

---

# ESTUDIO DE TENSIONES DE SERVICIO

Informe Preliminar

---

GERENCIA DE OPERACIÓN

Diciembre 2019

## **Estudio de Tensiones de Servicio**

### **Informe preparado por el Departamento de Estudios de Sistemas Eléctricos**

Rev.	Fecha	Versión de documento	Realizó	Revisó / Aprobó
1	19-12-2019	Informe Preliminar	Carlos Alvear A. Ignacio Figueroa F.	Víctor Velar G.

# Índice

1	RESUMEN EJECUTIVO .....	5
1.1	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV .....	7
1.1.1	Tensiones de Servicio sin obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV.....	7
1.1.2	Propuesta de Tensiones con obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV.....	8
1.2	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV .....	10
1.2.1	Tensiones de Servicio Zona Norte Grande.....	10
1.2.2	Tensiones de Servicio Zona Norte Chico.....	10
1.2.3	Tensiones de Servicio Zona Centro.....	13
1.2.4	Tensiones de Servicio Zona Sur.....	15
2	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	18
3	ANTECEDENTES NORMATIVOS .....	19
3.1	Artículo 5-24 .....	19
3.2	Artículo 5-28 .....	19
3.3	Artículo 5-52 .....	20
4	BASES DEL ESTUDIO .....	21
4.1	Horizonte de Estudio .....	21
4.2	Zonas de Estudio.....	21
4.3	Características Generales de los Escenarios de Operación .....	21
4.4	Contingencias Simuladas .....	22
5	EFFECTOS DEL VALOR DE LAS TENSIONES EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL .....	23
5.1	Análisis de la Operación Respecto de la Tensión .....	23
5.2	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV .....	23
5.2.1	Análisis de resultados Escenario E1 .....	23
5.2.2	Análisis de resultados Escenario E2 .....	25
5.3	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV .....	27
5.3.1	Zona Norte Grande .....	27
5.3.1.1	Análisis de resultados Escenario E1 .....	29
5.3.2	Zona Norte Chico .....	32
5.3.2.1	Análisis de resultados Escenario E1 .....	34

5.3.2.2	Análisis de resultados Escenario E2 .....	35
5.3.3	Zona Centro .....	37
5.3.3.1	Análisis de resultados Escenario E1 .....	39
5.3.3.2	Análisis de resultados Escenario E2 .....	40
5.3.4	Zona Sur .....	42
6	DEFINICIÓN DE TENSIONES DE SERVICIO .....	47
6.1	Tensiones de Servicio .....	47
6.2	Criterios .....	48
6.3	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV .....	49
6.3.1	Tensiones de Servicio sin obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV.....	49
6.3.2	Propuesta de Tensiones con obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV.....	50
6.4	Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV .....	52
6.4.1	Tensiones de Servicio Zona Norte Grande.....	52
6.4.2	Tensiones de Servicio Zona Norte Chico.....	52
6.4.3	Tensiones de Servicio Zona Centro .....	55
6.4.4	Tensiones de Servicio Zona Sur.....	57
7	CONCLUSIONES.....	60
8	REFERENCIAS .....	61
9	ANEXOS.....	62
9.1	Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 500kV.....	63
9.2	Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 220kV.....	69
9.2.1	Zona Norte Grande .....	69
9.2.2	Zona Norte Chico .....	76
9.2.3	Zona Centro .....	85
9.2.4	Zona Sur .....	95

## 1 RESUMEN EJECUTIVO

Los artículos 5-24, 5-28 y 5-52 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.

En este informe se muestra, mediante análisis de flujos estáticos y de sensibilidad  $dV/dQ$ , que la aplicación de estos estándares de tensión de la NTSyCS en base a tensión nominal, particularmente en algunas barras del sistema de transmisión nacional y de centrales, produciría un detrimento de la seguridad y calidad de servicio del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

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.

Conforme con lo señalado y al no existir grandes cambios topológicos en algunas zonas del SEN, 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.

Por otro lado, para las nuevas instalaciones que provoquen un cambio topológico en el SI y, por ende, produzcan variaciones de las tensiones, se propusieron Tensiones de Servicio mediante análisis de flujos estáticos y de sensibilidad  $dV/dQ$ .

La zona que se ve mayormente afectada producto de la entrada en operación de nuevas obras es la zona del Norte Chico, en particular con el ingreso de los siguientes proyectos:

- Segundos transformadores de 500/220kV de 750 MVA en las SSEE Nueva Cardones, Nueva Maitencillo y Nueva Pan de Azúcar.

- Proyecto de compensación reactiva de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV, que incluye:
  - La disminución a la mitad de las CCSS de la línea Nueva Pan de Azúcar-Polpaico en la SE Nueva Pan de Azúcar y la instalación de una nueva CCSS de igual impedancia en la SE Polpaico.
  - Dos unidades de STATCOM de +50/-50 MVAR en S/E Nueva Pan de Azúcar 500kV.
  - Dos MSR (mechanically switched reactors o reactores mecánicamente conmutados) de 100 MVAR y dos MSR 50 MVAR de capacidad.

Las Tensiones de Servicio establecidas en el presente informe permitirían operar dentro de rangos admisibles de tensión, según la NT de SyCS, en las distintas etapas de desarrollo de los proyectos de transmisión previstas en el horizonte del estudio.

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:

### 1.1.1 Tensiones de Servicio sin obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV

La Tabla 1 muestra las Tensiones de Servicio que estarán vigentes hasta que las nuevas obras entren en servicio.

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 [kV]	0.97Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.93Vs [kV]
<b>Kimal</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
Los Changos	502	517.1	486.9	527.1	476.9	527.1	466.9
Cumbre	512	527.4	496.6	537.6	486.4	537.6	476.2
Nueva Cardones	512	527.4	496.6	537.6	486.4	537.6	476.2
Nueva Maitencillo	512	527.4	496.6	537.6	486.4	537.6	476.2
Nueva Pan de Azúcar	514	529.4	498.6	539.7	488.3	539.7	478.0
Polpaico	504	519.1	488.9	529.2	478.8	529.2	468.7
Lo Aguirre	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Alto Jahuel	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Ancoa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3
<b>Entre Ríos</b>	<b>510</b>	<b>525.3</b>	<b>494.7</b>	<b>535.5</b>	<b>484.5</b>	<b>535.5</b>	<b>474.3</b>
Charrúa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3

En la tabla anterior se presentan las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 500kV de las SSEE Kimal y Entre Ríos. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 500kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican.

A continuación, se muestra una gráfica de 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 vigentes hasta que las nuevas obras entren en servicio.

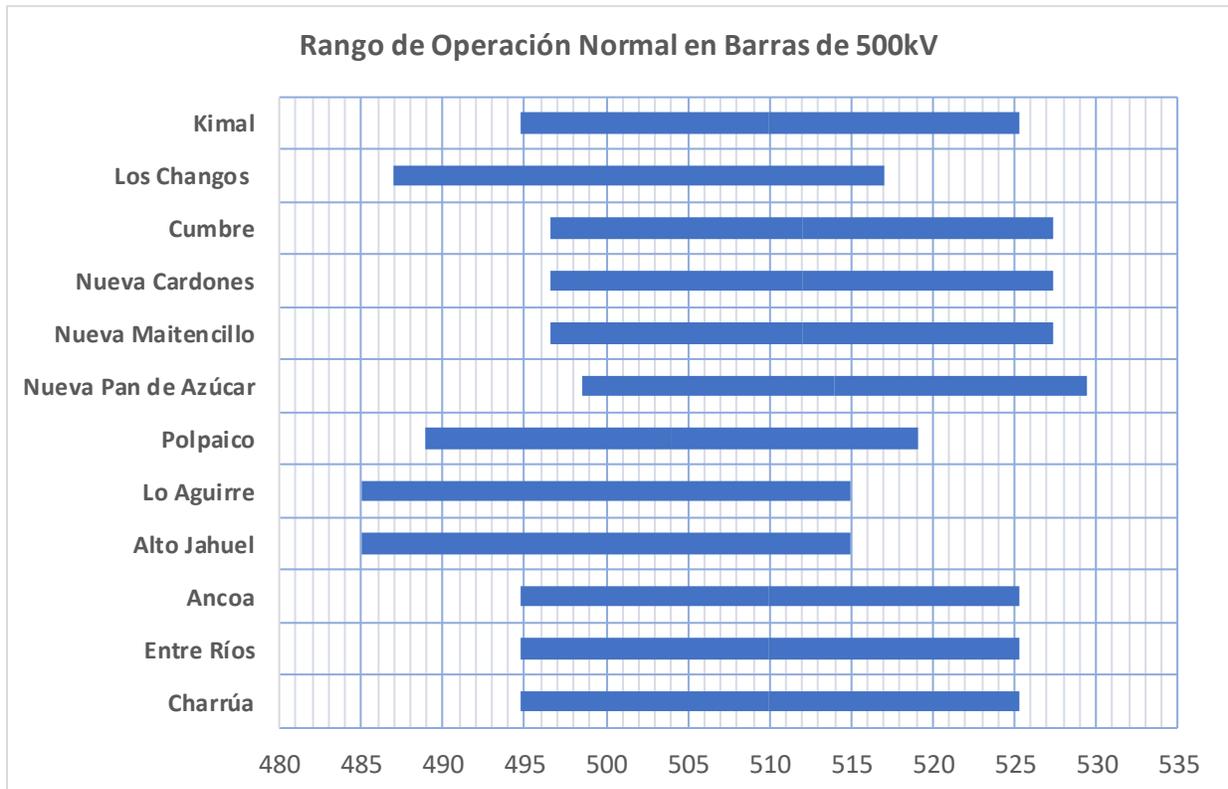


Figura 1: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las Barras de 500kV del Sistema Eléctrico Nacional, considerando los Rangos de Operación Normal ( $\pm 3\%$ ).

### 1.1.2 Propuesta de Tensiones con obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV

La zona que se ve particularmente modificada producto de la entrada en operación de nuevas obras es la zona del Norte Chico, en particular con el ingreso de los siguientes proyectos:

- Segundos transformadores de 500/220kV de 750 MVA en las SS/EE Nueva Cardones, Nueva Maitencillo y Nueva Pan de Azúcar.
- Proyecto de compensación reactiva de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV, que incluye:
  - La disminución a la mitad de las CCSS de la línea Nueva Pan de Azúcar-Polpaico en la SE Nueva Pan de Azúcar y la instalación de una nueva CCSS de igual impedancia en la SE Polpaico.
  - Dos unidades de STATCOM de +50/-50 MVar en S/E Nueva Pan de Azúcar 500kV.
  - Dos MSR (mechanically switched reactors o reactores mecánicamente conmutados) de 100 MVar y dos MSR 50 MVar de capacidad.

La Tabla 2 muestra las Tensiones de Servicio que estarán vigentes a partir de la entrada en servicio de las nuevas obras.

*Tabla 2 Tensiones de Servicio en barras de 500 kV y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia*

Barra 500kV	Propuesta Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.03Vs [kV]	0.97Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.93Vs [kV]
<b>Kimal</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
<b>Los Changos</b>	<b>500</b>	<b>515.0</b>	<b>485.0</b>	<b>525.0</b>	<b>475.0</b>	<b>525.0</b>	<b>465.0</b>
<b>Cumbre</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
<b>Nueva Cardones</b>	<b>500</b>	<b>515.0</b>	<b>485.0</b>	<b>525.0</b>	<b>475.0</b>	<b>525.0</b>	<b>465.0</b>
<b>Nueva Maitencillo</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
<b>Nueva Pan de Azúcar</b>	<b>510</b>	<b>525.3</b>	<b>494.7</b>	<b>535.5</b>	<b>484.5</b>	<b>535.5</b>	<b>474.3</b>
<b>Polpaico</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
Lo Aguirre	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Alto Jahuel	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Ancoa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3
Entre Ríos	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3
Charrúa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3

En la tabla anterior se proponen las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 500kV de las SSEE Los Changos, Cumbre, Nueva Cardones, Nueva Maitencillo, Nueva Pan de Azúcar y Polpaico. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 500kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican.

A continuación, se muestra una gráfica de 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, una vez que las nuevas obras entren en servicio.

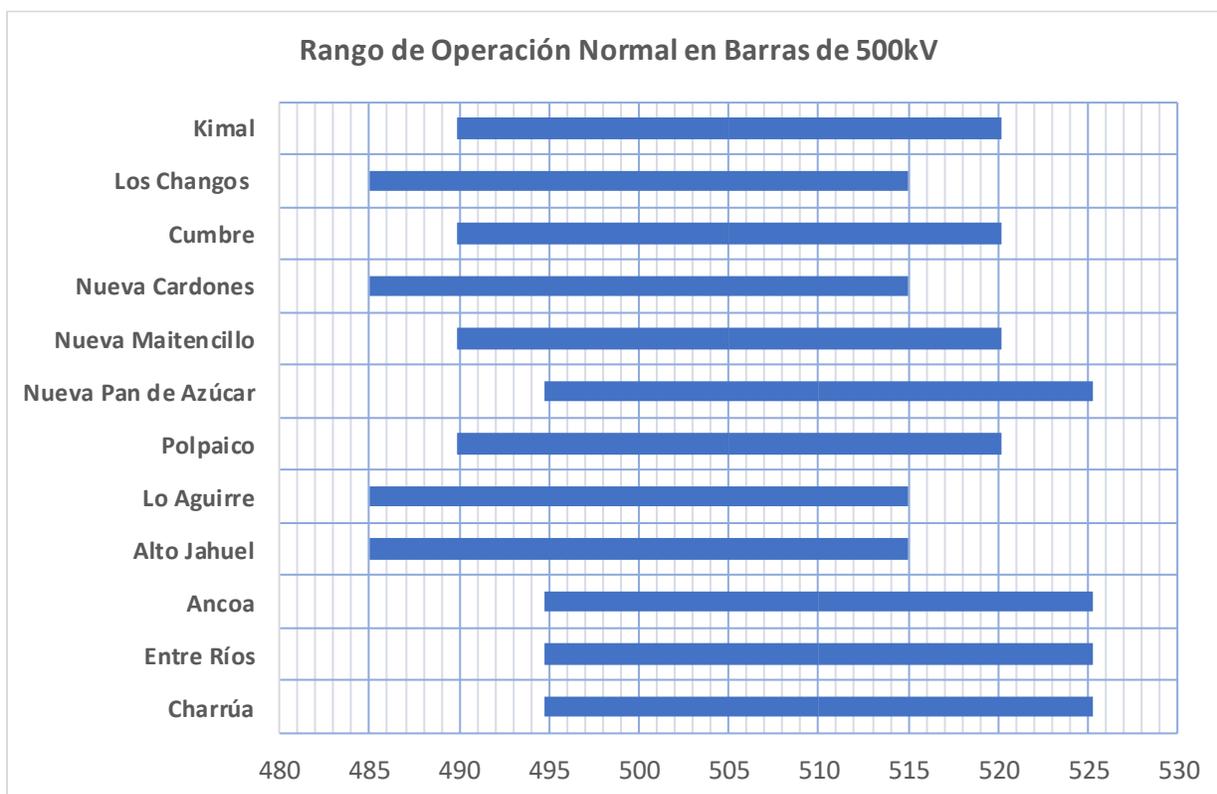


Figura 2: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las Barras de 500kV del Sistema Eléctrico Nacional, considerando los Rangos de Operación Normal ( $\pm 3\%$ ).

