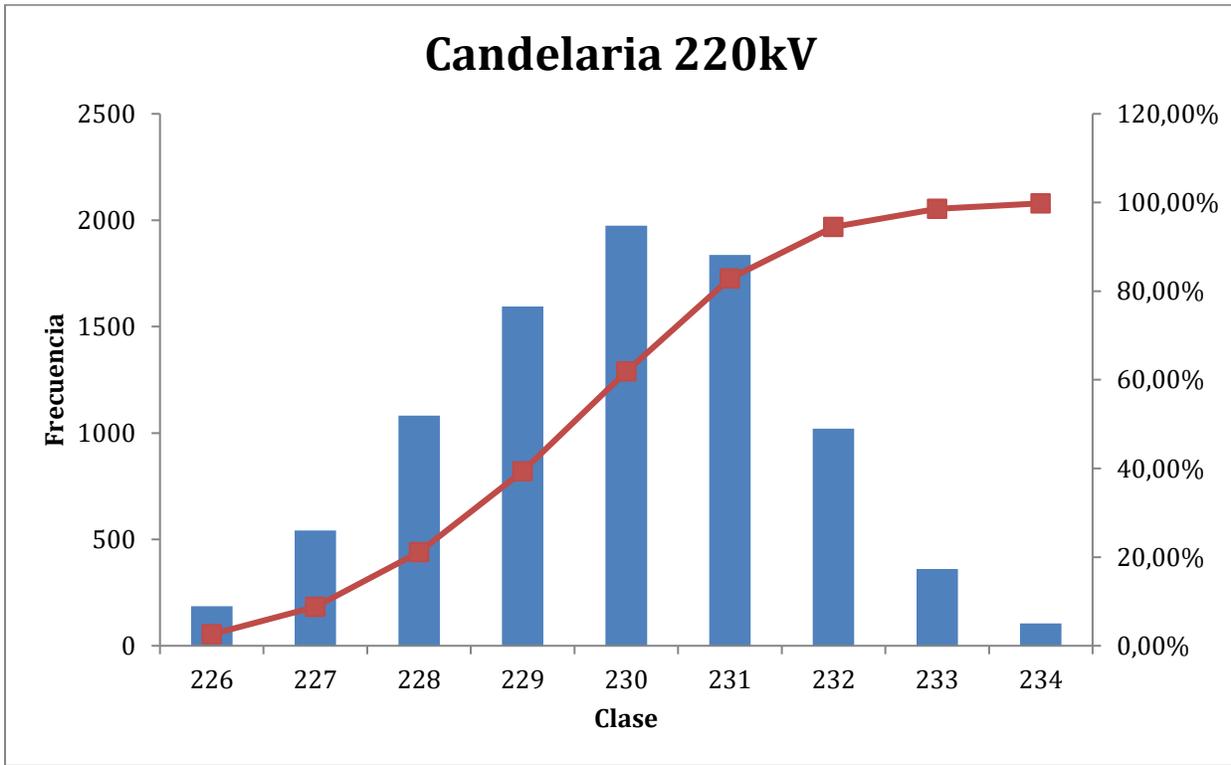


s) **Maipo**

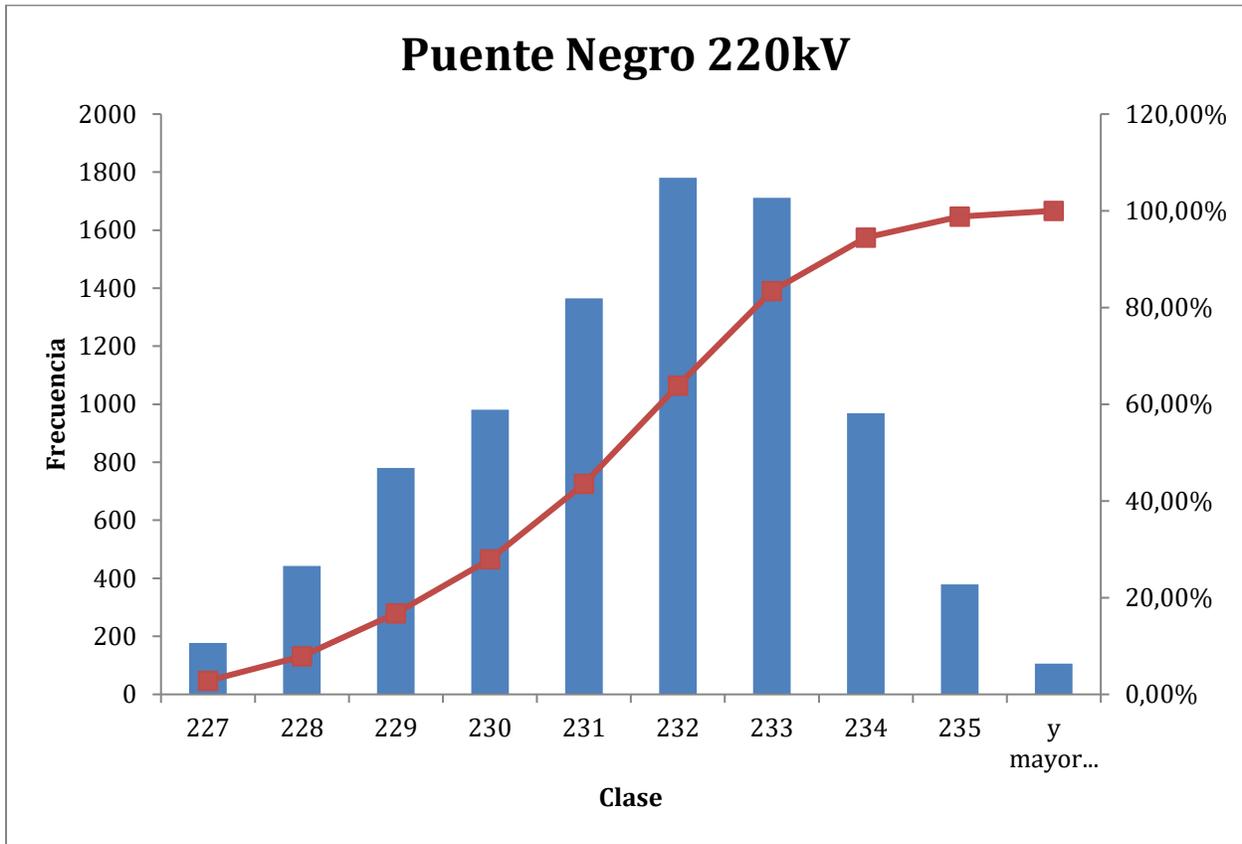


8.2.3 Zona Sur

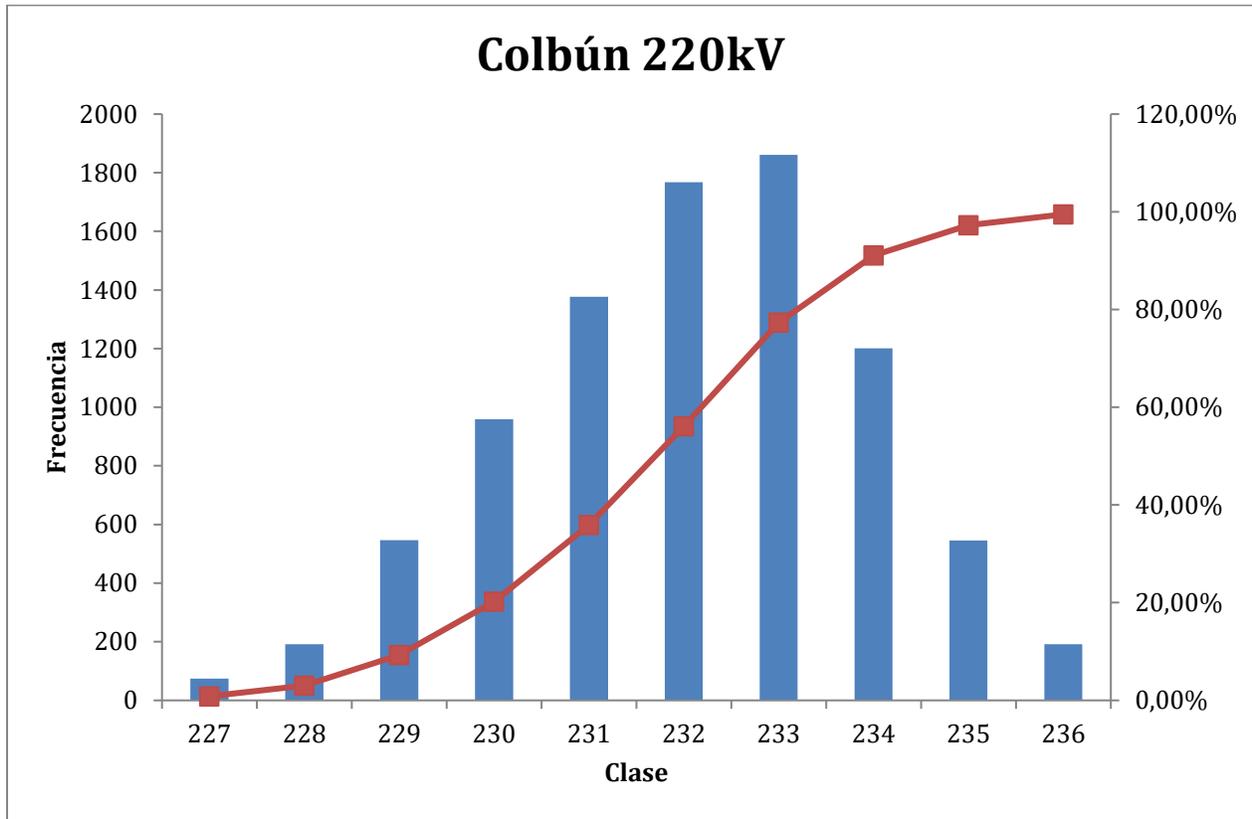
a) Candelaria



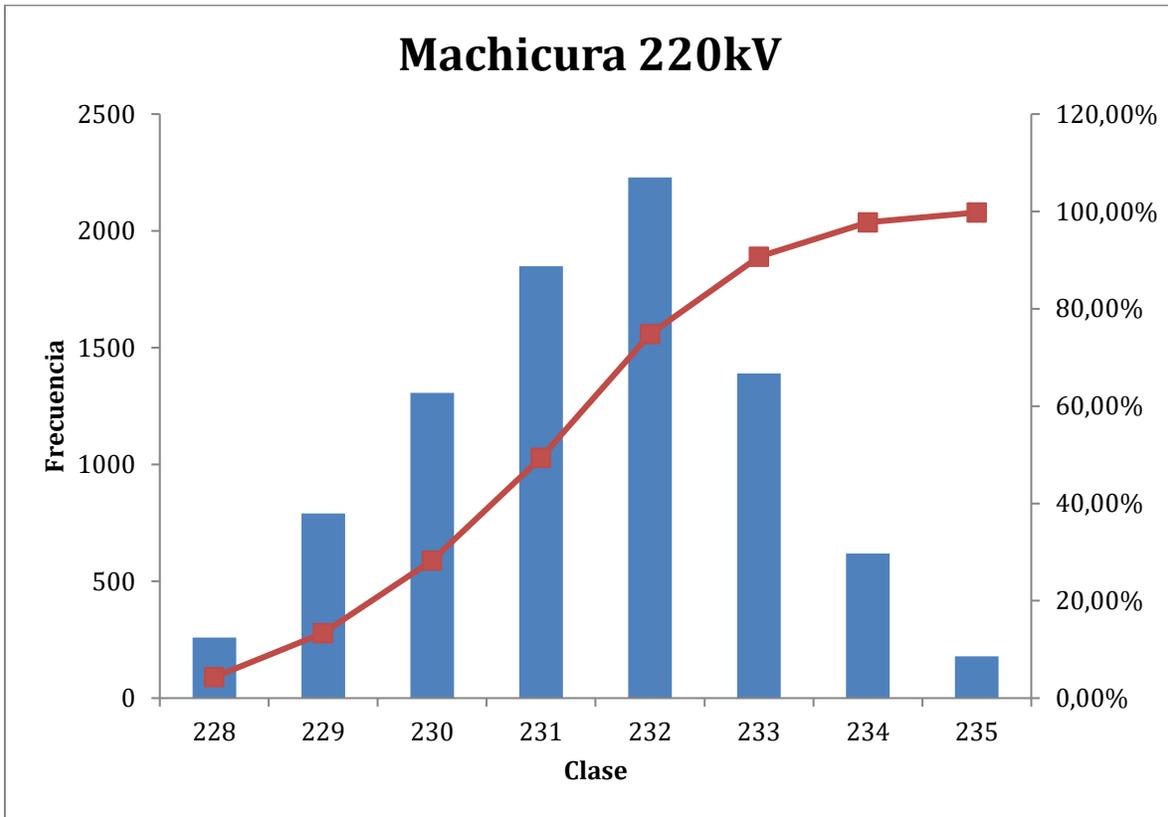