## 1.2 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV

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

### 1.2.1 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 estas barras será 220kV. Los histogramas asociados a las principales barras del Norte Grande se encuentran en el Anexo 9.2.1.

### 1.2.2 Tensiones de Servicio Zona Norte Chico

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 3. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla, la Tensión de Servicio será igual a la de la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica.

Tabla 3 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
<b>Cumbre</b>	<b>224</b>	<b>235.2</b>	<b>212.8</b>	<b>239.7</b>	<b>208.3</b>	<b>246.4</b>	<b>201.6</b>
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 Héctor	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
<b>Doña Carmen</b>	<b>226</b>	<b>237.3</b>	<b>214.7</b>	<b>241.8</b>	<b>210.2</b>	<b>248.6</b>	<b>203.4</b>

En la tabla anterior se presentan las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 220kV de las SSEE Cumbre y Doña Carmen. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 220kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican.

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 3: 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 ( $\pm 5\%$ ).



### 1.2.3 Tensiones de Servicio Zona Centro

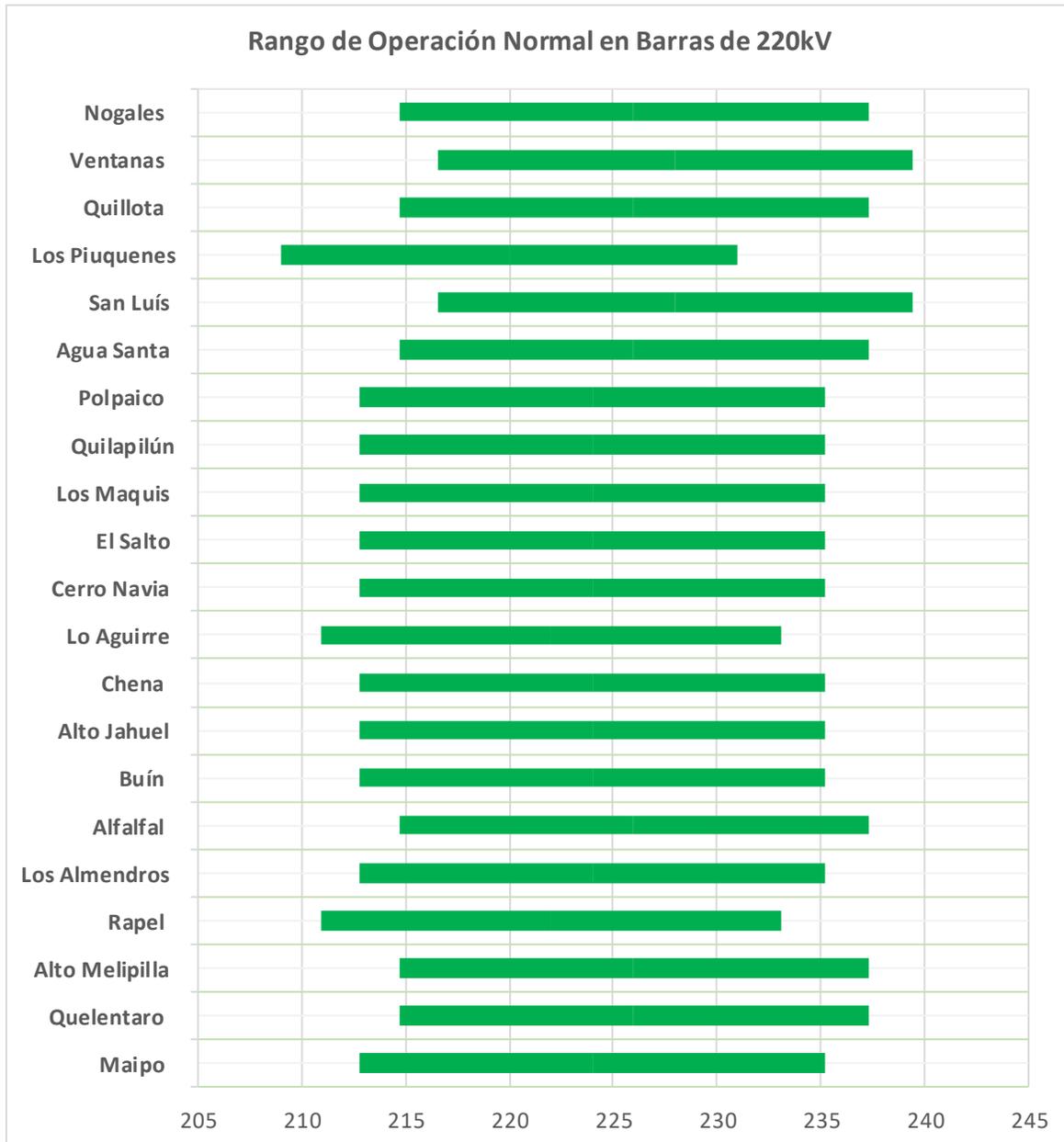
Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 4. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla, la Tensión de Servicio será igual a la de la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica.

Tabla 4 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
<b>Los Piuquenes</b>	<b>220</b>	<b>231.0</b>	<b>209.0</b>	<b>235.4</b>	<b>204.6</b>	<b>242.0</b>	<b>198.0</b>
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
<b>Quilapilún</b>	<b>224</b>	<b>235.2</b>	<b>212.8</b>	<b>239.7</b>	<b>208.3</b>	<b>246.4</b>	<b>201.6</b>
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
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

En la tabla anterior se presentan las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 220kV de las SSEE Los Piuquenes y Quilapilún. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 220kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican. 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 4: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las barras de 220kV de la Zona Centro, considerando los Rangos de Operación Normal ( $\pm 5\%$ ).



## 1.2.4 Tensiones de Servicio Zona Sur

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 5. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla, la Tensión de Servicio será igual a la de la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica.

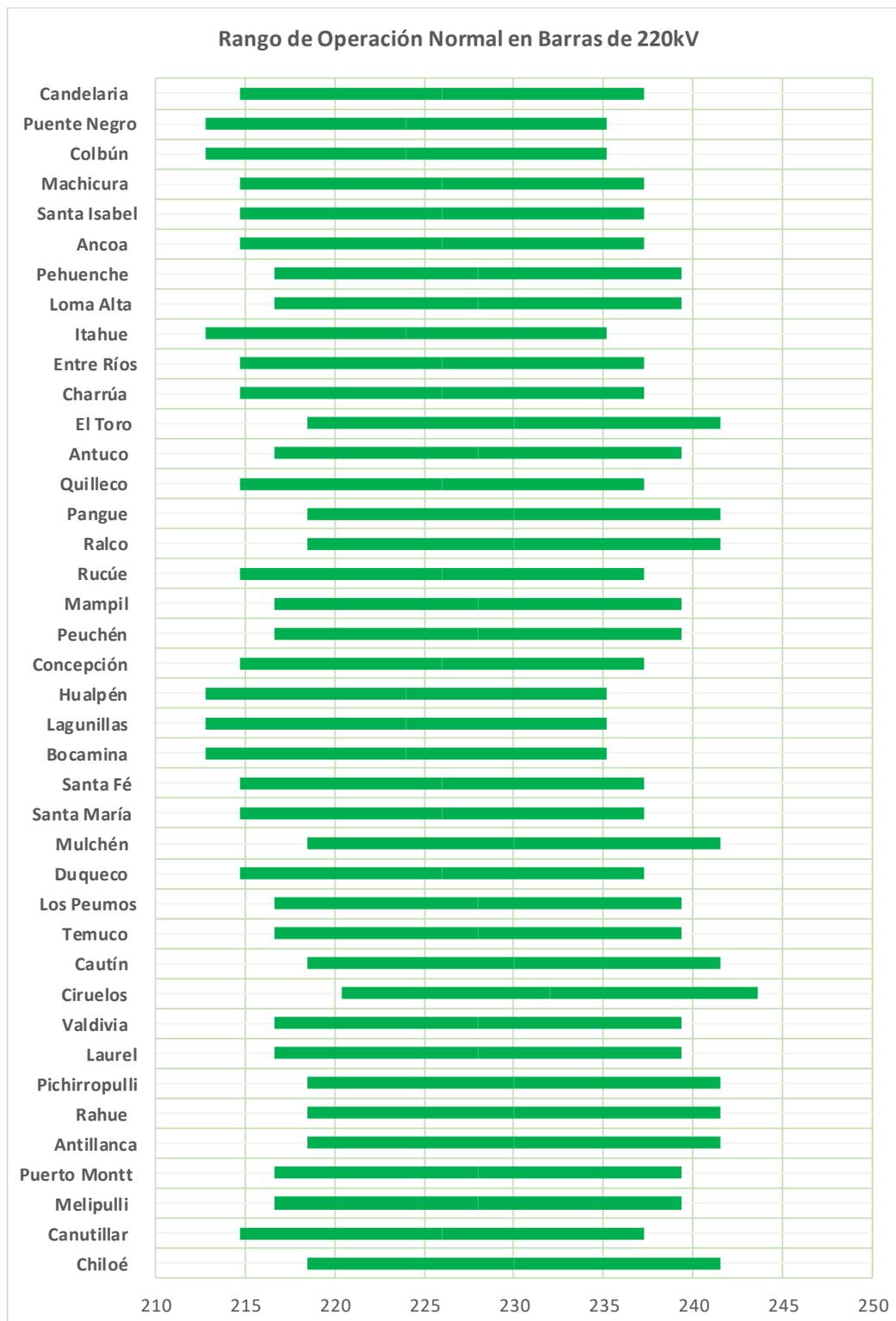
Tabla 5 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Sur y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia.

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	224	235.2	212.8	239.7	208.3	246.4	201.6
Machicura	226	237.3	214.7	241.8	210.2	248.6	203.4
<b>Santa Isabel</b>	<b>226</b>	<b>237.3</b>	<b>214.7</b>	<b>241.8</b>	<b>210.2</b>	<b>248.6</b>	<b>203.4</b>
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
<b>Entre Ríos</b>	<b>226</b>	<b>237.3</b>	<b>214.7</b>	<b>241.8</b>	<b>210.2</b>	<b>248.6</b>	<b>203.4</b>
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	230	241.5	218.5	246.1	213.9	253.0	207.0
Duqueco	226	237.3	214.7	241.8	210.2	248.6	203.4
Los Peumos	228	239.4	216.6	244.0	212.0	250.8	205.2
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	228	239.4	216.6	244.0	212.0	250.8	205.2
Pichirpulli	230	241.5	218.5	246.1	213.9	253.0	207.0
Rahue	230	241.5	218.5	246.1	213.9	253.0	207.0
<b>Antillanca</b>	<b>230</b>	<b>241.5</b>	<b>218.5</b>	<b>246.1</b>	<b>213.9</b>	<b>253.0</b>	<b>207.0</b>
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 presenta las nuevas tensiones de servicio, establecidas para las barras de 220kV de las SSEE Santa Isabel, Entre Ríos y Antillanca. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 220kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican. Los histogramas asociados a las principales barras de la Zona Sur se encuentran en el Anexo 9.2.4.

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



## **2 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

En los artículos 5-24, 5-28 y 5-52 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.

### **3 ANTECEDENTES NORMATIVOS**

Los antecedentes disponibles son los establecidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. A continuación, se transcriben los Artículos 5-24, 5-28 y 5-52:

#### **3.1 Artículo 5-24**

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 CDC 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 de la Tensión de Servicio, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal igual o superior a 500 [kV].
- b) 0,95 y 1,05 por unidad de la Tensión de Servicio, 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 de la Tensión de Servicio, 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.

#### **3.2 Artículo 5-28**

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.

### **3.3 Artículo 5-52**

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.

## 4 BASES DEL ESTUDIO

### 4.1 Horizonte de Estudio

Se realizó un análisis estadístico para ratificar Tensiones de Servicio, desde el 17 de noviembre de 2018 hasta el 17 de noviembre de 2019.

Además, se consideró un análisis que permite proponer nuevas Tensiones de Servicio cuando entren en operación nuevas obras. La zona que se ve particularmente modificada es la Zona Norte Chico, en particular con el ingreso de los siguientes proyectos, cuya fecha de puesta en servicio está prevista para fines de febrero de 2020:

- Segundos transformadores de 500/220kV de 750 MVA en las SS/EE Nueva Cardones, Nueva Maitencillo y Nueva Pan de Azúcar.
- Proyecto de compensación reactiva de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV, que incluye:
  - La disminución a la mitad de las CCSS de la línea Nueva Pan de Azúcar-Polpaico en la SE Nueva Pan de Azúcar y la instalación de una nueva CCSS de igual impedancia en la SE Polpaico.
  - Dos unidades de STATCOM de +50/-50 MVar en S/E Nueva Pan de Azúcar 500kV.
  - Dos MSR (mechanically switched reactors o reactores mecánicamente conmutados) de 100 MVar y dos MSR 50 MVar de capacidad.

### 4.2 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 el sistema de transmisión de 500kV, que comprende las instalaciones desde SE Kimal hasta la SE Charrúa, y el 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 Paposo 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.

### 4.3 Características Generales de los Escenarios de Operación

Al no existir grandes cambios topológicos en algunas zonas del SEN durante el horizonte de estudio, las tensiones de servicio vigentes serán 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. El horizonte considerado para analizar los datos estadísticos es desde el 17 de noviembre de 2018 hasta el 17 de noviembre de 2019.

Por otro lado, para las nuevas instalaciones que provoquen un cambio topológico en el SI y, por ende, presenten variaciones de las tensiones, se propondrán tensiones de servicio mediante análisis de flujos estáticos y de sensibilidad  $dV/dQ$ . Dentro del horizonte del estudio se analizaron escenarios de demanda máxima y mínima, desfavorables en términos de niveles de tensión para los sistemas de transmisión de 220kV y 500kV, los cuales se describen a continuación:

- Escenario E1, corresponde a una condición de demanda máxima (10.937 MW) de día con transferencias de 465 MW desde S/E Los Changos 500kV a S/E Cumbre 500kV y transferencias de 1341 MW desde SE Nueva Pan de Azúcar 500kV a Polpaico 500kV.
- Escenario E2, corresponde a una condición de demanda mínima (7.385 MW) de noche con transferencias de 252 MW desde S/E Cumbre 500kV a S/E Los Changos 500kV y transferencias de 127 MW desde SE Polpaico 500kV a Nueva Pan de Azúcar 500kV.

#### **4.4 Contingencias Simuladas**

Para cada una de las zonas se definió un conjunto de contingencias a simular, considerando las que mayor requerimiento de reactivos presentaba en dichas zonas según el Estudio de Control de Tensión 2019 [2]. A continuación, se indican las contingencias consideradas para cada una de las zonas:

Zona Norte Grande:

- Desconexión U16
- Desconexión Reactor Los Changos 500kV
- Desconexión SVC Domeyko
- Falla de la línea Los Changos – Cumbre 500kV L2

Zona Norte Chico:

- Falla de la línea Los Changos – Cumbre 500kV L2
- Desconexión Reactor Cardones 500kV

Zona Centro:

- Desconexión Central Nehuenco 2
- Desconexión Consumo I. Maitenes 220kV

En la zona sur no se analizaron contingencias, debido a que los cambios topológicos considerados en el horizonte de este estudio no producen variaciones en dicha zona. Por lo tanto, sólo se realizó un análisis estadístico de las tensiones para verificar las tensiones de las barras de dicha zona.

## **5 EFECTOS DEL VALOR DE LAS TENSIONES EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**

Con el propósito de justificar el valor de las Tensiones de Servicio determinadas en este estudio, se analizan y explican los efectos del nivel de las tensiones en la operación del Sistema Eléctrico Nacional mediante ejemplos que recrean escenarios factibles en condiciones normales y sujeto a contingencias.

### **5.1 Análisis de la Operación Respecto de la Tensión**

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. 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).

### **5.2 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 500kV**

El sistema de transmisión de 500kV comprende las instalaciones desde la SE Kimal, que se ubica geográficamente en el Norte Grande del país, hasta la SE Charrúa que se encuentra en la Zona Sur.

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de compensación de potencia reactiva:

- Reactor de SE Los Changos 175 MVAR
- Reactor de SE Nueva Cardones 175 MVAR
- Dos unidades de STATCOM de +50/-50 MVAR en SE Nueva Pan de Azúcar 500kV.
- Dos MSR (mechanically switched reactors o reactores mecánicamente conmutados) de 100 MVAR y dos MSR 50 MVAR de capacidad, en SE Nueva Pan de Azúcar 500kV.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de la operación para el escenario de demanda máxima E1 y para el escenario de demanda mínima E2.

#### **5.2.1 Análisis de resultados Escenario E1**

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 del Sistema de Transmisión de 500kV, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

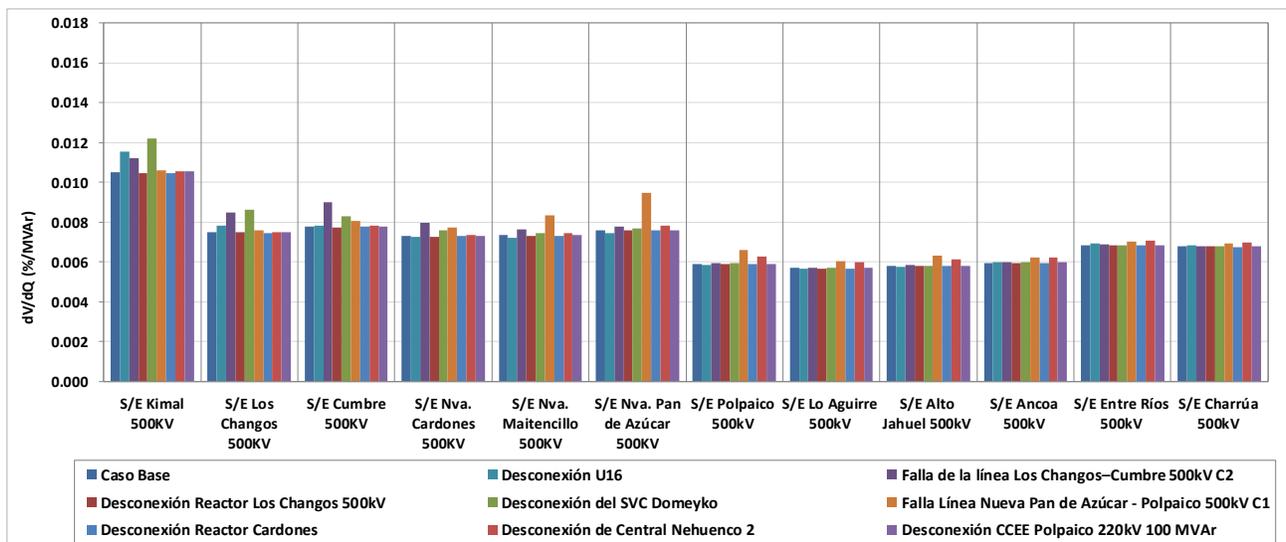


Figura 6 Sensibilidad de tensión ( $dV/dQ$ ) en barras de 500kV en E1.

Del gráfico anterior se puede 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 el escenario de demanda máxima, ninguna de las barras del Sistema de Transmisión de 500kV pierde controlabilidad de tensión.

### b) Tensiones en Barras del Sistema de Transmisión de 500kV

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

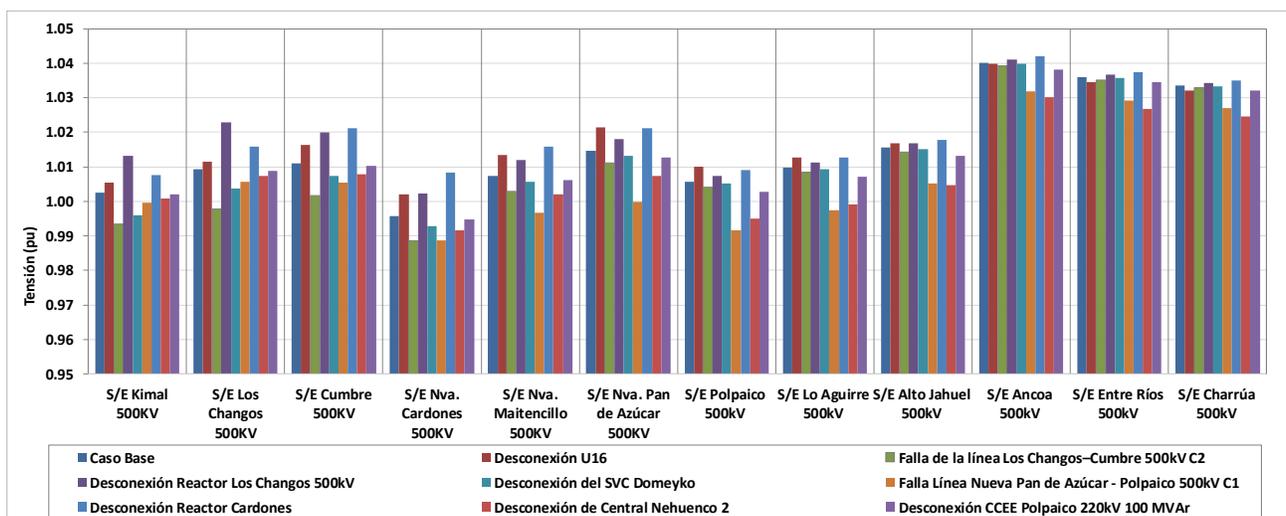


Figura 7 Tensiones en barras de 500kV en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras de 500kV presentan variaciones de tensión de hasta 1,5% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que la falla que provoca mayor cambio en la tensión es la falla de la línea Nueva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1.

### 5.2.2 Análisis de resultados Escenario E2

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 del Sistema de Transmisión de 500kV, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

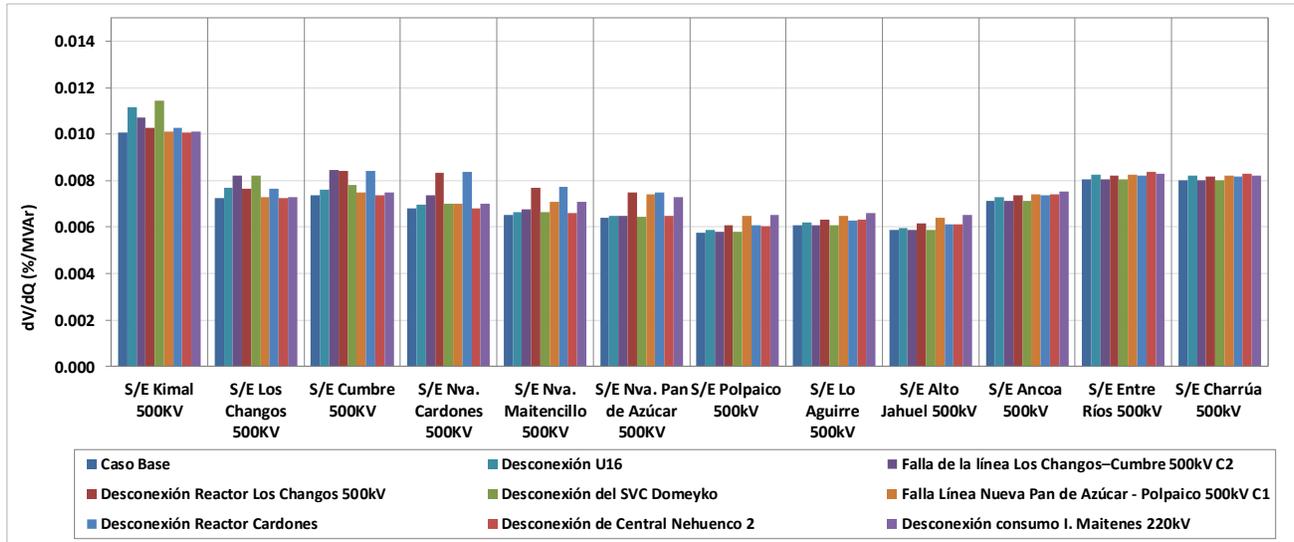


Figura 8 Sensibilidad de tensión ( $dV/dQ$ ) en barras de 500kV en E2.

Del gráfico anterior se puede 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 el escenario de demanda máxima, ninguna de las barras del Sistema de Transmisión de 500kV pierde controlabilidad de tensión.

#### b) Tensiones en Barras del Sistema de Transmisión de 500kV

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

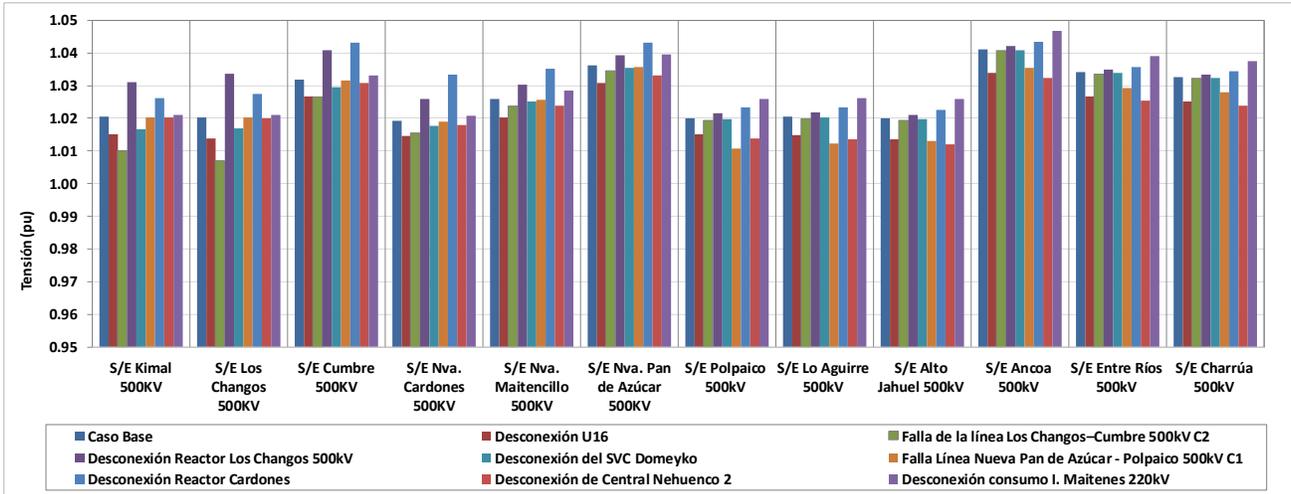


Figura 9 Tensiones en barras de 500kV en E2.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras de 500kV presentan variaciones de tensión de hasta 1,4% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que la falla que provoca mayor cambio en la tensión es la desconexión del Reactor Cardones.

## 5.3 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV

### 5.3.1 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 el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de control de tensión:

- Centrales despachadas: en la Tabla 6 se presenta el despacho de potencia activa de la Zona Norte Grande, en los escenarios analizados.
- SVC Domeyko +120/-80 MVAR

También se considera el aporte de los siguientes elementos de compensación de potencia reactiva:

- En la Tabla 6 se presentan los Parques ERV que se encuentran inyectando/absorbiendo reactivos (en modo PQ) en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.
- Reactor de S/E Arica 3 MVAR
- Condensador 2x10MVAR en la barra 13.8kV de S/E Parinacota
- Reactor de S/E Condores 30 MVAR
- Banco de CCEE de S/E Condores 2x15 MVAR
- Reactor de S/E Pozo Almonte 24 MVAR
- Reactor 1x30MVAR en la barra 220kV de S/E Lagunas
- Reactor de S/E Lagunas 30 MVAR
- Reactor de S/E Crucero 24 MVAR
- Reactores de S/E Laberinto 25 MVAR y 20 MVAR

Para modificar la tensión en las barras de las SS/EE se ajustan las consignas de tensión de las centrales y el SVC que inyectan en la zona, manteniendo en servicio los recursos estáticos de potencia reactiva. En la siguiente tabla se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios analizados: E1 (Demanda máxima) y E2 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide en los siguientes puntos:

- SVC: En el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: 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 6 Despacho de Potencia Activa y Reactiva Zona Norte Grande E1 y E2.

Resumen Escenario	E1		E2	
	P [MW]	Q [MVA <sub>r</sub> ]	P [MW]	Q [MVA <sub>r</sub> ]
ANG1	270.0	-3.1	272.1	-29.6
ANG2	270.0	-2.9	280.0	-28.7
CAVA	1.6	0.0	1.2	0.0
CCH1	260.0	-4.2	274.9	-4.0
CCH2	260.0	-4.1	155.0	-10.9
CHAP1	5.1	0.0	2.9	0.0
CHAP2	-	-	2.9	0.0
CTA	175.5	-7.3	137.0	-25.6
Cerro Dominador CSP	106.0	-1.2	90.0	-1.6
Cerro Pabellón TG1	19.0	-3.6	-	-
Cerro Pabellón TG2	10.0	0.0	-	-
IEM	300.0	-17.8	330.0	-54.7
NTO1	140.0	-1.2	140.0	-5.6
NTO2	95.0	-6.0	95.0	-6.1
U16	360.0	10.2	360.0	-5.3
PE Sierra Gorda Este	56.0	3.8	24.6	-1.4
PE Valle de los Vientos Gen 1-5	25.0	0.7	10.0	0.1
PE Valle de los Vientos Gen 6-9	22.0	0.6	8.0	0.0
PF Huatacondo	94.7	-16.6	-	-
PFV Andes Solar	19.5	-3.4	-	-
PFV Bolero	89.3	-15.6	-	-
PFV Cerro Dominador	100.0	-1.8	-	-
PFV Finis Terrae	60.0	0.7	-	-
PFV Finis Terrae 2	60.0	0.7	-	-
PFV Jama I	28.8	0.0	-	-
PFV Jama II	10.7	0.0	-	-
PFV La Huayca II	18.8	-3.3	-	-
PFV María Elena	58.2	-10.2	-	-
PFV Pampa Camarones	2.8	-0.5	-	-
PFV Puerto Seco Solar	7.2	-1.3	-	-
PFV Uribe Solar	48.0	-8.4	-	-
SVC Domeyko	-	86.7	-	55.4
<b>Total</b>	<b>2973.2</b>	<b>-9.3</b>	<b>2183.6</b>	<b>-118.0</b>

De los resultados de la Tabla 6, se puede apreciar que el escenario de demanda máxima posee mayor generación de potencia activa, debido principalmente a la gran presencia de parques fotovoltaicos. Por otro lado, el escenario de demanda mínima presenta un requerimiento de absorción de potencia reactiva 109 MVA<sub>r</sub> mayor que el escenario de demanda máxima.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de la operación para el escenario de demanda máxima E1 y el escenario de demanda mínima E2.