b) **Puente Negro**



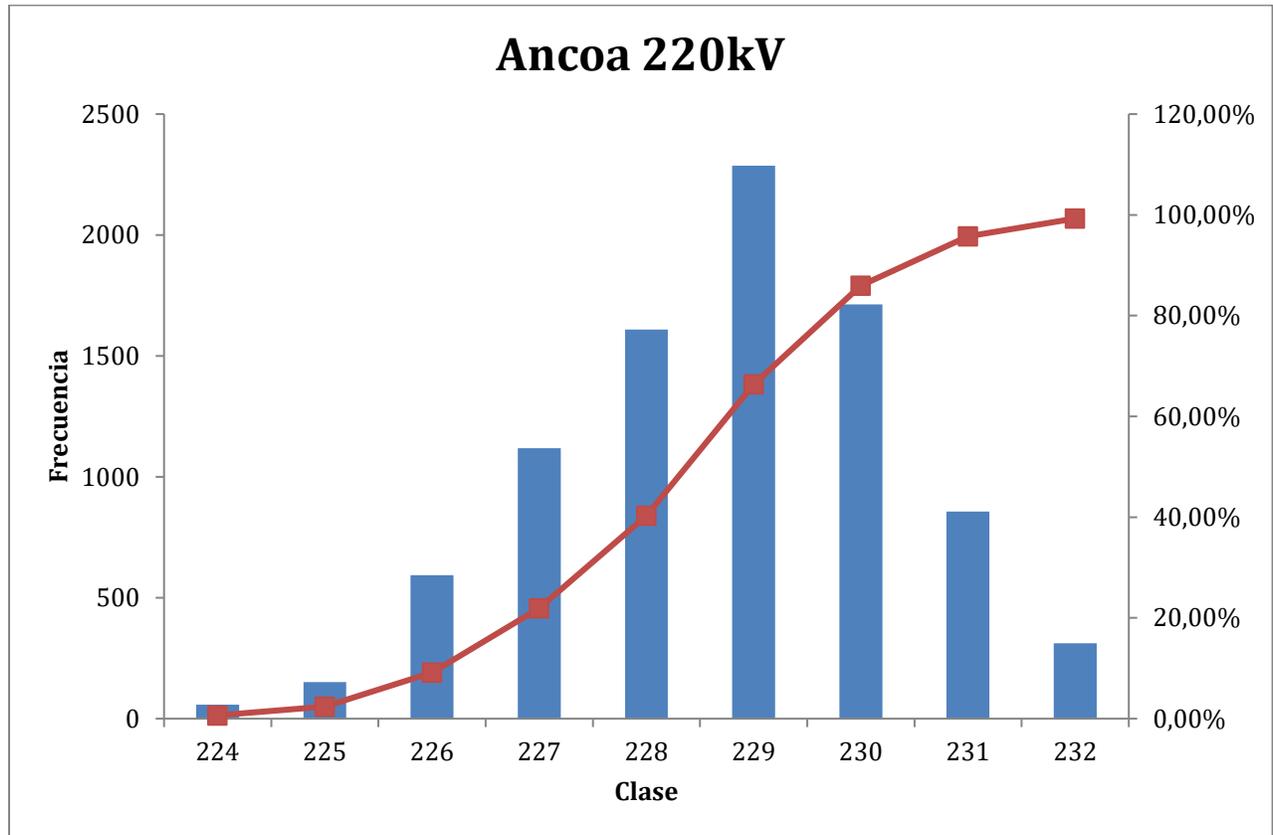
c) **Colbún**



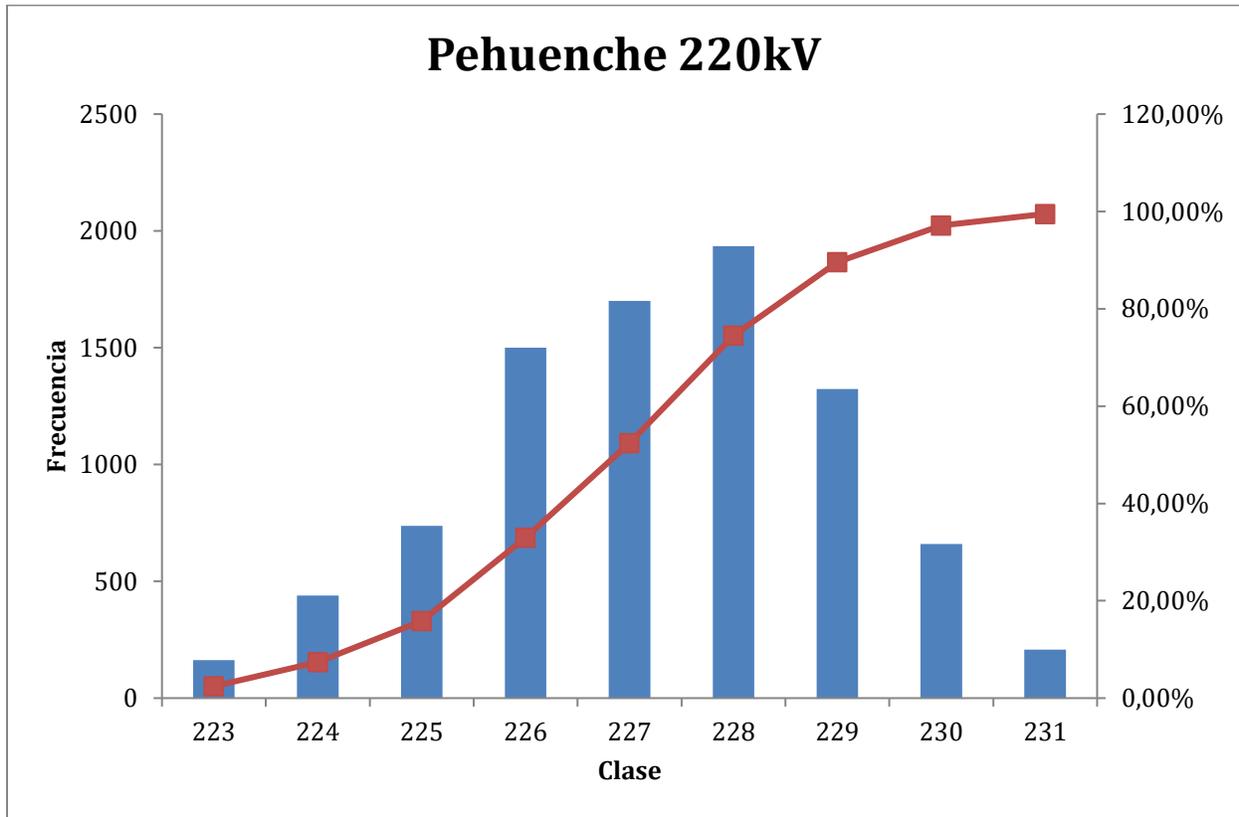
d) **Machicura**



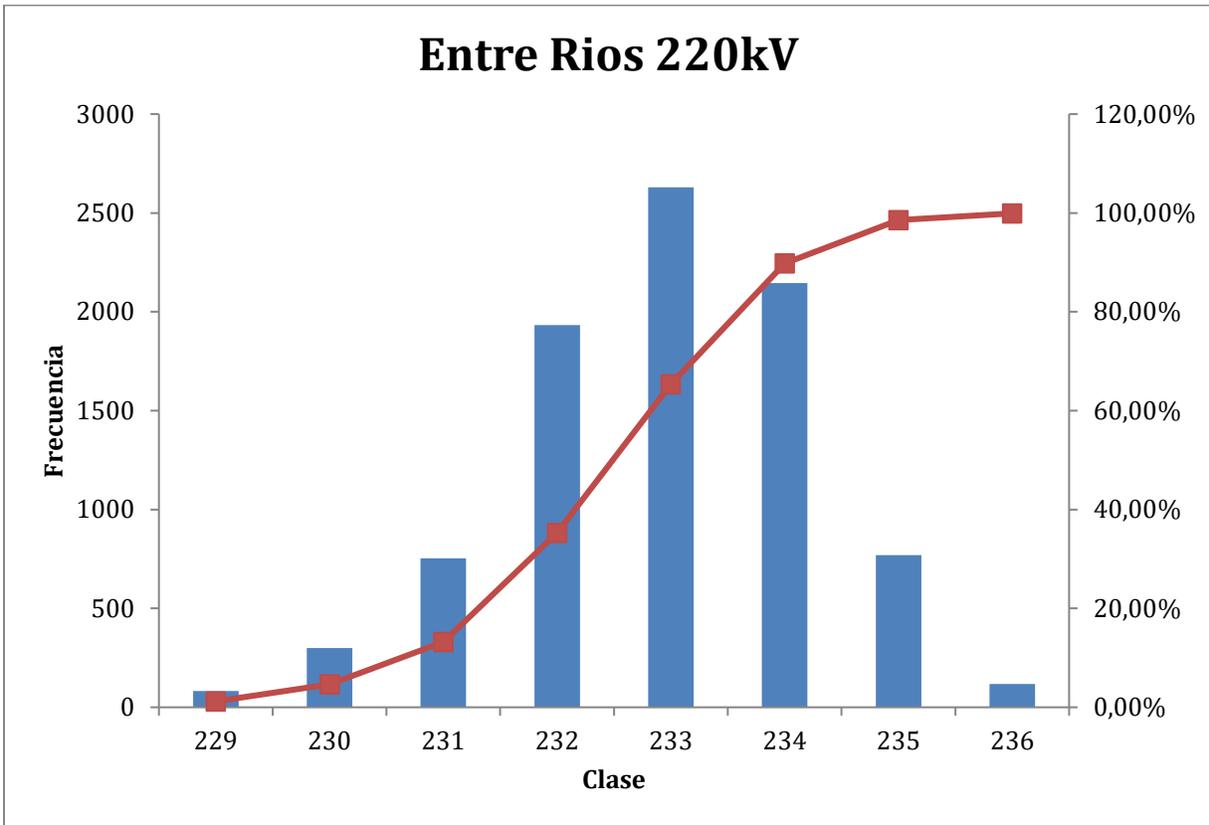
e) **Ancoa**