### 5.3.1.1 Análisis de resultados Escenario E1

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<sub>r</sub>], para las distintas barras de la Zona Norte Grande, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias. Las principales barras del sistema enmallado poseen una baja sensibilidad en comparación con las barras aquí mostradas.

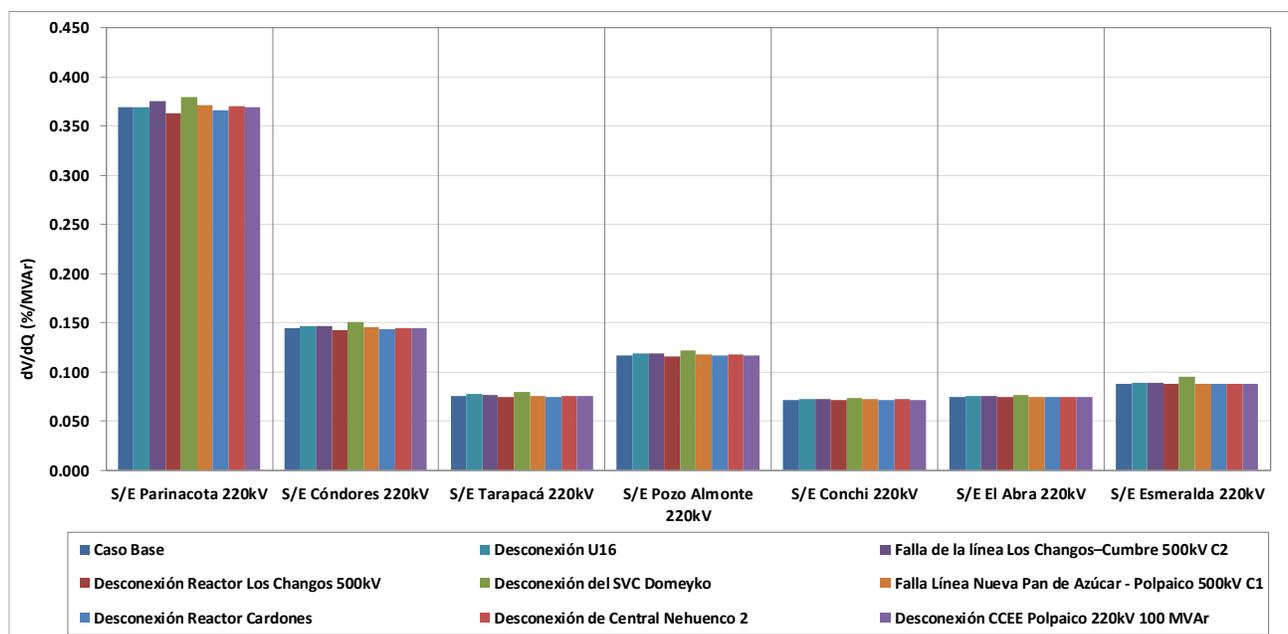


Figura 10 Sensibilidad de tensión ( $dV/dQ$ ) en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que, en operación normal y post contingencia la barra más débil corresponde a la de SE Parinacota 220kV, ubicada en el extremo norte del sistema.

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 el escenario de demanda máxima, 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.], del conjunto de barras de la Zona Norte Grande que presenta la mayor variación porcentual de la tensión se presentan a continuación.

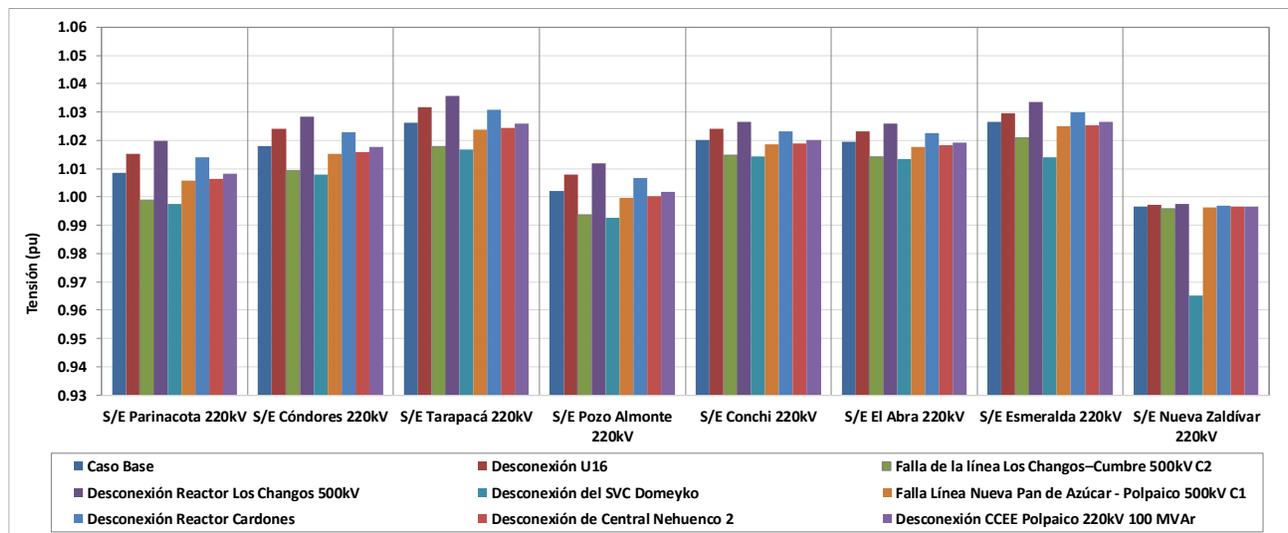


Figura 11 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona del Norte Grande presentan variaciones de tensión de hasta 3,2% 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.

### 5.3.1.2 Análisis de resultados Escenario E2

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. Las principales barras del sistema enmallado poseen una baja sensibilidad en comparación con las barras aquí mostradas.

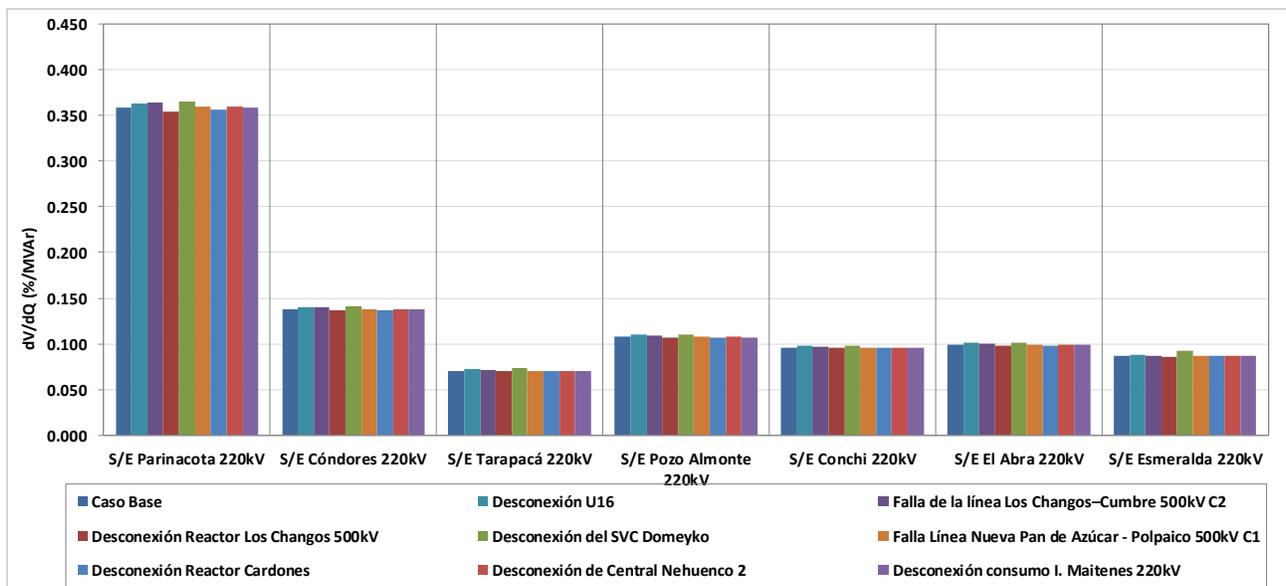


Figura 12 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E2.

En el gráfico anterior se puede observar que, en operación normal y post contingencia la barra más débil corresponde a la de SE Parinacota 220kV, ubicada en el extremo norte del sistema.

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 el escenario de demanda mínima, 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.

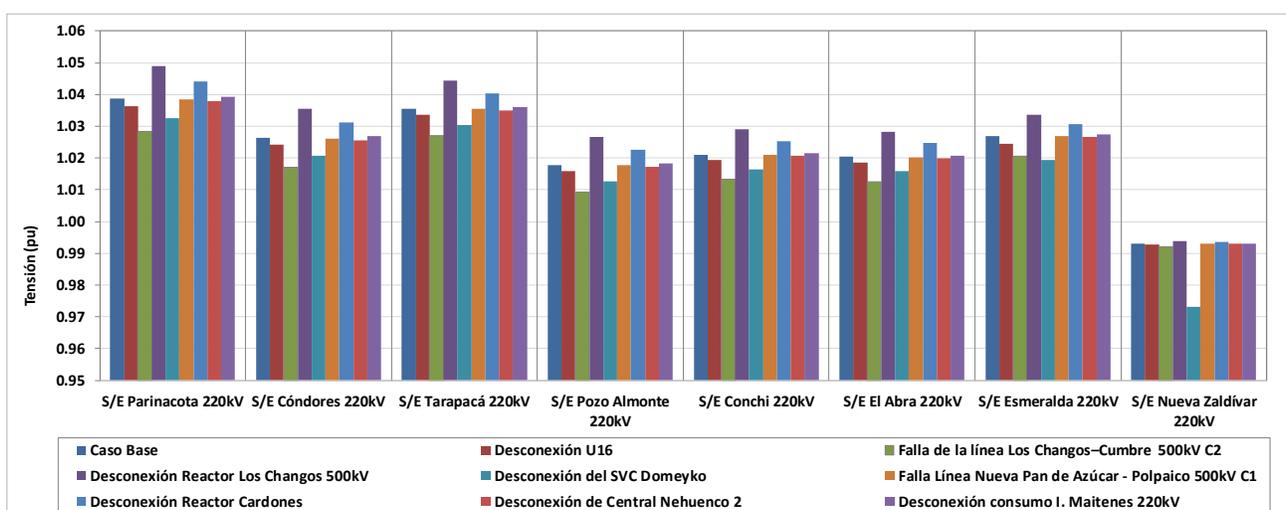


Figura 13 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Grande en E2.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona del Norte Grande poseen variaciones de tensión de hasta 2% 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.

### 5.3.2 Zona Norte Chico

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

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de control de tensión:

- Centrales despachadas: en la Tabla 7 se presenta el despacho de potencia activa de la Zona Norte Chico, en los escenarios analizados.

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de compensación de potencia reactiva:

- En la Tabla 7 se presentan Parques ERV inyectando/absorbiendo reactivos en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.
- Reactor de S/E Nueva Cardones 500 kV 175 MVar
- SVC Plus Diego de Almagro +140/ -100 MVar
- Reactor S/E Diego de Almagro 1x30 MVar
- CER S/E Cardones +100/-60 MVar
- CER S/E Maitencillo +24/-28 MVar
- 4 unidades de la Central Guacolda
- 2 CER S/E Pan de Azúcar +24/-28 MVar

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 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E1 (Demanda máxima) y E2 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide en los siguientes puntos:

- SVC: En el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: 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 Chico E1 y E2.

Resumen Escenario	E1		E2	
	P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]
Guacolda U1	50.0	12.1	150.0	-5.1
Guacolda U2	-	-	145.0	-5.7
Guacolda U3	120.0	10.3	-	-
Guacolda U4	150.0	7.9	150.0	-17.7
Guacolda U5	150.0	9.0	150.0	-16.2
Río Huasco	5.0	0.0	5.0	0.0
Los Molles U1	4.2	0.0	3.9	0.0
PE Cabo Leonés I_A	22.0	1.2	17.5	0.1
PE Cabo Leonés I_B	26.4	1.5	19.5	0.2
PE Canela I	8.7	-6.1	2.5	-5.7
PE Canela II	38.5	-5.5	14.6	-4.8
PE El Arrayán	72.3	0.0	64.4	-21.2
PE Los Cururos	66.1	-9.4	29.3	-9.6
PE Monte Redondo	22.7	-3.2	12.5	-4.1
PE Punta Colorada	9.0	-1.3	-	-
PE Punta Palmeras	24.8	-3.5	12.4	-4.1
PE Punta Sierra	41.6	-5.9	29.0	-5.9
PE San Juan 1	58.8	-8.4	14.6	0.0
PE San Juan 2	58.8	-8.4	14.6	0.0
PE Sarco	64.9	0.0	77.3	0.0
PE Talinay Oriente	56.2	0.0	20.4	-6.7
PE Talinay Poniente	35.0	0.0	30.4	-10.0
PE Taltal	49.1	-7.0	40.7	-13.4
PE Totoral	18.1	-2.6	10.0	-3.3
PFV Carrera Pinto	89.9	-12.8	-	-
PFV Chañares	34.9	-5.0	-	-
PFV Conejo	98.0	-14.0	-	-
PFV Diego de Almagro	20.7	-2.9	-	-
PFV Doña Carmen	30.0	-4.3	-	-
PFV El Pelicano	100.3	-10.3	-	-
PFV El Romero	170.1	-24.2	-	-
PFV Javiera	38.7	-5.5	-	-
PFV Lalackama	16.2	-2.3	-	-
PFV Llano de Llampos	83.2	-11.9	-	-
PFV Los Loros	40.8	-5.8	-	-
PFV Luz del norte	129.8	-18.5	-	-
PFV Pampa Solar Norte	59.3	-8.4	-	-
PFV Salvador	59.3	-8.4	-	-
PFV San Andrés	23.9	-3.4	-	-
SVC Plus	0.0	18.0	0.0	-42.9
CER Cardones	0.0	-5.6	0.0	-42.3
CER Maitencillo	0.0	-9.5	0.0	-17.2
CER Pan de Azúcar 1	0.0	-10.7	0.0	-27.4
CER Pan de Azúcar 2	0.0	-10.7	0.0	-27.4
STATCOM Nva. Pan de Azúcar	0.0	-30.3	0.0	-52.4
<b>Total:</b>	<b>2147.3</b>	<b>-205.8</b>	<b>1013.6</b>	<b>-342.6</b>

De los resultados de la Tabla 7, se puede apreciar que el escenario de demanda máxima posee mayor requerimiento de potencia activa, debido a la demanda del sistema y de la alta presencia de ERV. Sin embargo, con respecto al escenario de demanda mínima, el requerimiento de absorción de potencia reactiva requiere de 119 MVar adicionales, respecto al escenario de demanda máxima.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de operación para el escenario de demanda máxima E1 y del escenario de demanda mínima E2.

### 5.3.2.1 Análisis de resultados Escenario E1

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.

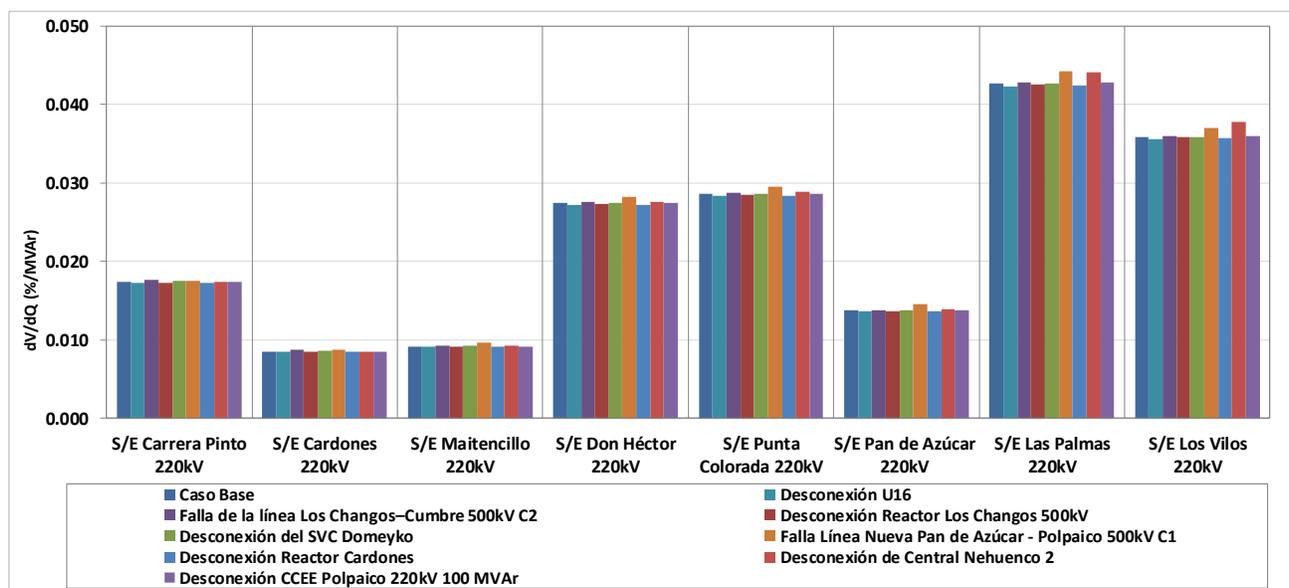


Figura 14 Sensibilidad de tensión ( $dV/dQ$ ) en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que, tanto para operación normal como post contingencia, la barra más débil corresponde a la de S/E Las Palmas 220kV, ante la falla del circuito Pan de Azúcar – Polpaico 500kV C1.

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 el escenario de demanda máxima, ninguna de las barras de la Zona del Norte Chico pierde controlabilidad de tensión.

## 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.

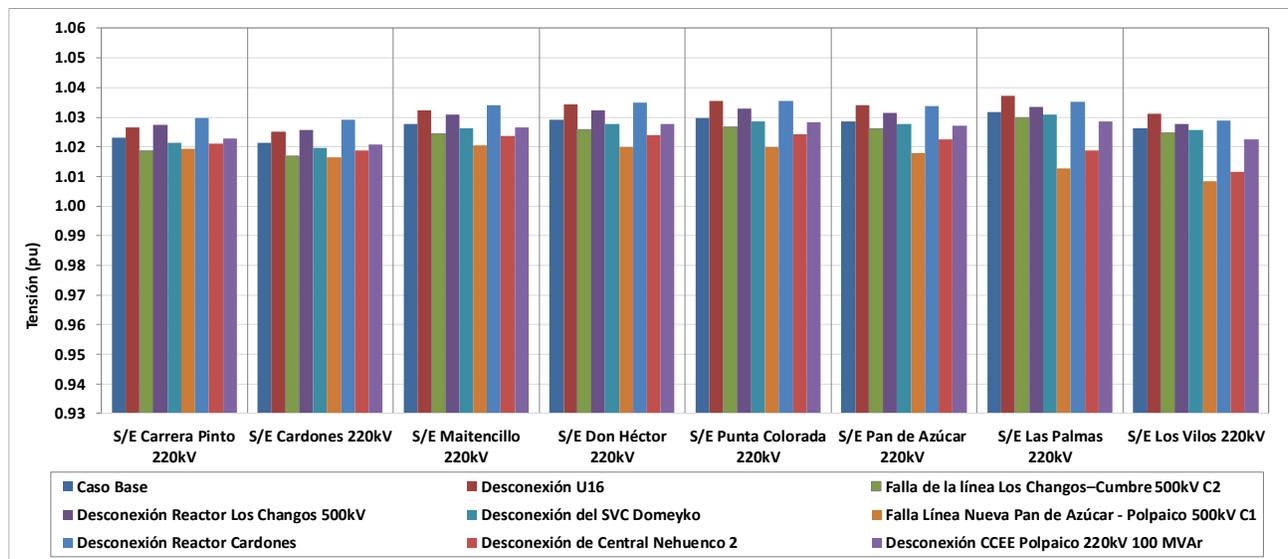


Figura 15 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona del Norte Chico poseen variaciones de tensión de hasta 1,9% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que la falla que provoca mayor cambio en la tensión es la falla de la línea Nueva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1.

### 5.3.2.2 Análisis de resultados Escenario E2

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.

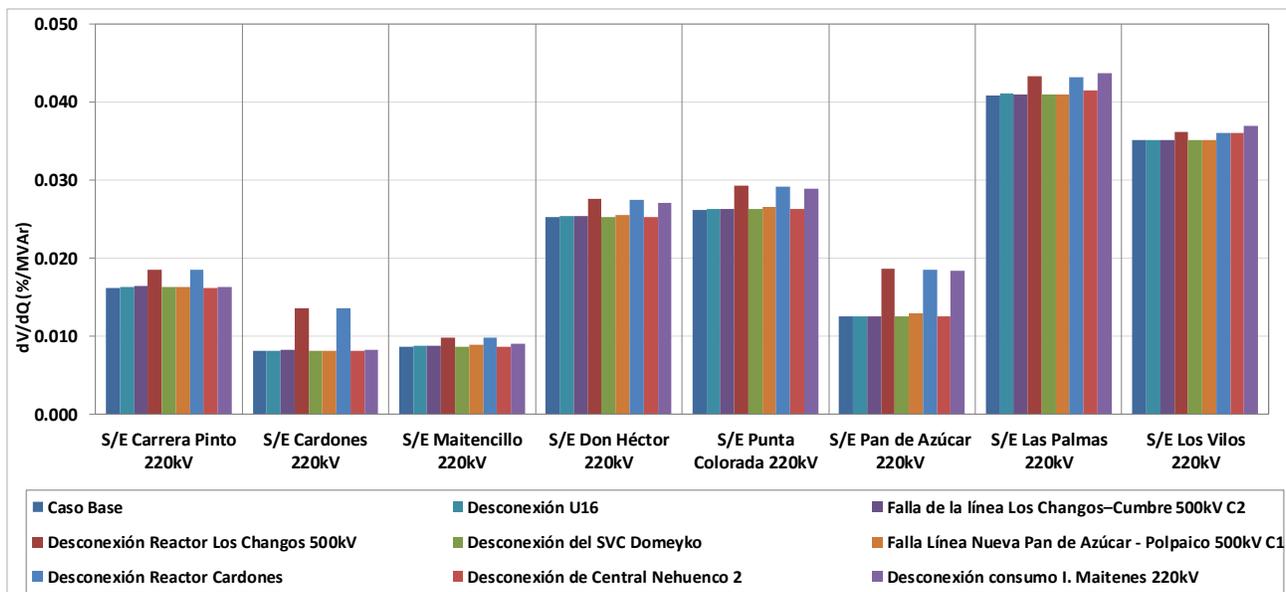


Figura 16 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E2.

En el gráfico anterior se puede observar que, tanto para operación normal como post contingencia, la barra más débil corresponde a la de S/E Las Palmas 220kV, ante la desconexión de consumo I. Maitenes 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, para el escenario de demanda mínima, ninguna de las barras de la Zona del Norte Chico pierde controlabilidad de tensión.

### 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.

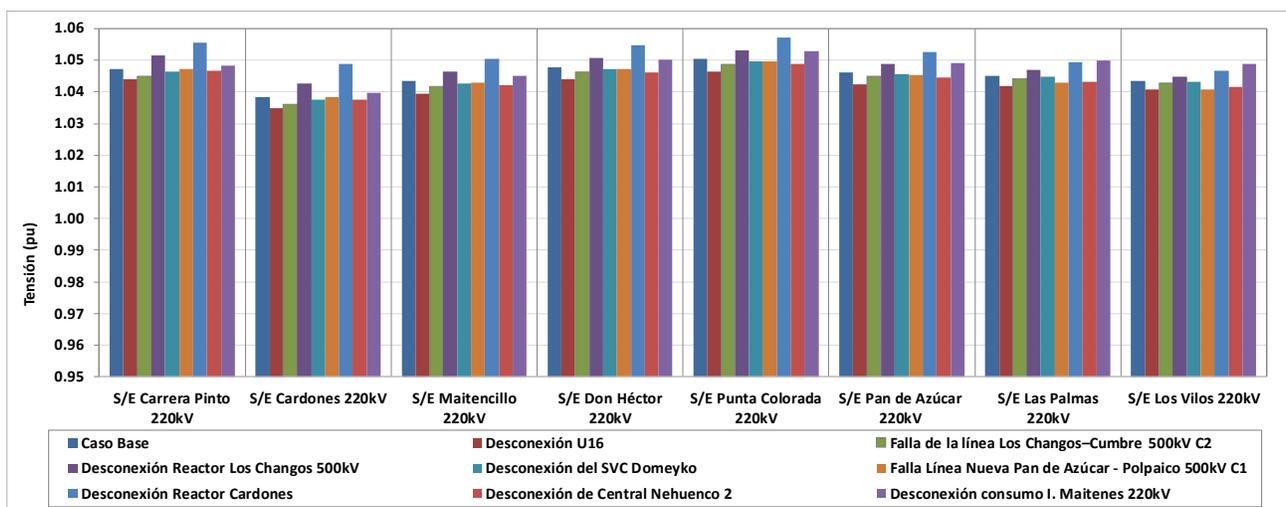


Figura 17 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E2.

### 5.3.3 Zona Centro

La Zona Centro, se encuentra desde la SE Nogales hasta SE Alto Jahuel.

En esta zona los principales recursos de control de tensión corresponden a las centrales térmicas ubicadas en la zona de San Luis y las centrales hidroeléctricas de Rapel.

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de control de tensión:

- Centrales despachadas: en la Tabla 8 se presenta el despacho de potencia activa de la Zona Centro, en los escenarios analizados.

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de compensación de potencia reactiva:

- En la Tabla 8 se presentan Parques ERV inyectando/absorbiendo reactivos en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.
- 1x100 MVar bancos de CCEE en la barra 220kV de S/E Polpaico.
- 1x50 MVar bancos de CCEE en la barra 220kV de S/E Cerro Navia.
- 8 de 8 bancos de CCEE (2x 4x33 MVar, 66kV) transformador 500/220 kV en S/E Alto Jahuel.
- 3 de 3 bancos de CCEE (3x30 MVar, 13.2kV) transformador 220/110 kV en S/E Alto Jahuel.
- 1x65 MVar bancos de CCEE en la barra 220kV de S/E Alto Jahuel.
- CER de S/E Polpaico.
- STATCOM de S/E Cerro Navia.

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 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E1 (Demanda máxima) y E2 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide en los siguientes puntos:

- SVC: En el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: 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 Centro E1 y E2.

Resumen Escenario	E1		E2	
	P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]
Blanco (Aconcagua U1)	30.0	8.0	59.0	1.9
Central Aconcagua	-	-	40.6	0.0
Campiche	265.0	87.5	-	-
Chacabuquito U1	4.0	0.0	4.5	0.0
Chacabuquito U2	4.0	0.0	4.5	0.0
Chacabuquito U3	4.0	0.0	4.5	0.0
Chacabuquito U4	4.0	0.0	4.5	0.0
Hornitos	45.0	-1.1	46.0	-7.8
Juncal (Aconcagua U2)	24.0	4.8	23.0	0.3
Los Quilos U1	10.0	0.0	11.0	0.0
Los Quilos U2	10.0	0.0	11.0	0.0
Los Quilos U3	10.0	0.0	11.0	0.0
Nueva Ventanas	270.0	89.5	-	-
Alfalfal U1	70.0	4.9	87.5	3.7
Alfalfal U2	70.0	4.9	83.3	3.4
Carena	8.8	0.0	7.6	0.0
El Volcán	13.0	5.0	12.0	0.0
Florida	40.8	6.0	21.3	0.0
Guayacán U1-U2	9.2	0.0	5.0	0.0
Loma Los Colorados II (2da Ampliacion)	2.8	0.0	1.6	0.0
Loma Los Colorados II (U4 y U5)	2.8	0.0	-	-
Loma Los Colorados II (U6 y U7)	2.8	0.0	-	-
Loma Los Colorados II (deU8 aU14)	9.7	0.0	-	-
Maitenes U1-U2-U3	12.0	0.9	12.0	0.0
Nueva Renca TG	200.0	35.8	200.0	-7.9
Nueva Renca TV	99.8	28.2	98.4	-6.0
Queltehues U1	13.0	0.0	14.0	0.0
Queltehues U2	13.0	5.0	14.0	0.0
Queltehues U3	13.0	5.0	14.0	0.0
Nehuenco U1 TG	-	-	160.0	-5.7
Nehuenco U1 TV	-	-	100.0	-4.1
Nehuenco U2 TG	240.0	83.1	256.0	0.3
Nehuenco U2 TV	138.0	46.1	144.0	-0.1
Rapel U1	39.7	9.4	-	-
Rapel U2	34.7	10.9	-	-
Rapel U3	39.7	9.4	-	-
Rapel U4	34.7	10.9	-	-
Rapel U5	34.7	8.9	40.0	-1.4
PFV Quilapilún	80.1	0.0	-	-
PFV Santiago Solar	89.3	14.2	-	-
CER Polpaico	0.0	5.5	0.0	-34.9
VSC Cerro Navia	0.0	3.2	0.0	-28.4
<b>Total</b>	<b>1991.3</b>	<b>486.1</b>	<b>1490.3</b>	<b>-86.8</b>

De los resultados de la Tabla 8, se puede apreciar que el escenario de demanda máxima posee mayor requerimiento de potencia activa, debido a la demanda del sistema y de la alta presencia de ERV proveniente de la zona aledaña Norte Chico. Sin embargo, con respecto al escenario de demanda mínima, el requerimiento de absorción de potencia reactiva es de 156 MVar y para el escenario de demanda máxima, el requerimiento es de inyección, correspondiente a 537 MVar.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de operación para el escenario de demanda máxima E1 y del escenario de demanda mínima E2.