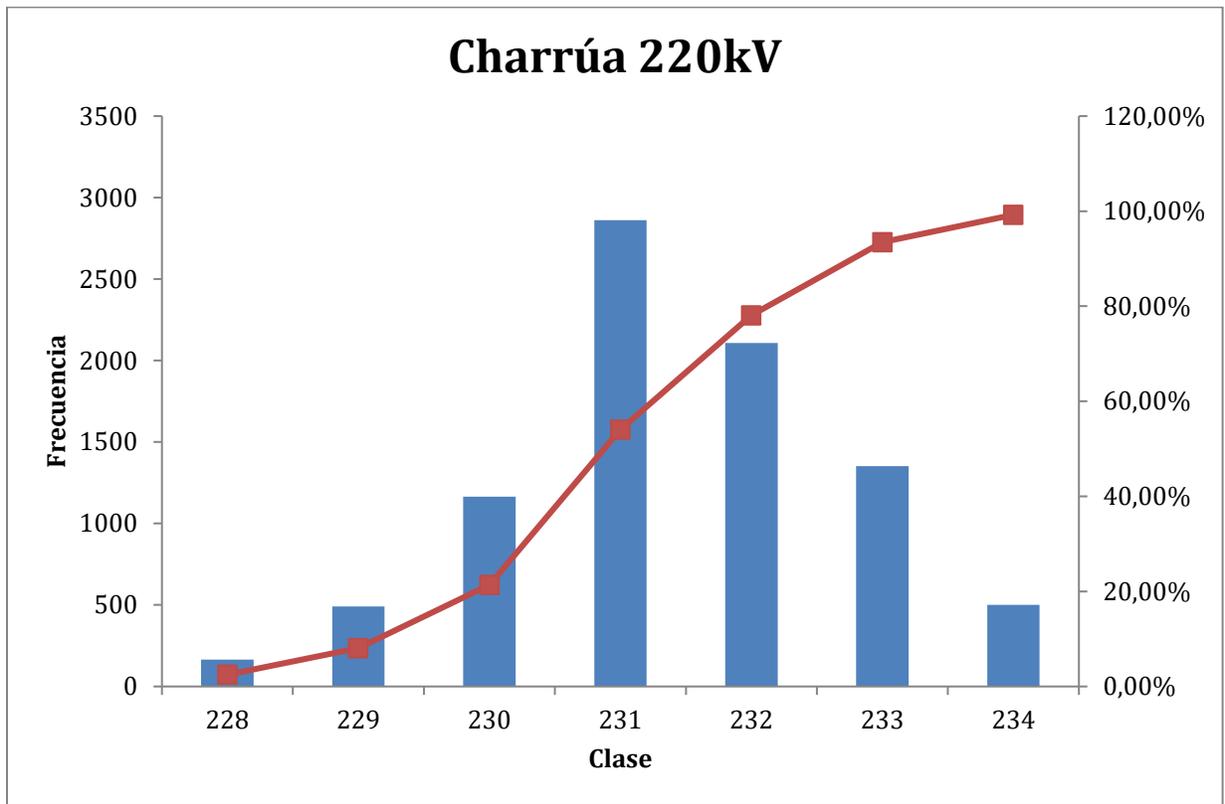
f) **Pehuénche**



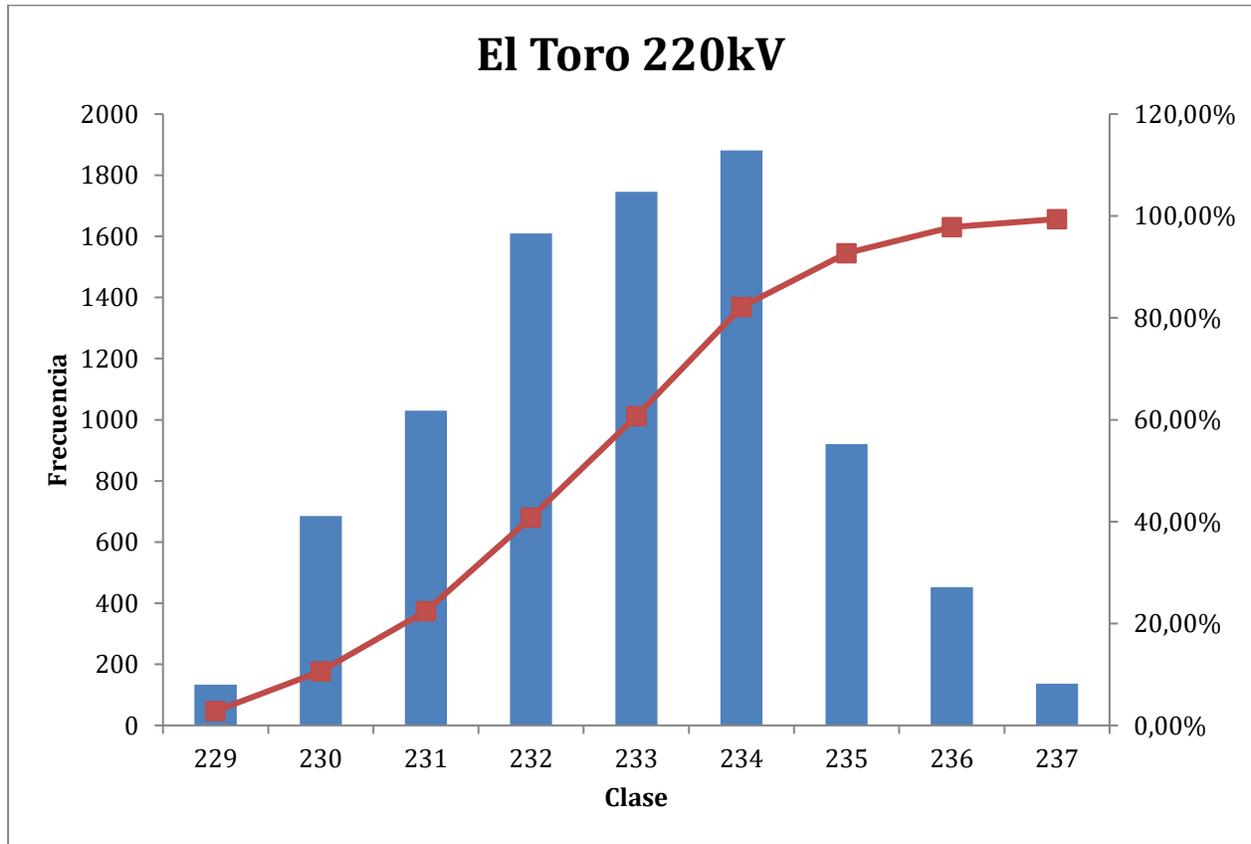
g) Entre Ríos



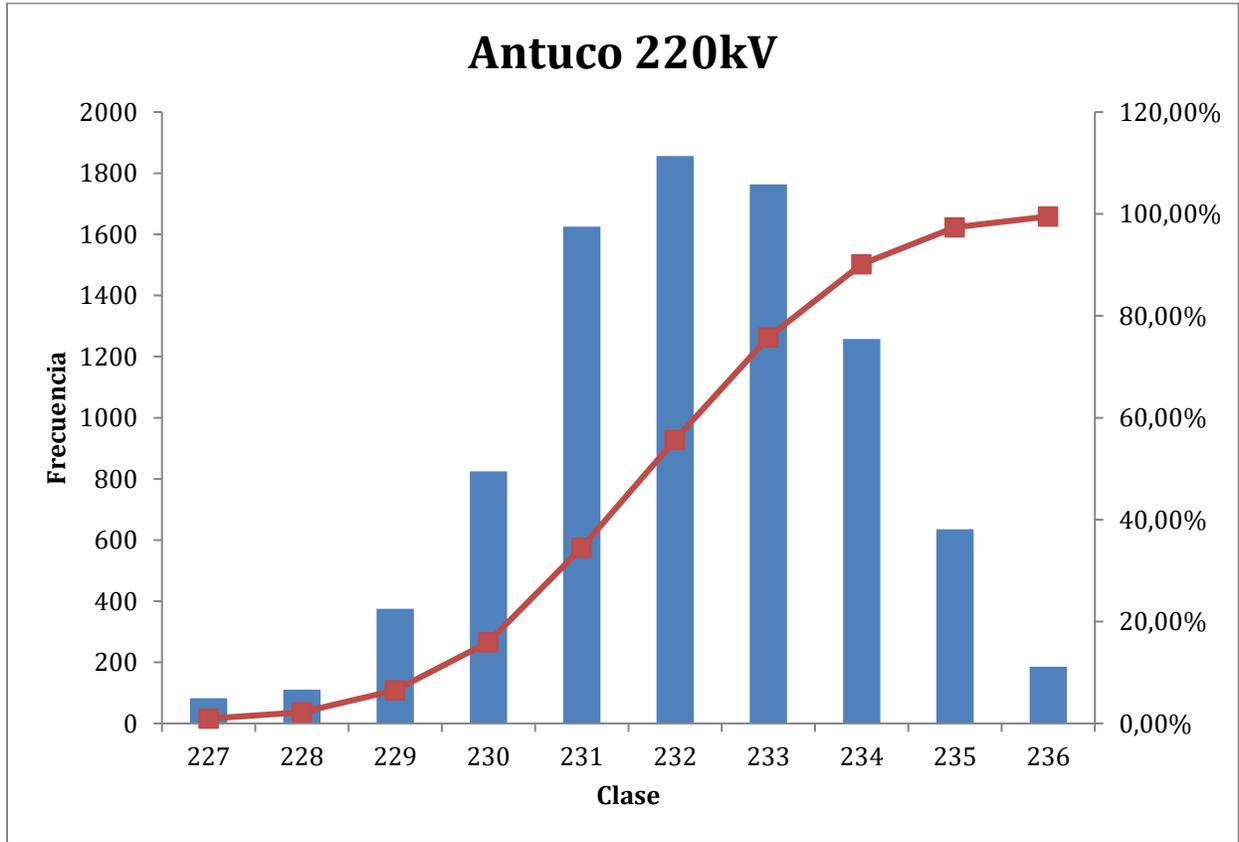
h) Charrúa



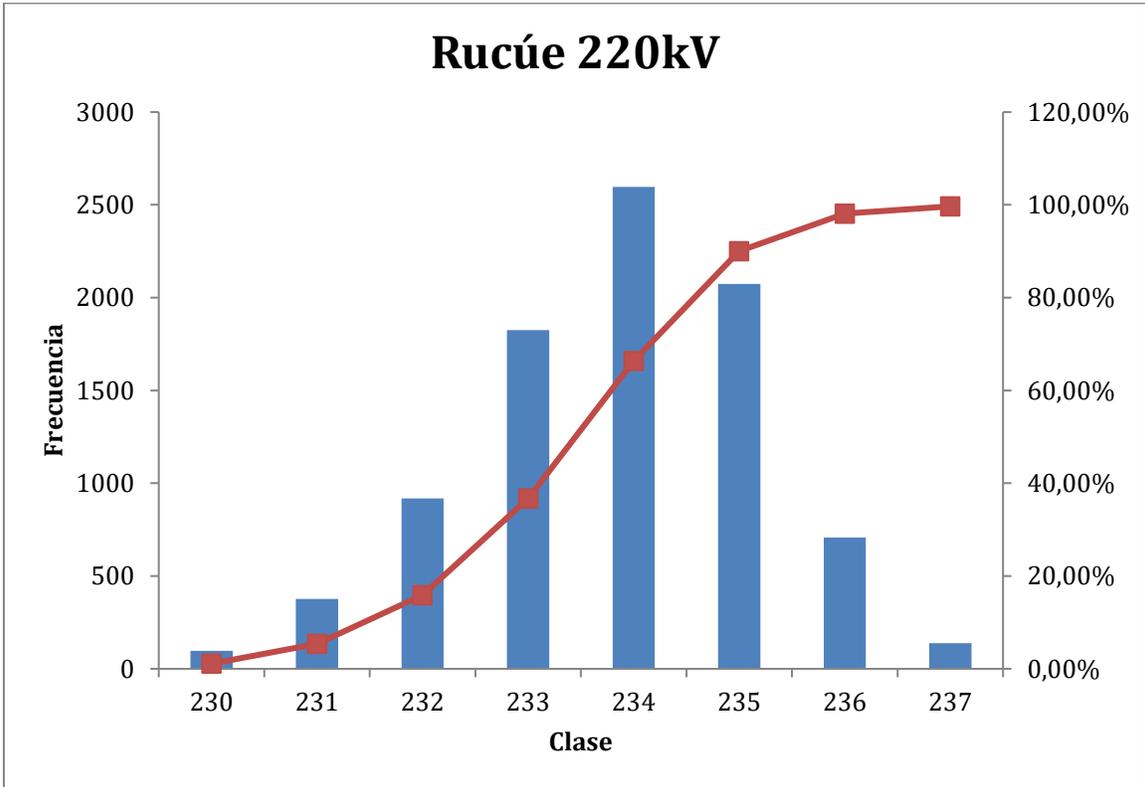