### 5.3.3.1 Análisis de resultados Escenario E1

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, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

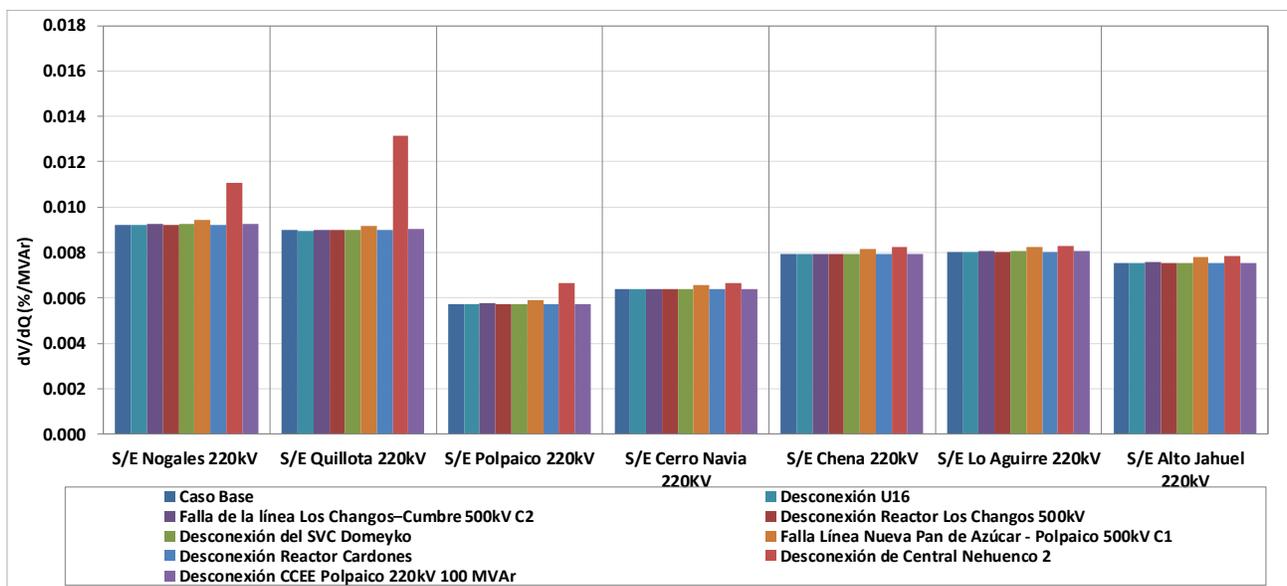


Figura 18 Sensibilidad de tensión ( $dV/dQ$ ) en barras de 220kV de la Zona Centro en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que, en operación normal la barra más débil corresponde a la SE Nogales 220kV, mientras que la barra más débil post contingencia es la SE Quillota 220kV para la desconexión de la Central Nehuenco 2.

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 el escenario de demanda máxima, ninguna de las barras de la Zona Centro pierde controlabilidad de tensión.

## b) Tensiones en Barras de la Zona Centro 220kV

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

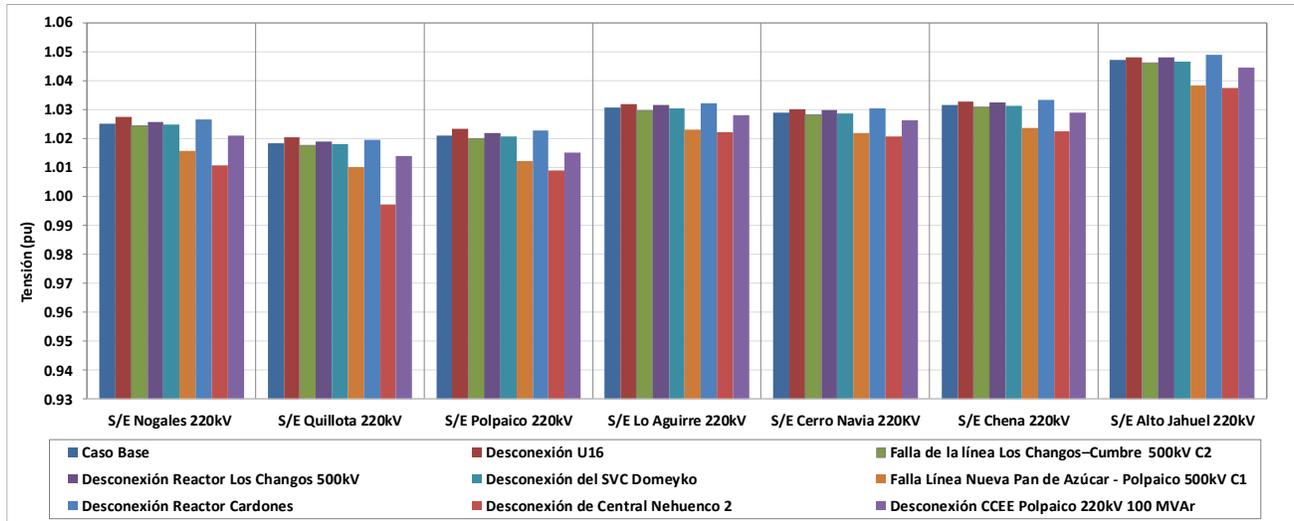


Figura 19 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Norte Chico en E1.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona Centro poseen variaciones de tensión de hasta 2.1% con respecto al valor pre-falla. Se puede apreciar que la falla que provoca mayor cambio en la tensión es la desconexión de la Central Nehuenco 2.

### 5.3.3.2 Análisis de resultados Escenario E2

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, en condiciones de operación normal y en los escenarios post contingencias.

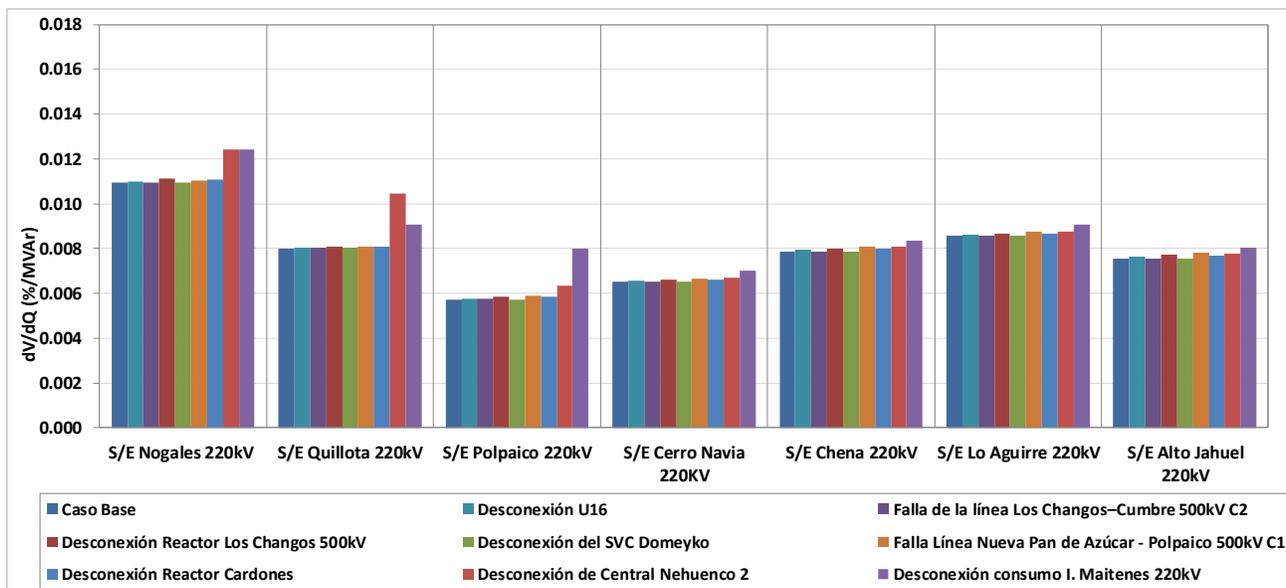


Figura 20 Sensibilidad de tensión (dV/dQ) en barras de 220kV de la Zona Centro en E2.

En el gráfico anterior se puede observar que, tanto para operación normal como post contingencia, la barra más débil corresponde a la SE Nogales 220kV, ante la desconexión de la Central Nehuenco 2 o de la desconexión del consumo I. Maitenes 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, para el escenario de demanda mínima, ninguna de las barras de la Zona Centro pierde controlabilidad de tensión.

### b) Tensiones en Barras de la Zona Centro 220kV

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

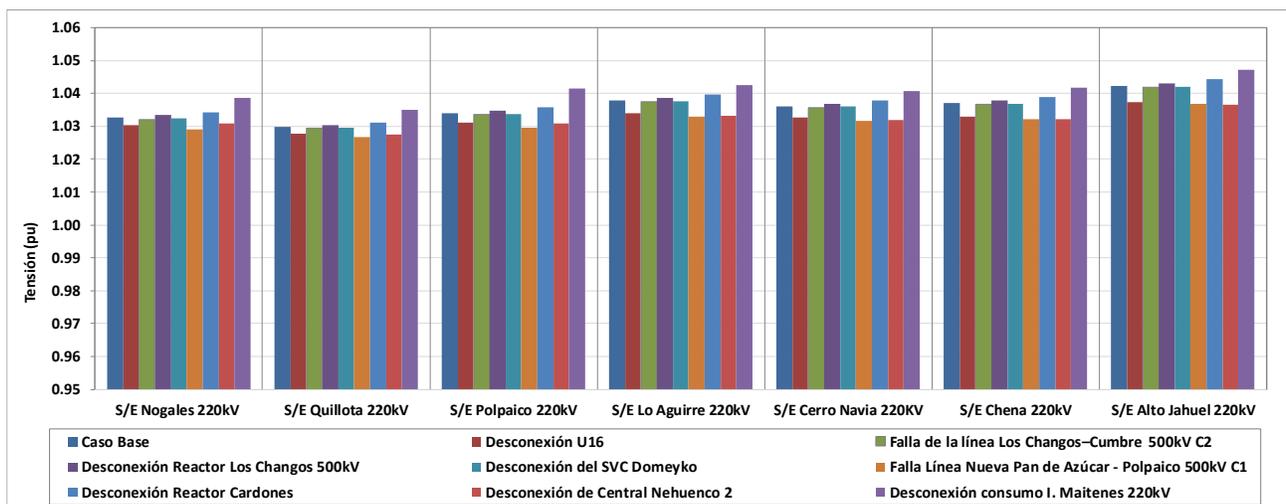


Figura 21 Tensiones en barras de 220kV de la Zona Centro en E2.

En el gráfico anterior se puede observar que las barras en la Zona Centro poseen variaciones de tensión por debajo del 1% con respecto al valor pre-falla.

#### 5.3.4 Zona Sur

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

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de control de tensión:

- Centrales despachadas: en la Tabla 9 se presenta el despacho de potencia activa de la Zona Centro, en los escenarios analizados.

Para el análisis se considera el aporte de los siguientes elementos de compensación de potencia reactiva:

- En la Tabla 9 se presentan Parques ERV inyectando/absorbiendo reactivos en su punto de conexión de acuerdo con lo exigido en la NT.
- 8 de 8 bancos de CCEE (2x 4x33 MVar, 66kV) transformador 500/220 kV en S/E Alto Jahuel.
- 3 de 3 bancos de CCEE (3x30 MVar, 13.2kV) transformador 220/110 kV en S/E Alto Jahuel.
- 1x65 MVar bancos de CCEE en la barra 220kV de S/E Alto Jahuel.
- CER de SE Puerto Montt.

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 se muestran los despachos de potencia activa y reactiva resultantes para los dos escenarios E1 (Demanda máxima) y E2 (Demanda mínima).

Dependiendo del tipo de recurso de control de tensión, la inyección de potencia reactiva se mide en los siguientes puntos:

- SVC: En el lado de alta de los transformadores elevadores.
- Centrales generadoras: 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 Sur E1 y E2.

Resumen Escenario	E1		E2	
	P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]
Chacayes U1	45.0	0.1	50.0	-1.4
Chacayes U2	45.0	-2.5	50.0	0.4
Machicura U1	47.0	-6.1	-	-
Machicura U2	-	-	23.0	-6.6
Colbún U1	90.7	-15.7	-	-
Colbún U2	90.7	-15.4	-	-
CH Río Colorado U1	-	-	7.3	0.0
Loma Alta	29.6	-5.3	36.9	-9.9
Los Hierros U1	11.0	0.0	3.3	0.0
Los Hierros U2	11.0	0.0	-	-
Pehuenche U1	122.2	-6.1	-	-
Santa Marta	12.0	0.0	10.0	0.0
Sauzal U1	22.0	-1.8	14.2	-14.6
Sauzal U2	22.0	5.3	14.2	3.8
Sauzal U3	22.0	6.7	14.2	1.9
Sauzalito	11.0	0.0	11.0	0.0
Celco	5.0	0.0	5.0	0.0
Cipreses U1	5.0	-2.9	35.0	-3.5
Cipreses U2	-	-	35.0	4.2
Cipreses U3	5.0	-0.4	2.3	4.8
Confluencia U1	80.0	0.5	69.0	1.9
Confluencia U2	-	-	69.0	1.9
Curillinque	70.4	-3.2	84.3	-0.5
El Paso U1	15.0	1.9	10.0	1.6
El Paso U2	15.0	1.9	10.0	1.6
El Paso U3	-	-	10.0	1.6
Embalse Ancoa U1	7.0	0.0	10.3	0.0
Embalse Ancoa U2	7.0	0.0	10.3	0.0
Isla U1	30.5	-2.4	34.5	1.2
Isla U2	30.5	-2.4	34.5	1.2
La Higuera U1	55.0	-2.6	79.0	14.0
La Higuera U2	55.0	-2.6	79.0	14.0
Licanten	6.0	0.0	3.0	0.0
Lircay U1	8.1	0.0	10.1	0.0
Lircay U2	8.1	0.0	10.1	0.0
Mallarauco	3.2	0.0	3.4	0.0
Mariposas	-	-	3.3	0.0

Resumen Escenario	E1		E2	
	P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]
Nueva Aldea U1	7.0	0.0	7.0	0.0
Nueva Aldea U2	7.0	-7.6	7.0	0.0
Ojos de Agua	5.2	0.0	7.7	0.0
Providencia U1	1.0	0.0	1.3	0.0
San Andrés U1	20.0	0.1	20.0	0.9
San Andrés U2	20.0	0.1	20.0	0.9
San Ignacio	14.8	-8.4	-	-
Viñales	10.0	4.6	10.0	-3.3
Abanico U1	14.0	0.0	12.0	0.0
Abanico U2	14.0	0.0	12.0	0.0
Abanico U3	-	-	12.0	0.0
Antuco U1	67.6	6.1	79.6	-4.2
Antuco U2	84.8	6.9	85.6	-3.9
Cholguán	9.0	0.0	9.0	0.0
El Toro U1	82.6	-0.3	79.8	-4.2
El Toro U2	82.6	-0.3	79.8	-4.2
El Toro U3	82.6	-0.3	79.8	-4.2
El Toro U4	82.6	-0.3	-	-
Laja (Energía Verde)	7.0	0.0	-	-
Laja 2	5.0	0.0	5.0	0.0
Laja 3	10.0	0.0	10.0	0.0
Laja 4	10.0	-12.9	10.0	-9.7
Llauquereo	-	-	0.2	0.0
Mampil U1	20.0	-1.2	-	-
Masisa	9.0	0.0	-	-
Palmucho	24.9	-3.5	29.0	-5.2
Pangue U1	99.0	15.6	83.8	-4.5
Peuchen U1	35.0	-1.6	-	-
Picoiquén	5.4	0.0	14.0	0.0
Quilleco U1	35.7	5.6	30.8	-2.2
Ralco U1	276.3	29.4	262.3	7.3
Ralco U2	339.9	35.0	-	-
Renaico	3.2	0.0	3.8	0.0
Rucue U1	83.2	-3.0	71.7	-10.1
Santa Fe Energía	5.0	-3.5	5.0	2.0
Santa María	350.0	21.0	350.0	-17.2
Bocamina U2	349.0	21.2	-	-

Resumen Escenario	E1		E2	
	P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]
PetroPower	65.0	7.0	65.0	0.0
Angostura U1	36.3	-2.3	43.1	-14.6
Angostura U3	11.8	-3.9	13.7	-6.4
Laja 1A	-	-	9.2	0.0
Malalcahuello	-	-	3.2	0.0
Canutillar U1	62.2	2.0	-	-
Canutillar U2	62.2	2.0	-	-
Carilafquén	12.4	1.1	12.2	-1.1
Rucatayo	35.0	13.6	21.0	0.0
Trapen N1	18.6	6.0	-	-
Valdivia	8.0	1.6	8.0	-2.7
Callao	2.0	0.0	1.0	0.0
Capullo	3.4	0.0	6.0	0.0
El Manzano	2.8	0.0	2.4	0.0
Las Nalcas	4.8	0.0	3.0	0.0
Licán	13.0	0.0	-	-
Pilmaiquen U1	2.0	0.0	5.0	0.0
Pilmaiquen U2	2.0	0.0	5.0	0.0
Pilmaiquen U3	2.0	0.0	5.0	0.0
Pilmaiquen U4	4.0	0.0	5.0	0.0
Pilmaiquen U5	4.0	0.0	-	-
Pulelfu U1	3.1	0.0	4.4	0.0
Pullinque U1	15.0	6.0	-	-
Pullinque U2	8.0	3.0	-	-
Truful-Truful	0.2	0.0	0.5	0.0
PE Ucuquer II	2.8	0.0	6.1	-1.8
PE Cuel	7.6	0.0	21.9	-1.0
PE La Esperanza	3.6	0.0	5.3	-0.2
PE Los Buenos Aires	9.0	0.0	11.9	-0.5
PE Aurora	48.7	11.1	58.0	-2.6
PE Renaico	32.6	9.5	42.1	-1.9
PE San Gabriel (1-25)	70.7	17.7	42.0	-1.9
PE San Gabriel (26-61)	-	-	42.0	-1.9
PE San Pedro	13.0	0.0	15.6	-0.7
CER Puerto Montt	0.0	21.1	0.0	-19.6
<b>Total</b>	<b>3825.3</b>	<b>145.3</b>	<b>2697.0</b>	<b>-101.3</b>

En la zona sur no se consideraron contingencias, debido a que el cambio topológico considerado en el horizonte de este estudio no contempla variaciones en dicha zona, y se realizará un análisis estadístico de las tensiones para verificar las tensiones de las barras de dicha zona (Anexo 9.2.4).

## 6 DEFINICIÓN DE TENSIONES DE SERVICIO

### 6.1 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, lo que de acuerdo con lo establecido en los Artículo 5-24, 5-28 y 5-52 de la NT para cada nivel de la tensión nominal de las instalaciones, se puede expresar como sigue:

El SI deberá operar en **Estado Normal** con todos los elementos e instalaciones del 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 ST con tensión nominal igual o superior a 500 [kV].
- b) 0,95 y 1,05 por unidad, para instalaciones ST 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 ST con tensión nominal inferior a 200 [kV].

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 servicio 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 servicio 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 servicio de los equipos.

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 servicio 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 servicio 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 servicio de los equipos.

## 6.2 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 buscan reflejar los criterios 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.).

Así, de acuerdo con lo señalado y considerando la ausencia de cambios topológicos en algunas de las zonas definidas, para la definición de las Tensiones de Servicio se realizó un análisis de los registros históricos de tensión, con un horizonte desde el 17 de noviembre de 2018 hasta el 17 de noviembre de 2019, 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.

De esta manera, se busca cuál es 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.

Por otro lado, para las nuevas instalaciones que provoquen un cambio topológico en el SI y, por ende, produzcan variaciones de las tensiones, se propondrán Tensiones de Servicio mediante análisis de flujos estáticos y de sensibilidad  $dV/dQ$ .

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.

### 6.3 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:

#### 6.3.1 Tensiones de Servicio sin obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV

La Tabla 10 muestra las Tensiones de Servicio que estarán vigentes hasta que las nuevas obras entren en servicio.

Tabla 10 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 [kV]	0.97Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.93Vs [kV]
<b>Kimal</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
Los Changos	502	517.1	486.9	527.1	476.9	527.1	466.9
Cumbre	512	527.4	496.6	537.6	486.4	537.6	476.2
Nueva Cardones	512	527.4	496.6	537.6	486.4	537.6	476.2
Nueva Maitencillo	512	527.4	496.6	537.6	486.4	537.6	476.2
Nueva Pan de Azúcar	514	529.4	498.6	539.7	488.3	539.7	478.0
Polpaico	504	519.1	488.9	529.2	478.8	529.2	468.7
Lo Aguirre	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Alto Jahuel	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Ancoa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3
<b>Entre Ríos</b>	<b>510</b>	<b>525.3</b>	<b>494.7</b>	<b>535.5</b>	<b>484.5</b>	<b>535.5</b>	<b>474.3</b>
Charrúa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3

En la tabla anterior se presentan las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 500kV de las SSEE Kimal y Entre Ríos. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 500kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican.

A continuación, se muestra una gráfica de 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 vigentes hasta que las nuevas obras entren en servicio.

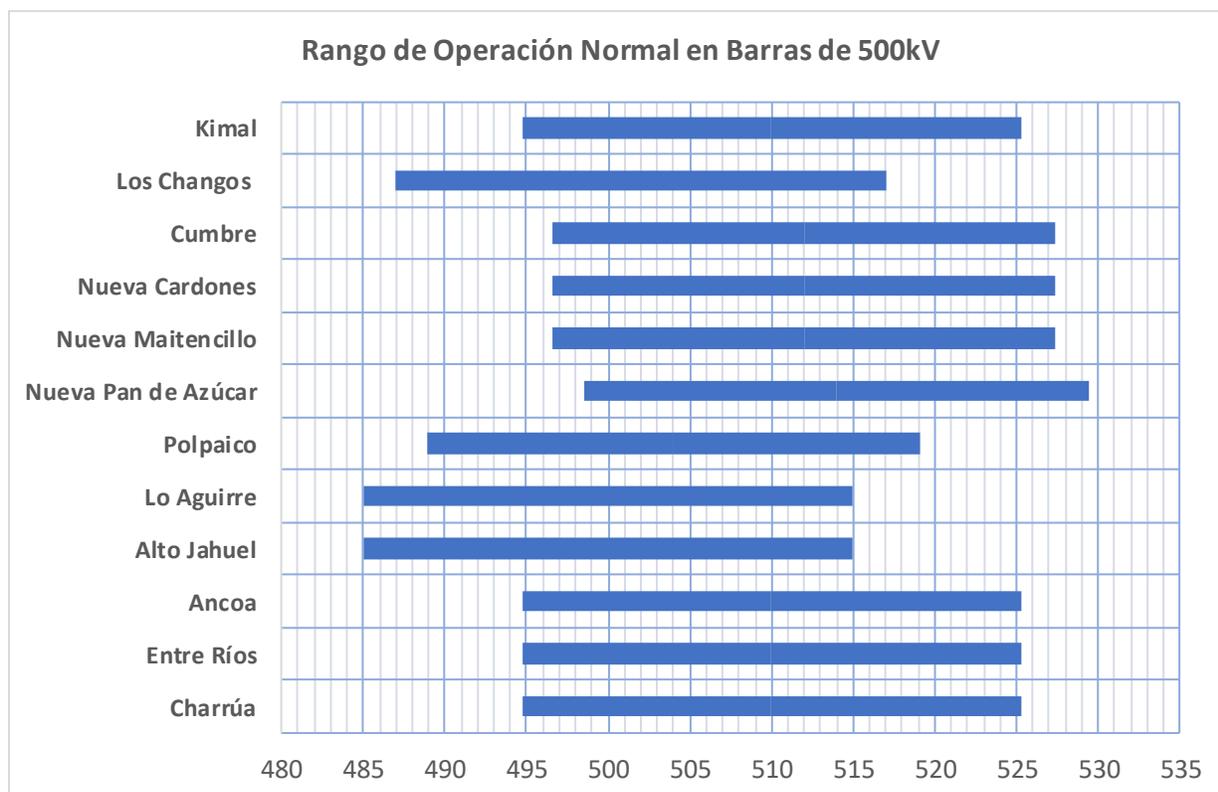


Figura 22: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las Barras de 500kV del Sistema Eléctrico Nacional, considerando los Rangos de Operación Normal ( $\pm 3\%$ ).

### 6.3.2 Propuesta de Tensiones con obras de compensación reactiva en Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV

La zona que se ve particularmente modificada producto de la entrada en operación de nuevas obras es la zona del Norte Chico, en particular con el ingreso de los siguientes proyectos:

- Segundos transformadores de 500/220kV de 750 MVA en las SS/EE Nueva Cardones, Nueva Maitencillo y Nueva Pan de Azúcar.
- Proyecto de compensación reactiva de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV, que incluye:
  - La disminución a la mitad de las CCSS de la línea Nueva Pan de Azúcar-Polpaico en la SE Nueva Pan de Azúcar y la instalación de una nueva CCSS de igual impedancia en la SE Polpaico.
  - Dos unidades de STATCOM de +50/-50 MVar en S/E Nueva Pan de Azúcar 500kV.
  - Dos MSR (mechanically switched reactors o reactores mecánicamente conmutados) de 100 MVar y dos MSR 50 MVar de capacidad.

La Tabla 11 muestra las Tensiones de Servicio que estarán vigentes a partir de la entrada en servicio de las nuevas obras.

*Tabla 11 Tensiones de Servicio en barras de 500 kV y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia*

Barra 500kV	Propuesta Vservicio [kV]	Rango de Operación					
		Estado Normal		Estado de Alerta		Estado de Emergencia	
		1.03Vs [kV]	0.97Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.95Vs [kV]	1.05Vs [kV]	0.93Vs [kV]
<b>Kimal</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
<b>Los Changos</b>	<b>500</b>	<b>515.0</b>	<b>485.0</b>	<b>525.0</b>	<b>475.0</b>	<b>525.0</b>	<b>465.0</b>
<b>Cumbre</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
<b>Nueva Cardones</b>	<b>500</b>	<b>515.0</b>	<b>485.0</b>	<b>525.0</b>	<b>475.0</b>	<b>525.0</b>	<b>465.0</b>
<b>Nueva Maitencillo</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
<b>Nueva Pan de Azúcar</b>	<b>510</b>	<b>525.3</b>	<b>494.7</b>	<b>535.5</b>	<b>484.5</b>	<b>535.5</b>	<b>474.3</b>
<b>Polpaico</b>	<b>505</b>	<b>520.2</b>	<b>489.9</b>	<b>530.3</b>	<b>479.8</b>	<b>530.3</b>	<b>469.7</b>
Lo Aguirre	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Alto Jahuel	500	515.0	485.0	525.0	475.0	525.0	465.0
Ancoa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3
Entre Ríos	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3
Charrúa	510	525.3	494.7	535.5	484.5	535.5	474.3

En la tabla anterior se proponen las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 500kV de las SSEE Los Changos, Cumbre, Nueva Cardones, Nueva Maitencillo, Nueva Pan de Azúcar y Polpaico. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 500kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican.

A continuación, se muestra una gráfica de 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, una vez que las nuevas obras entren en servicio.

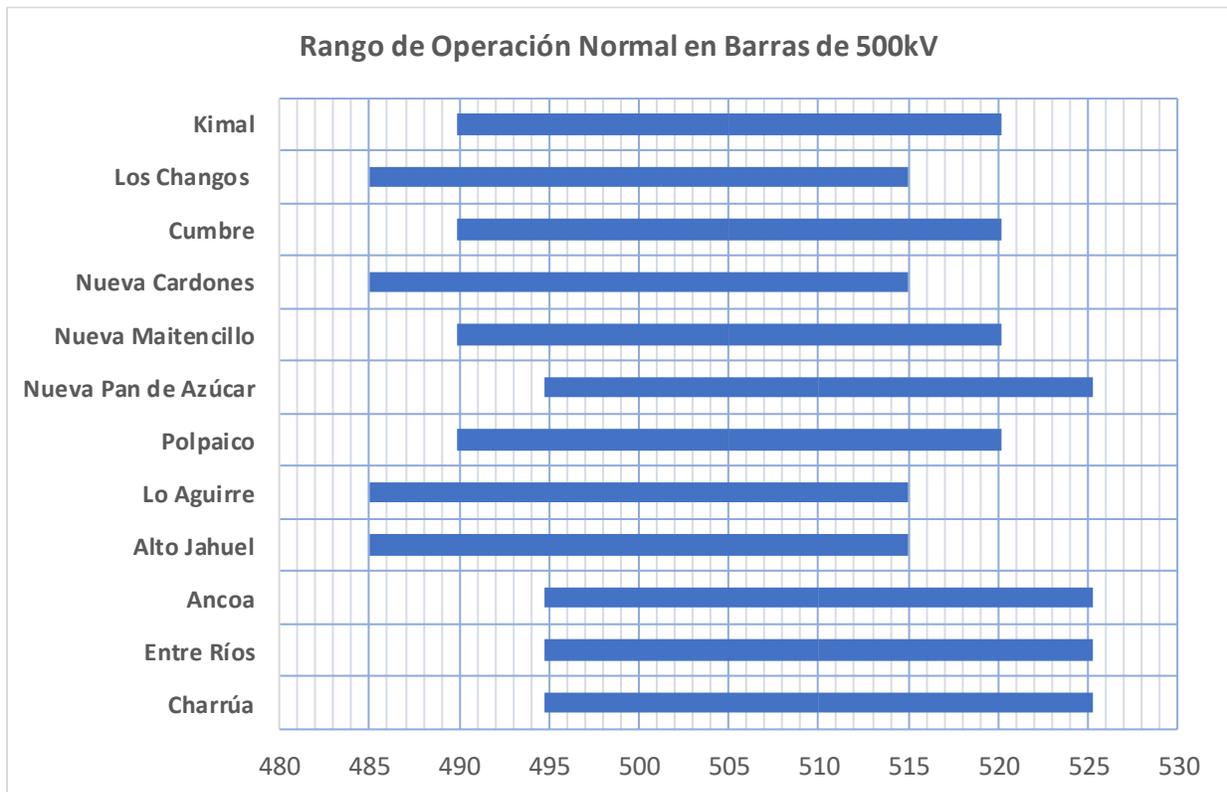


Figura 23: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las Barras de 500kV del Sistema Eléctrico Nacional, considerando los Rangos de Operación Normal ( $\pm 3\%$ ).

## 6.4 Instalaciones del Sistema de Transmisión de 220kV

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

### 6.4.1 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 estas barras será 220kV. Los histogramas asociados a las principales barras del Norte Grande se encuentran en el Anexo 9.2.1.

### 6.4.2 Tensiones de Servicio Zona Norte Chico

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 12. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla, la Tensión de Servicio será igual a la de la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica.