i) **El Toro**



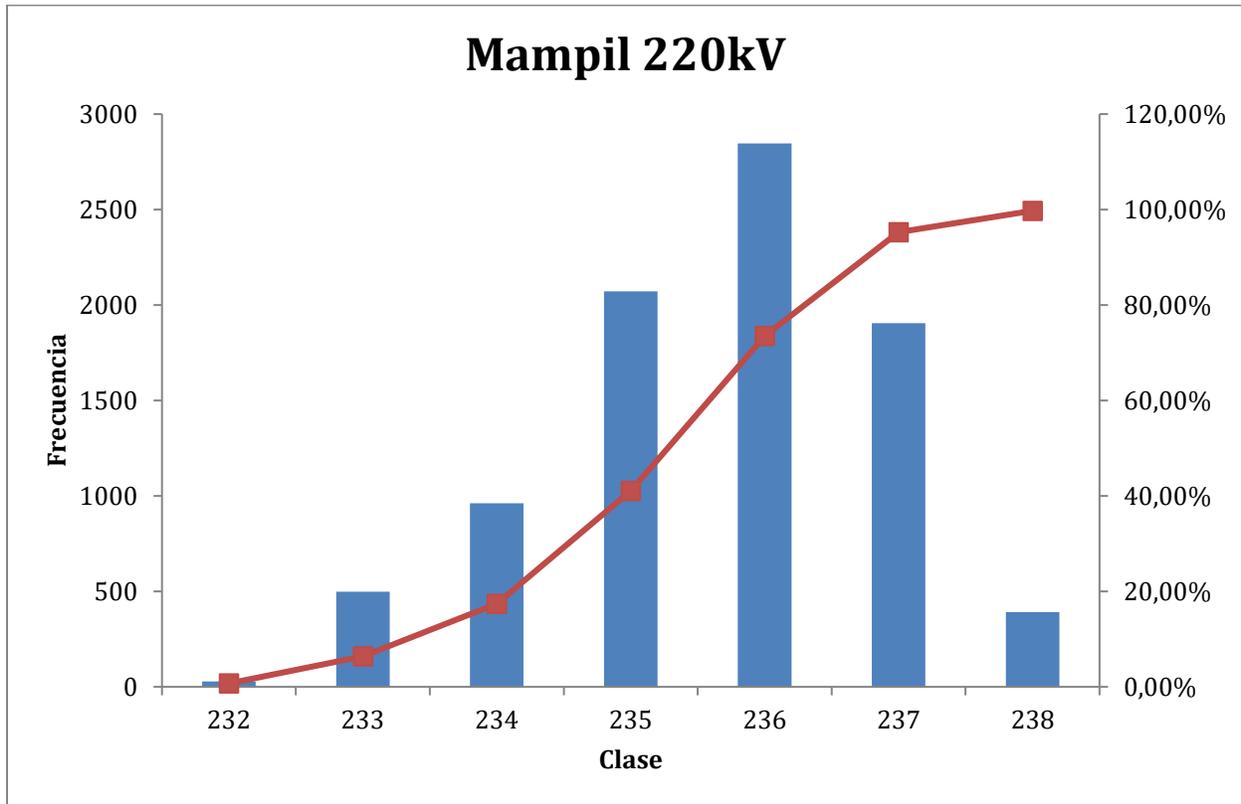
j) **Antuco**



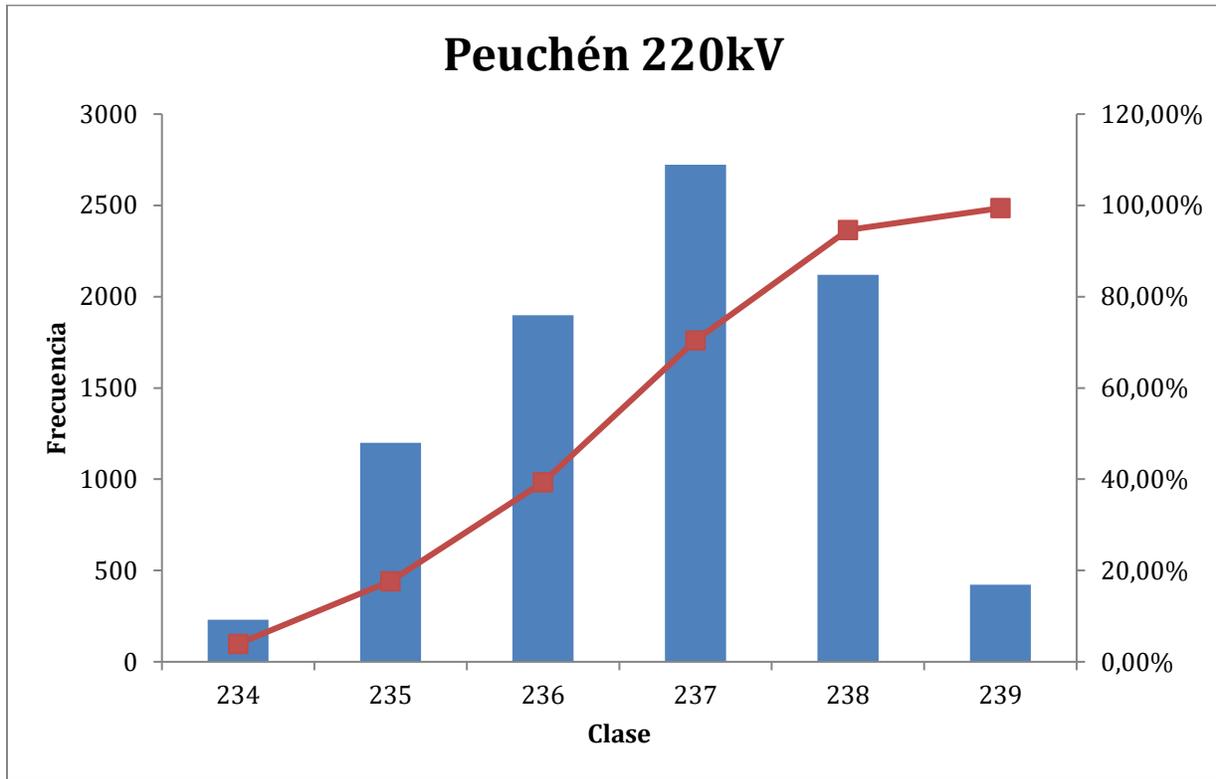
k) **Rucúe**



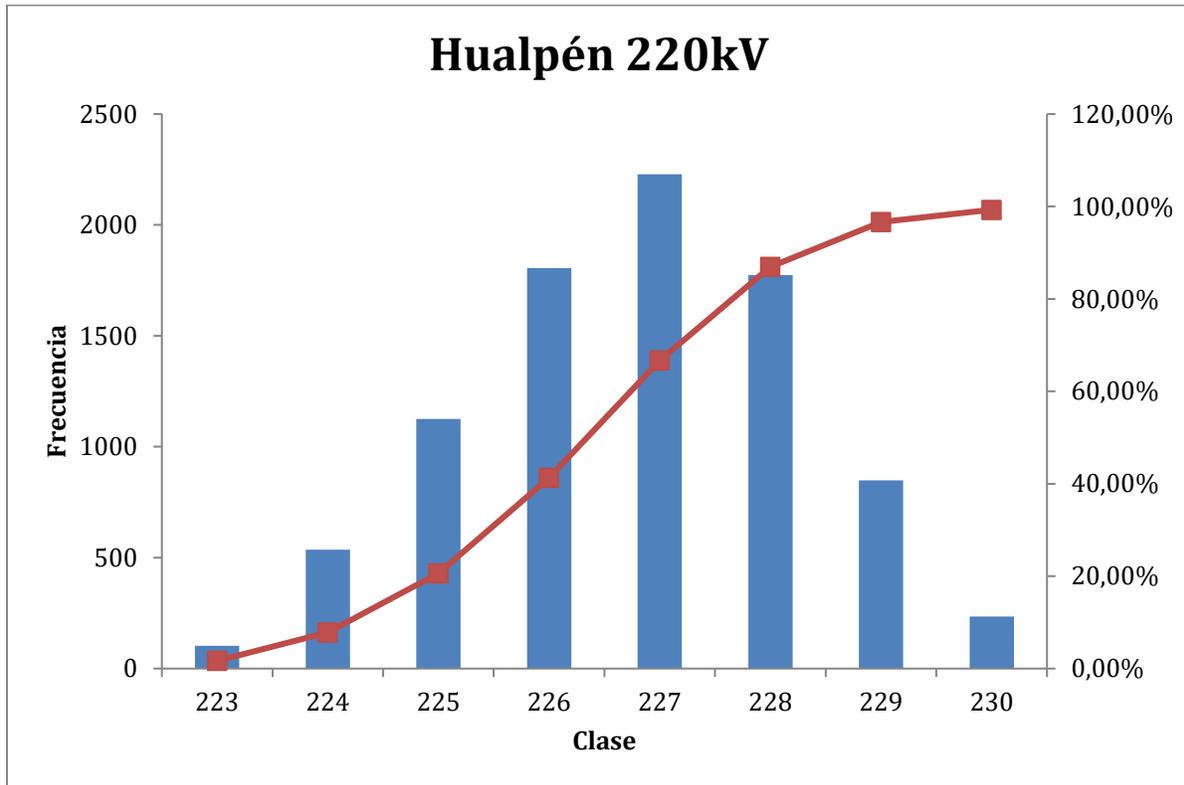
I) **Mampil**



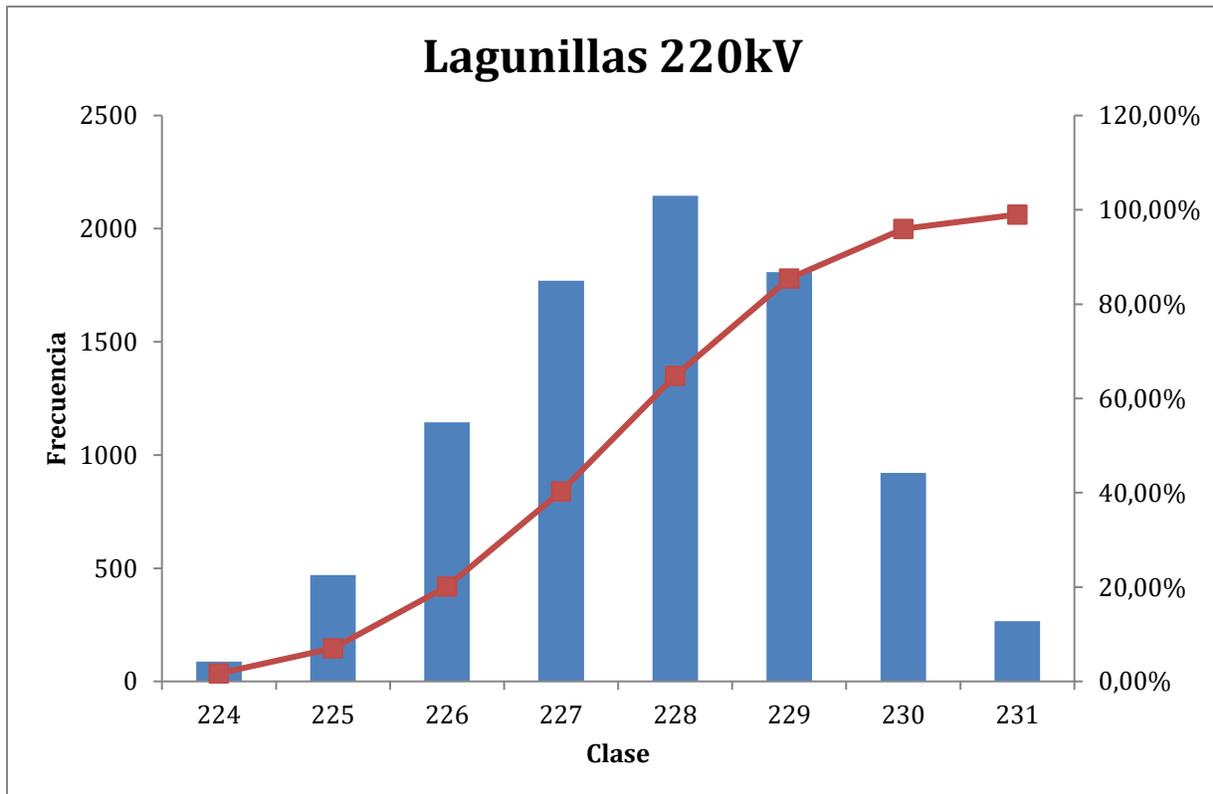
m) **Peuchén**



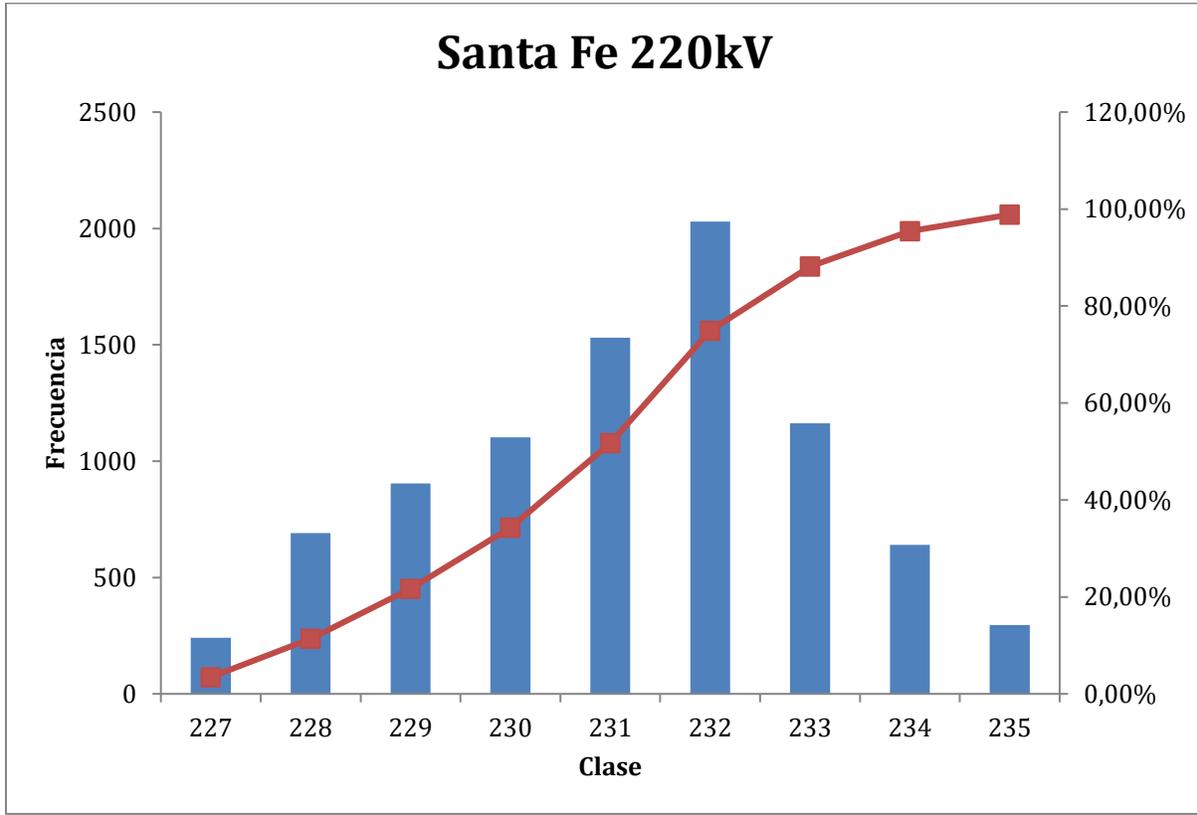
n) Hualpén



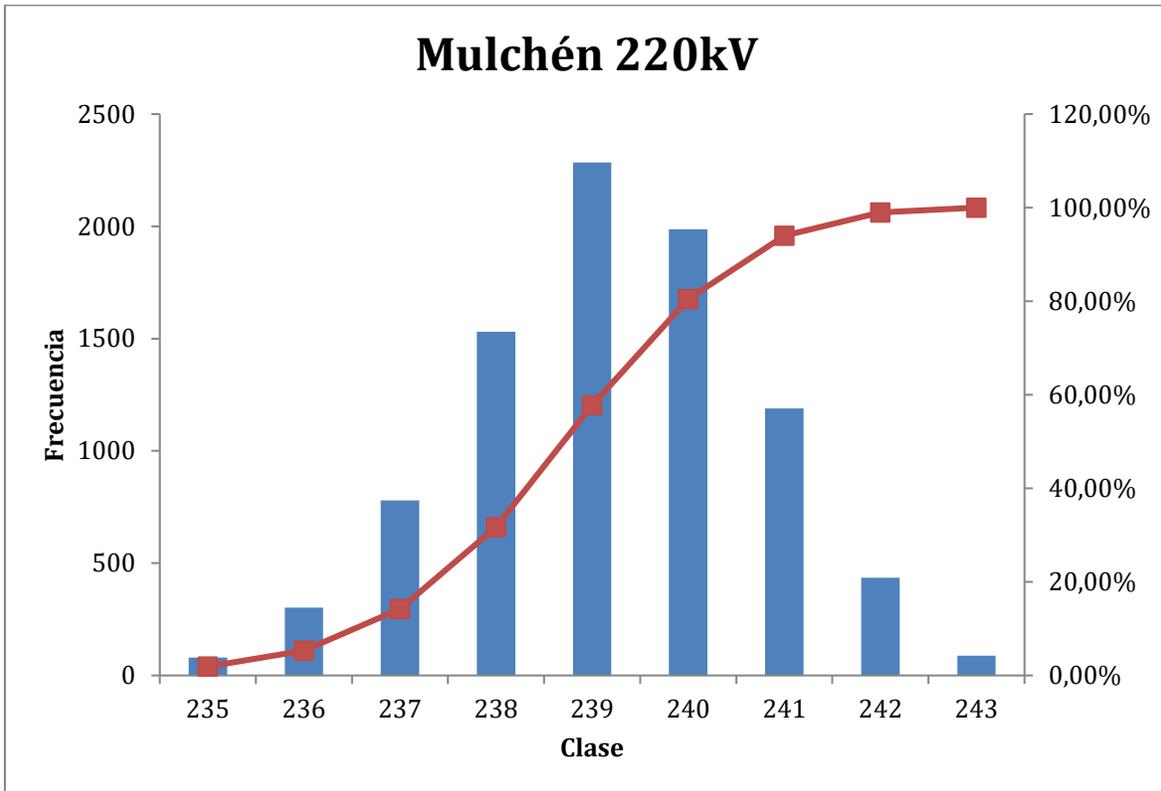
o) Lagunillas



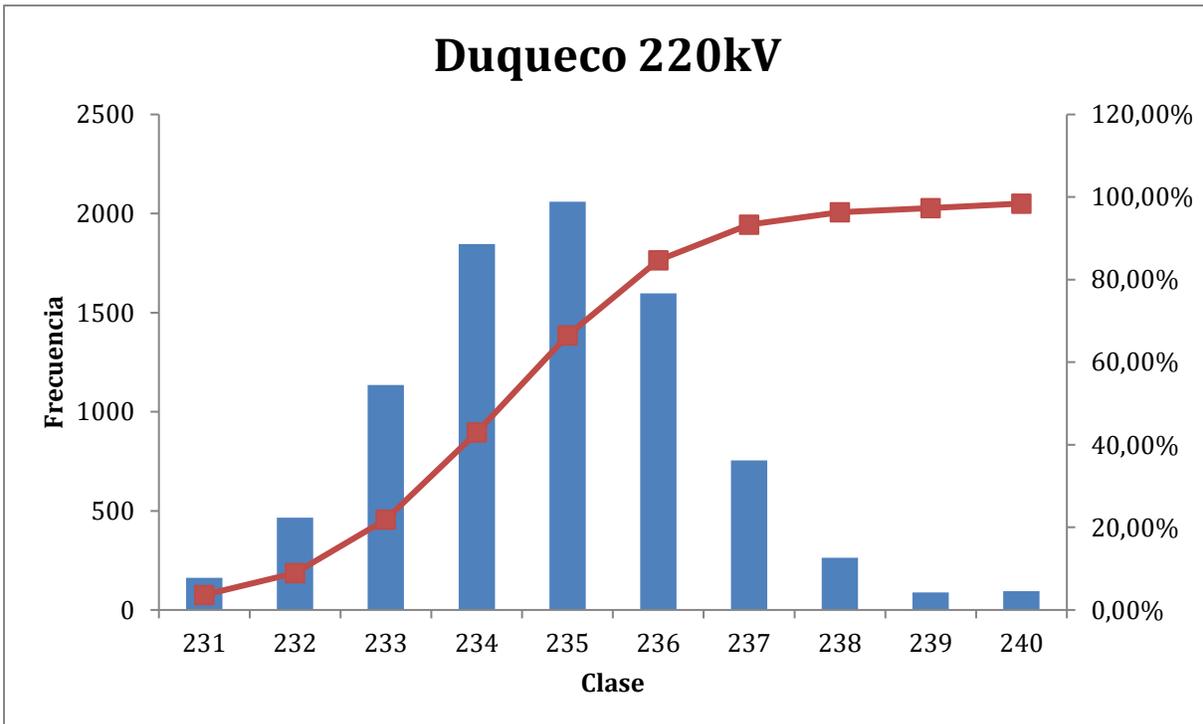
p) **Santa Fe**



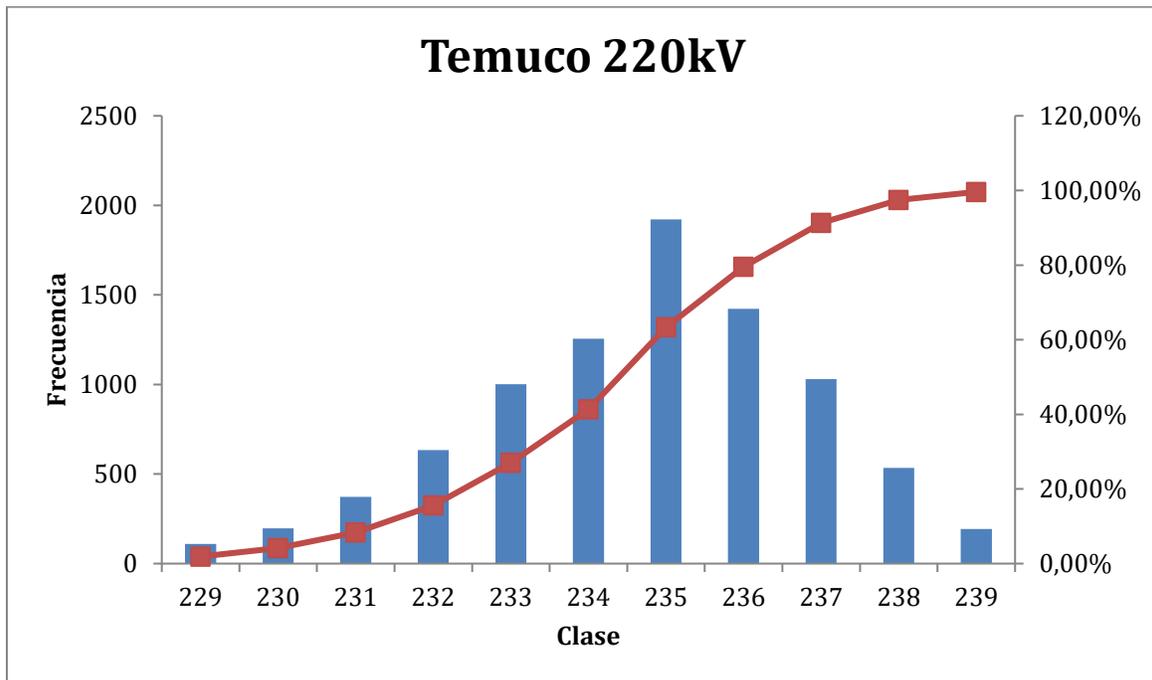
q) **Mulchén**



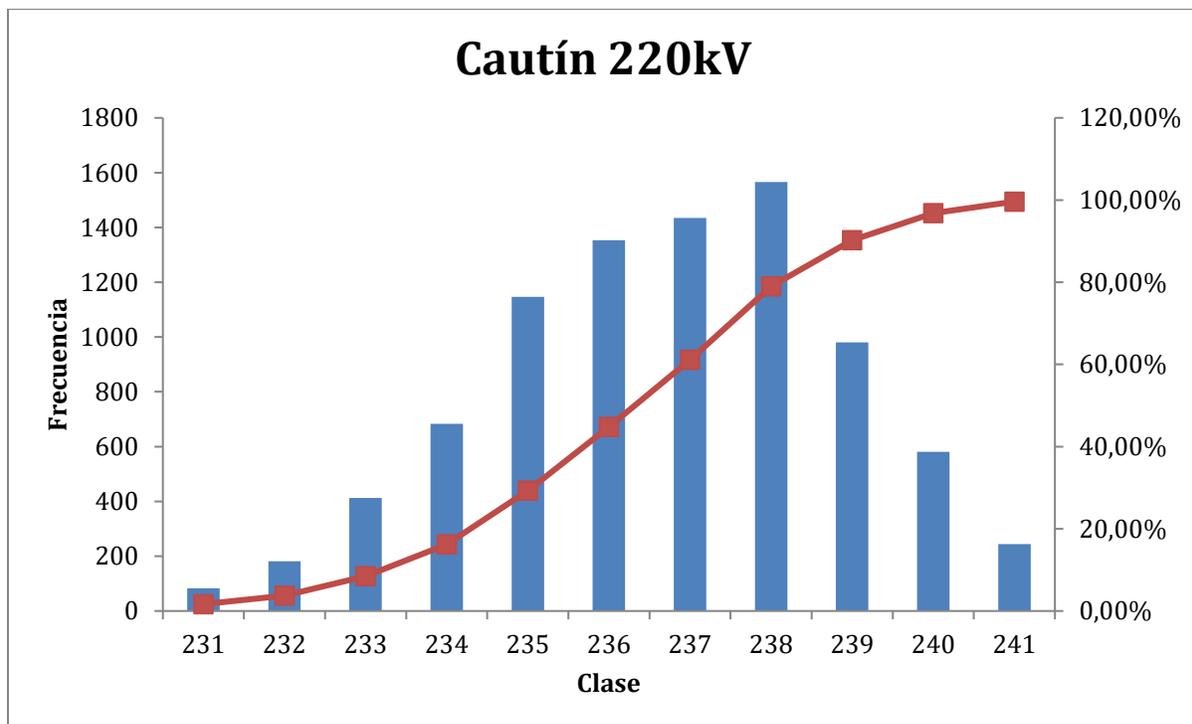
r) **Duqueco**



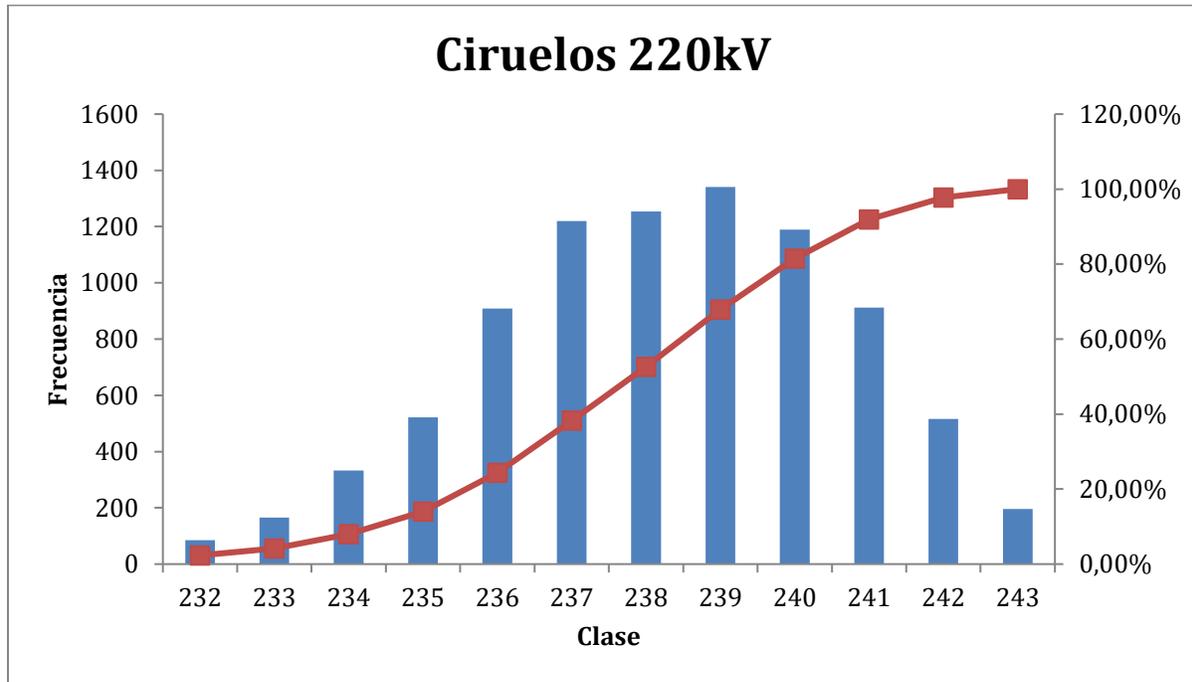
s) **Temuco**



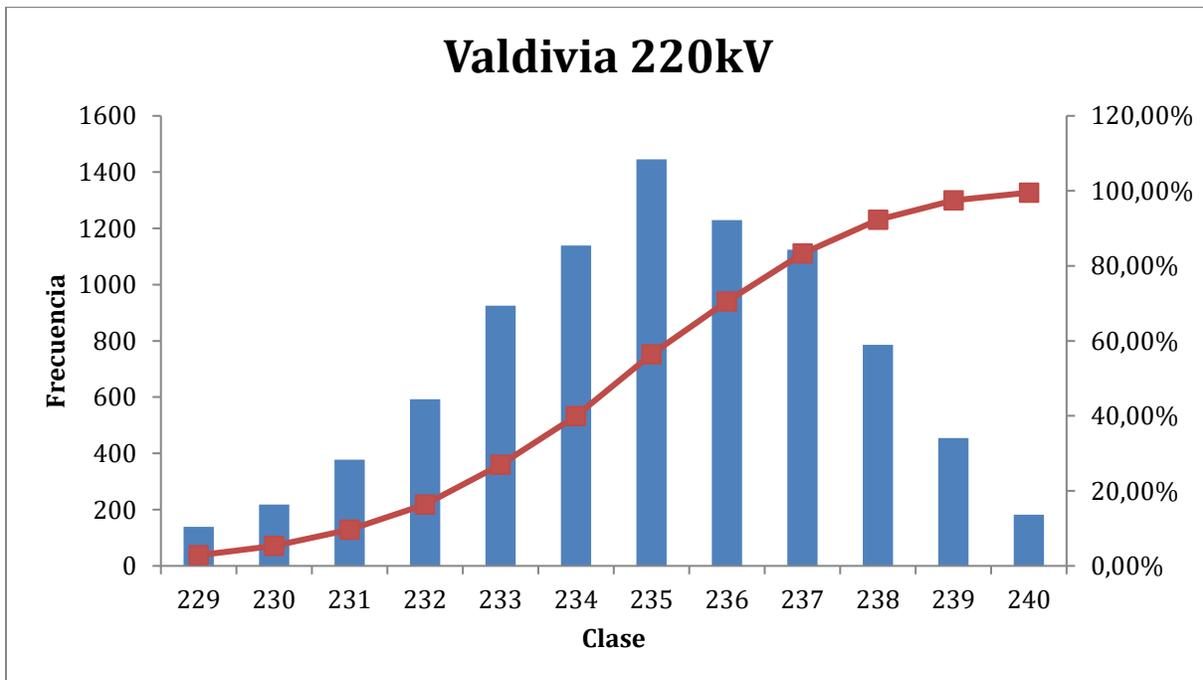
t) **Cautín**



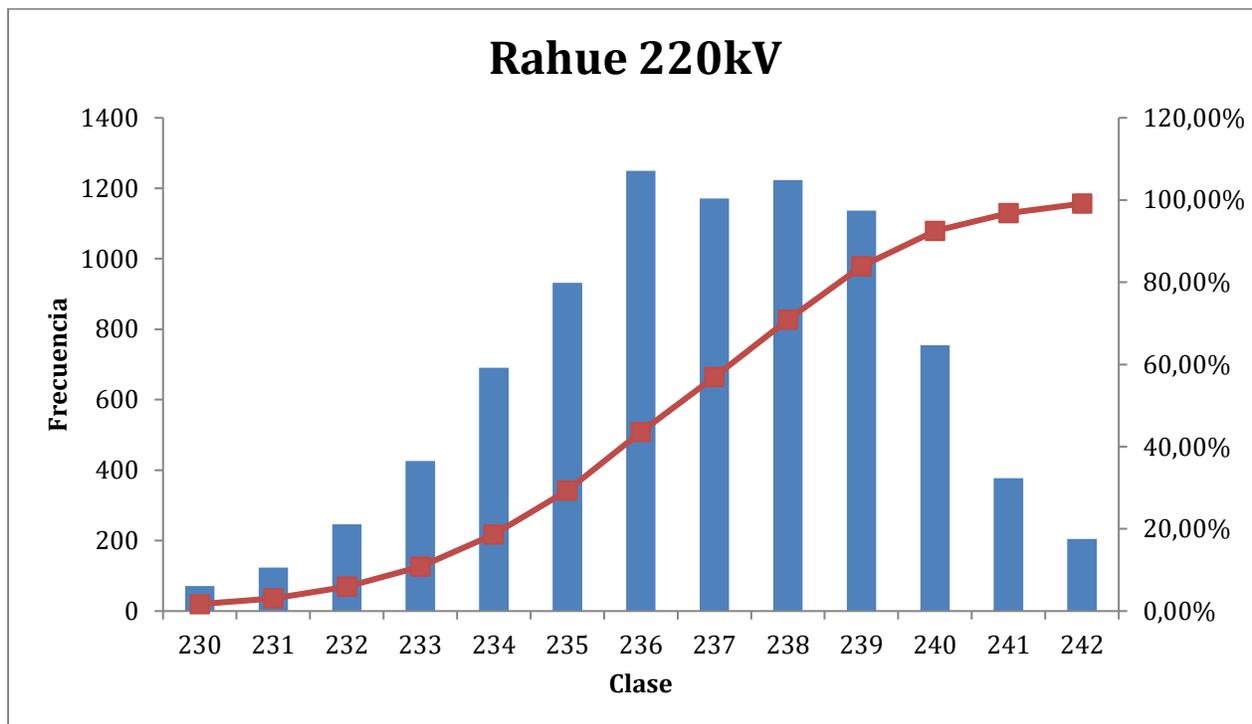
u) **Ciruelos**



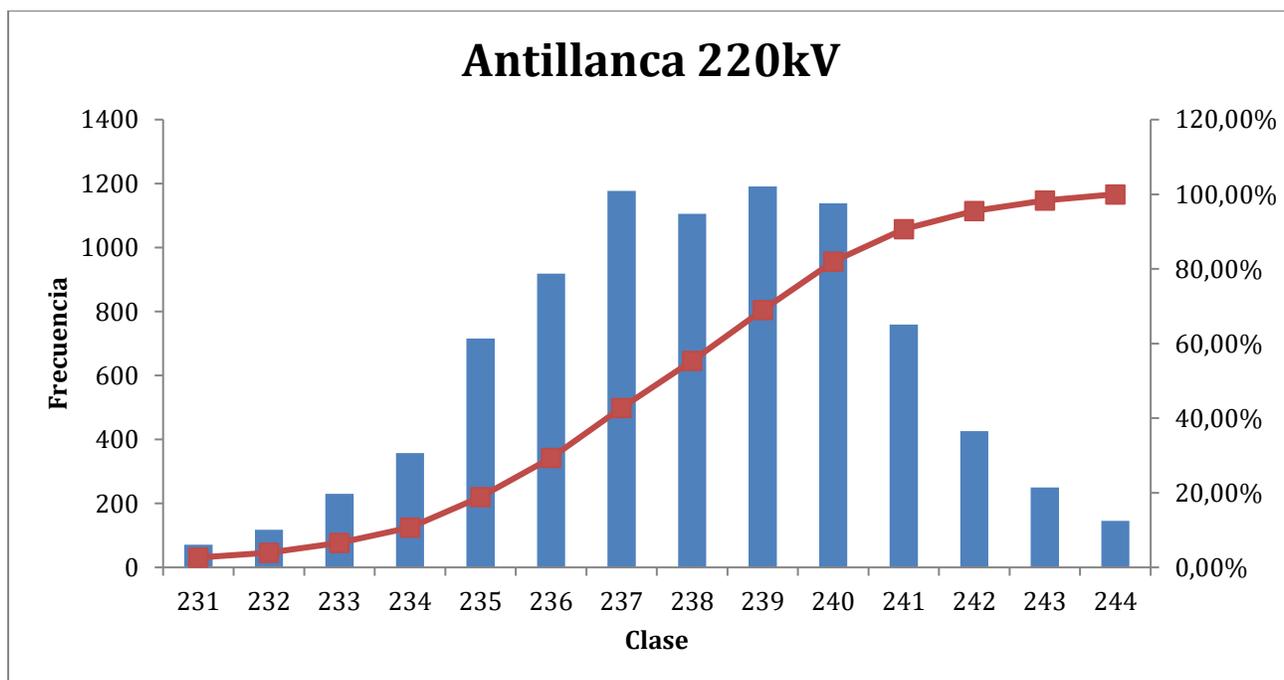
v) **Valdivia**



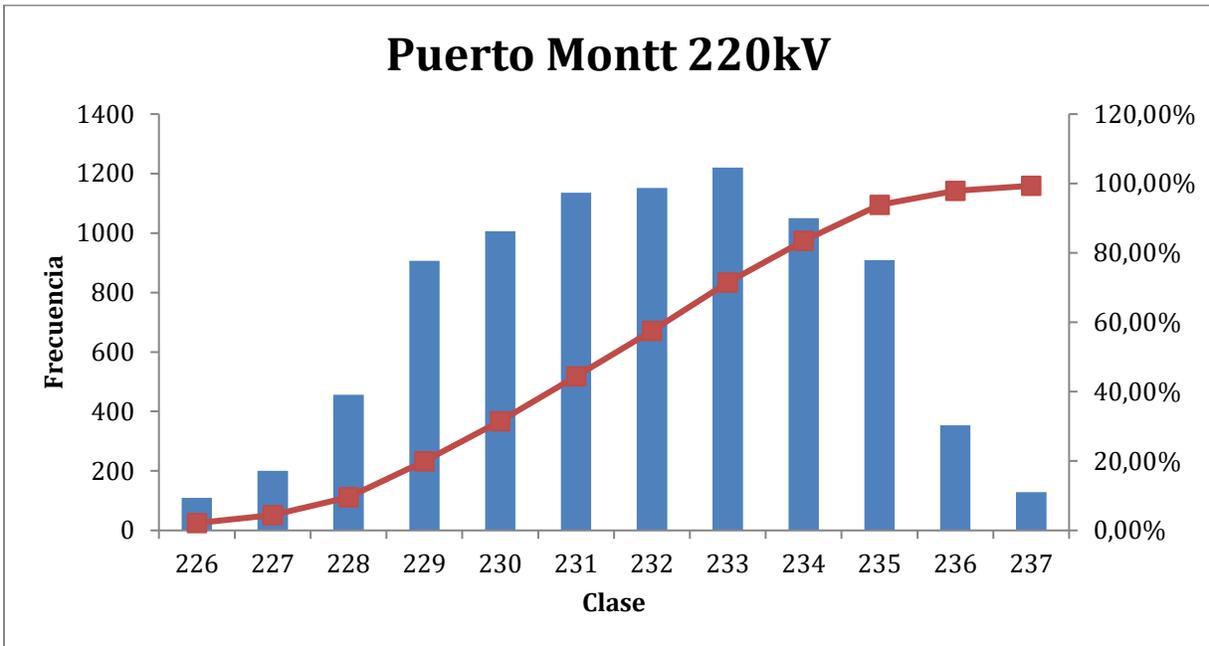
w) **Rahue**



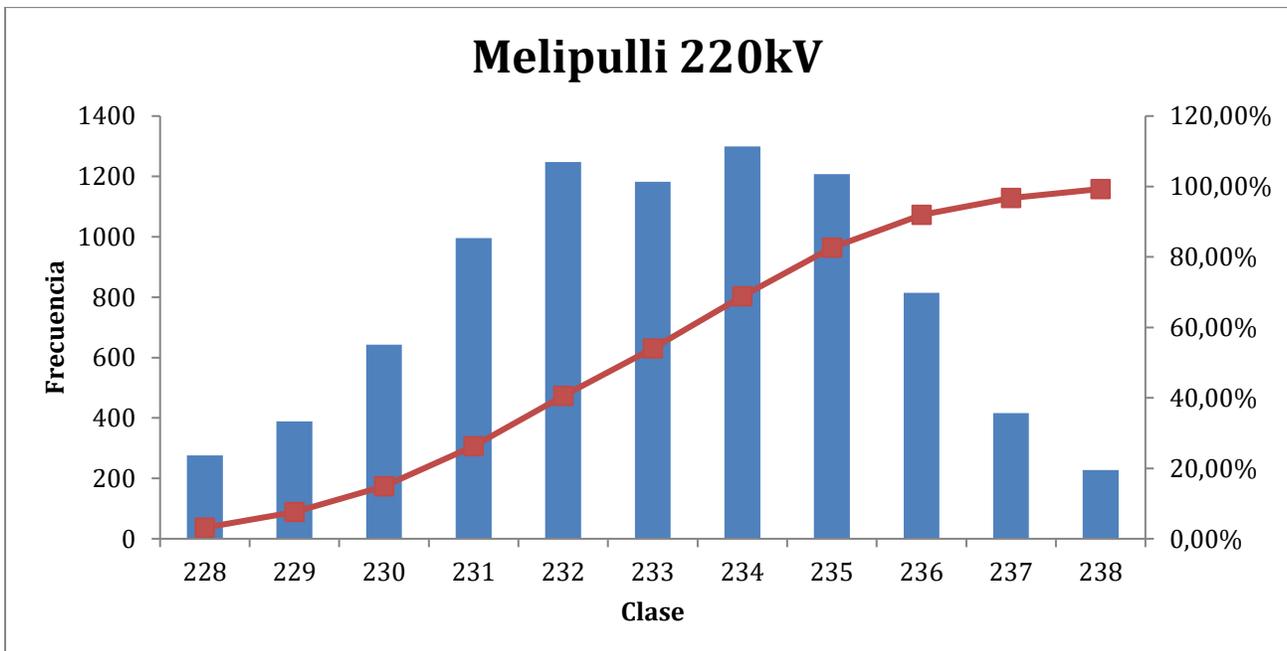
x) **Antillanca**



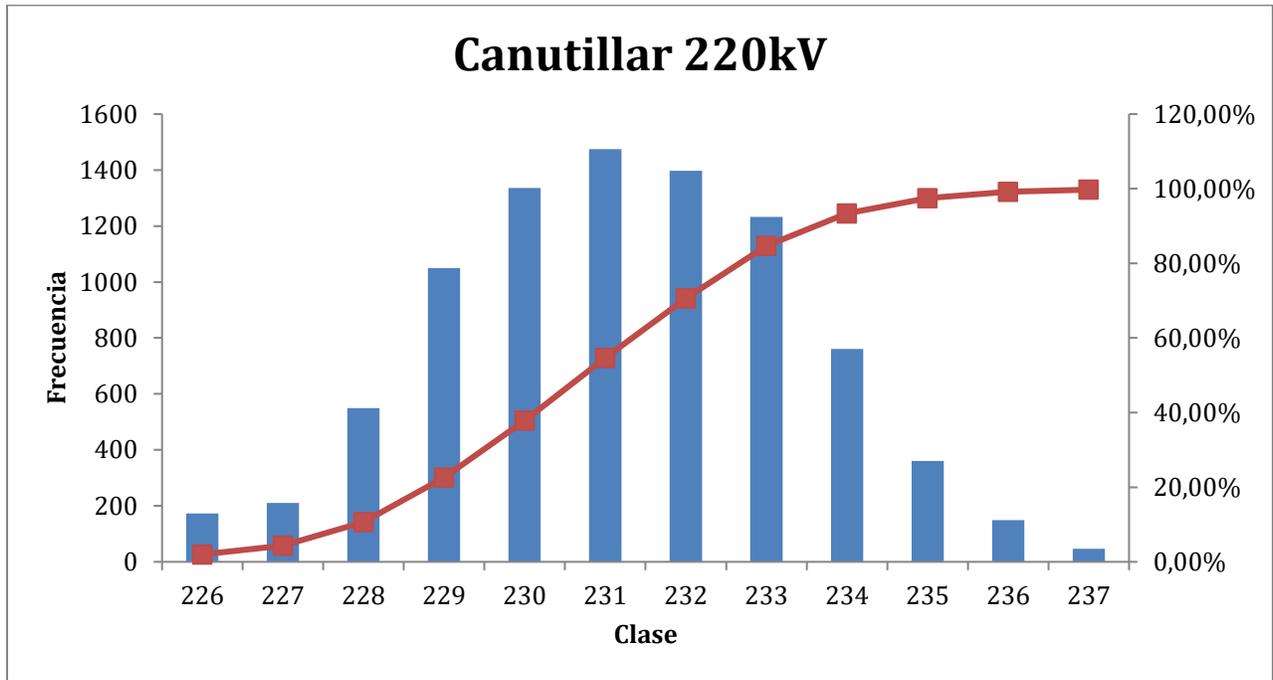
y) **Puerto Montt**



z) **Melipulli**



aa) Canutillar



FIN DEL INFORME