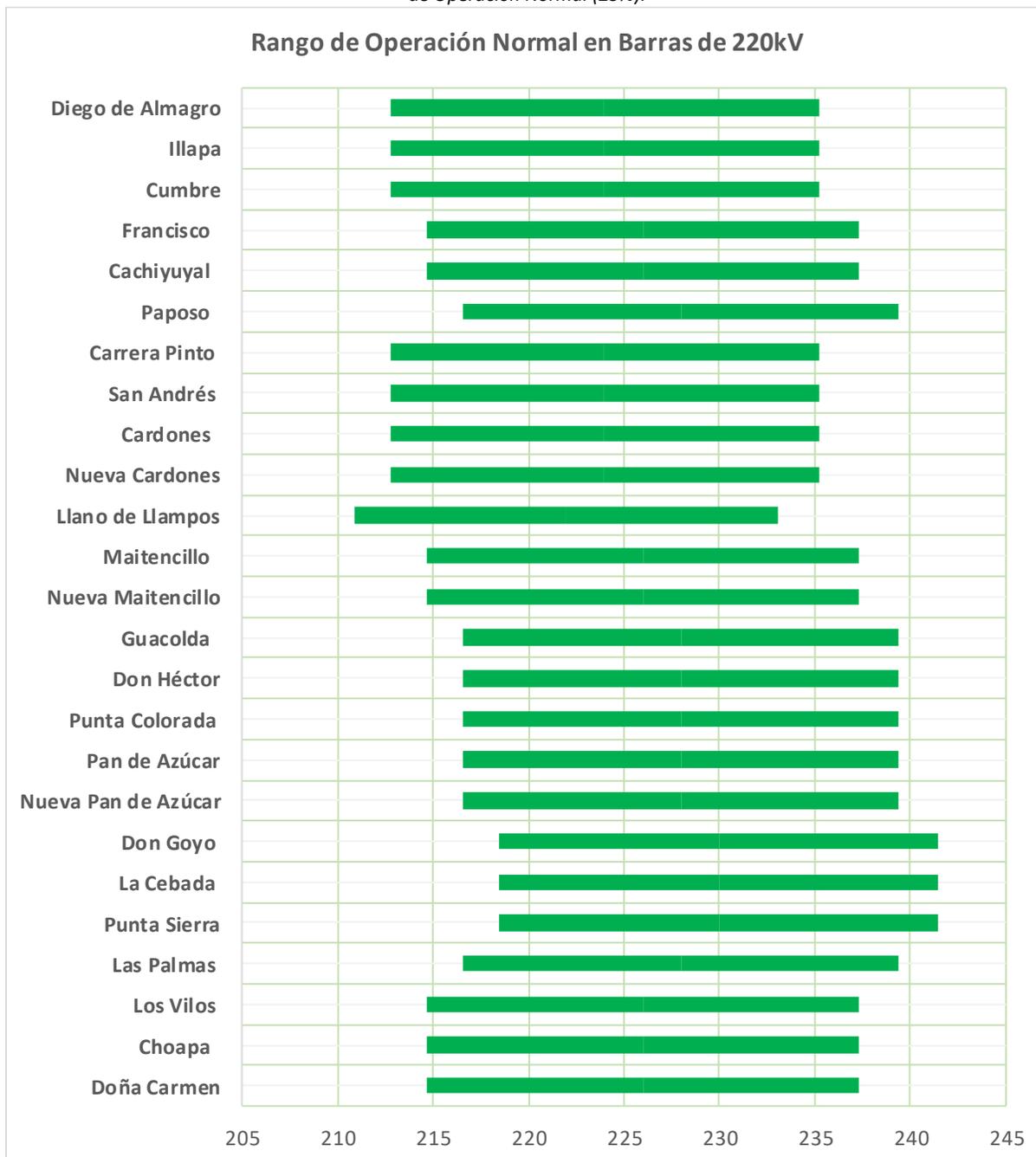
Tabla 12 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Norte Chico y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia

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
<b>Cumbre</b>	<b>224</b>	<b>235.2</b>	<b>212.8</b>	<b>239.7</b>	<b>208.3</b>	<b>246.4</b>	<b>201.6</b>
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 Héctor	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
<b>Doña Carmen</b>	<b>226</b>	<b>237.3</b>	<b>214.7</b>	<b>241.8</b>	<b>210.2</b>	<b>248.6</b>	<b>203.4</b>

En la tabla anterior se presentan las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 220kV de las SSEE Cumbre y Doña Carmen. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 220kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican.

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 24: 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 ( $\pm 5\%$ ).



### 6.4.3 Tensiones de Servicio Zona Centro

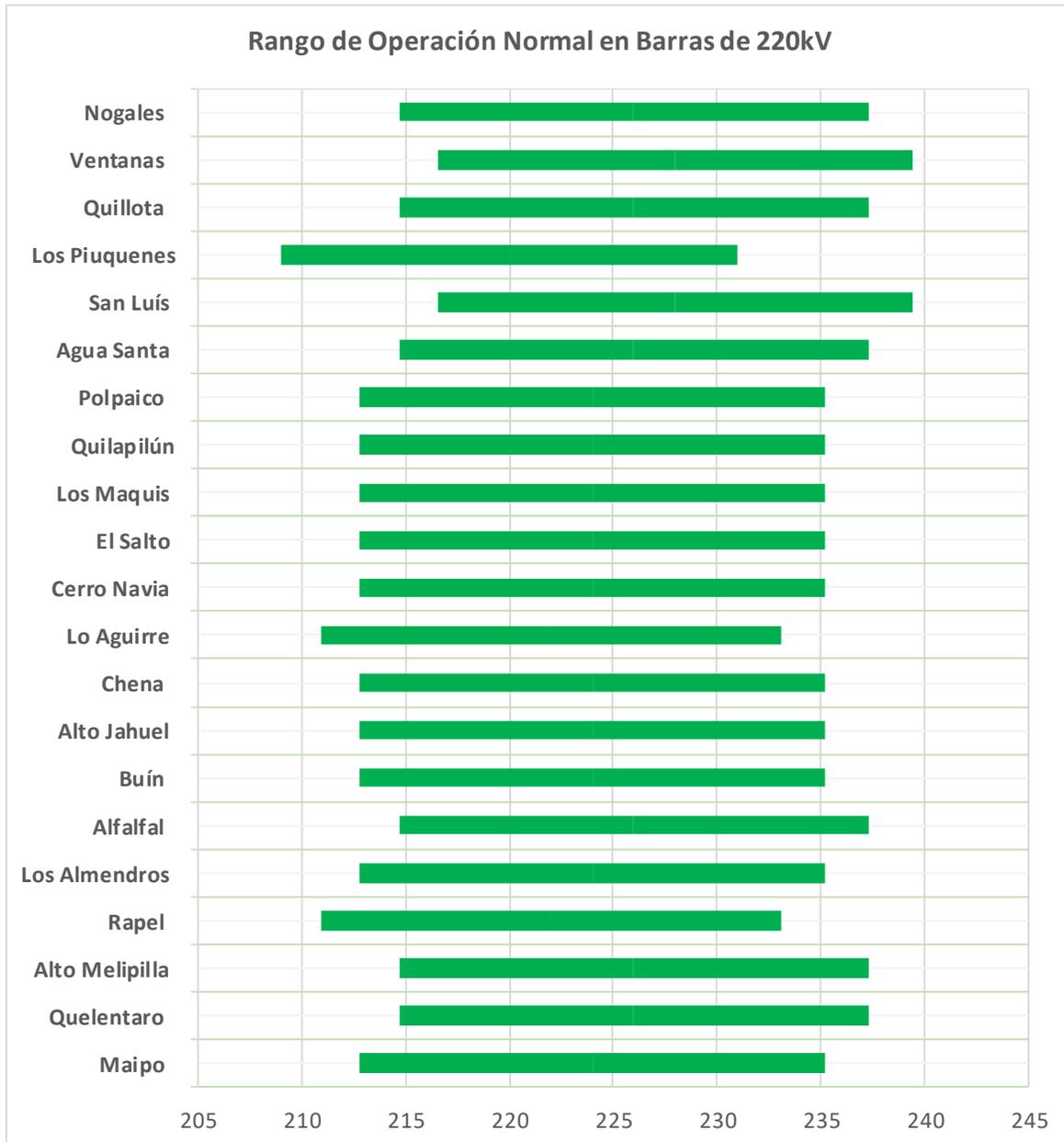
Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 13. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla, la Tensión de Servicio será igual a la de la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica.

Tabla 13 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
<b>Los Piuquenes</b>	<b>220</b>	<b>231.0</b>	<b>209.0</b>	<b>235.4</b>	<b>204.6</b>	<b>242.0</b>	<b>198.0</b>
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
<b>Quilapilún</b>	<b>224</b>	<b>235.2</b>	<b>212.8</b>	<b>239.7</b>	<b>208.3</b>	<b>246.4</b>	<b>201.6</b>
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
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

En la tabla anterior se presentan las nuevas Tensiones de Servicio establecidas para las barras de 220kV de las SSEE Los Piuquenes y Quilapilún. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 220kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican. 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 25: Distribución de las Tensiones de Servicio a lo largo de las barras de 220kV de la Zona Centro, considerando los Rangos de Operación Normal ( $\pm 5\%$ ).



#### 6.4.4 Tensiones de Servicio Zona Sur

Las Tensiones de Servicio para las barras con tensión nominal 220kV, serán las indicadas en Tabla 14. Para las barras de 220kV que no se muestran en dicha tabla, la Tensión de Servicio será igual a la de la barra que se encuentre a menor distancia eléctrica.

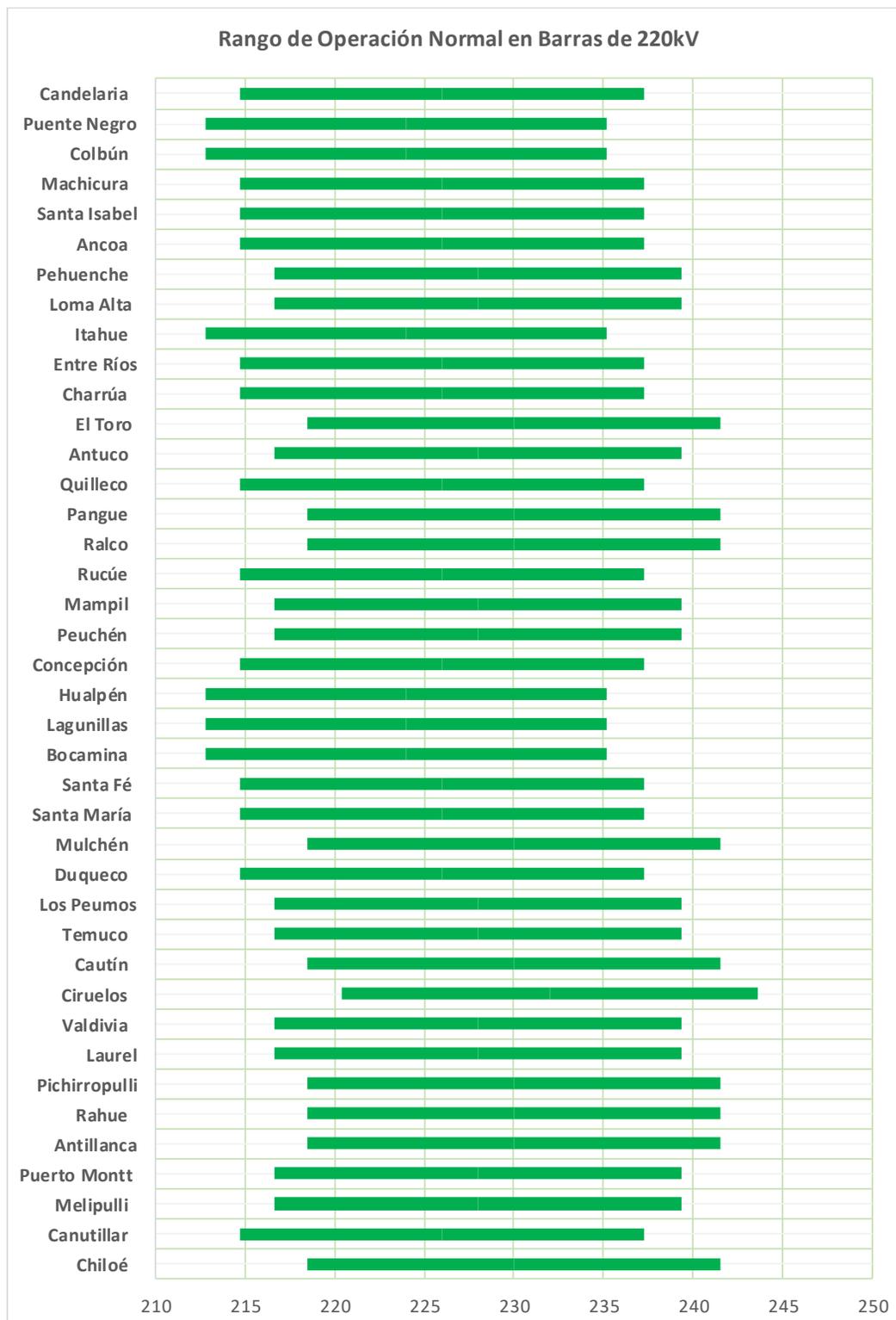
Tabla 14 Tensiones de Servicio en barras de 220 kV de la Zona Sur y los rangos de operación en Estado Normal, de Alerta y de Emergencia.

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	224	235.2	212.8	239.7	208.3	246.4	201.6
Machicura	226	237.3	214.7	241.8	210.2	248.6	203.4
<b>Santa Isabel</b>	<b>226</b>	<b>237.3</b>	<b>214.7</b>	<b>241.8</b>	<b>210.2</b>	<b>248.6</b>	<b>203.4</b>
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
<b>Entre Ríos</b>	<b>226</b>	<b>237.3</b>	<b>214.7</b>	<b>241.8</b>	<b>210.2</b>	<b>248.6</b>	<b>203.4</b>
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	230	241.5	218.5	246.1	213.9	253.0	207.0
Duqueco	226	237.3	214.7	241.8	210.2	248.6	203.4
Los Peumos	228	239.4	216.6	244.0	212.0	250.8	205.2
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	228	239.4	216.6	244.0	212.0	250.8	205.2
Pichirpulli	230	241.5	218.5	246.1	213.9	253.0	207.0
Rahue	230	241.5	218.5	246.1	213.9	253.0	207.0
<b>Antillanca</b>	<b>230</b>	<b>241.5</b>	<b>218.5</b>	<b>246.1</b>	<b>213.9</b>	<b>253.0</b>	<b>207.0</b>
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 presenta las nuevas tensiones de servicio, establecidas para las barras de 220kV de las SSEE Santa Isabel, Entre Ríos y Antillanca. Las Tensiones de Servicio del resto de las barras del sistema de 220kV de las Instalaciones del Sistema de Transmisión no se modifican. Los histogramas asociados a las principales barras de la Zona Sur se encuentran en el Anexo 9.2.4.

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



## 7 CONCLUSIONES

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

En primera instancia, al no existir grandes cambios topológicos en algunas zonas del SEN, 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.

Este estudio propone nuevas Tensiones de Servicio para el Sistemas de Transmisión de 500kV cuando se modifiquen las actuales condiciones topológicas de la Zona Norte Chico. Estas nuevas Tensiones de Servicio fueron obtenidas mediante análisis de flujos estáticos y de sensibilidad  $dV/dQ$ .

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. 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. Es por tal motivo, que no se evidencia la necesidad de establecer Tensiones de Servicio distintas a las nominales, en las barras de la Zona Norte Grande.

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.

Finalmente, una vez que entren en operación nuevas obras del Sistema Eléctrico Nacional y se obtengan datos reales de la operación, se podrá realizar una actualización del Estudio de Tensiones de Servicio 2019.

## **8 REFERENCIAS**

- [1] Coordinador Eléctrico Nacional, “Estudio de Restricciones en el Sistema de Transmisión,” 2019.
- [2] Coordinador Eléctrico Nacional, “Estudio de Control de Tensión y Requerimientos de Potencia Reactiva,” 2019.

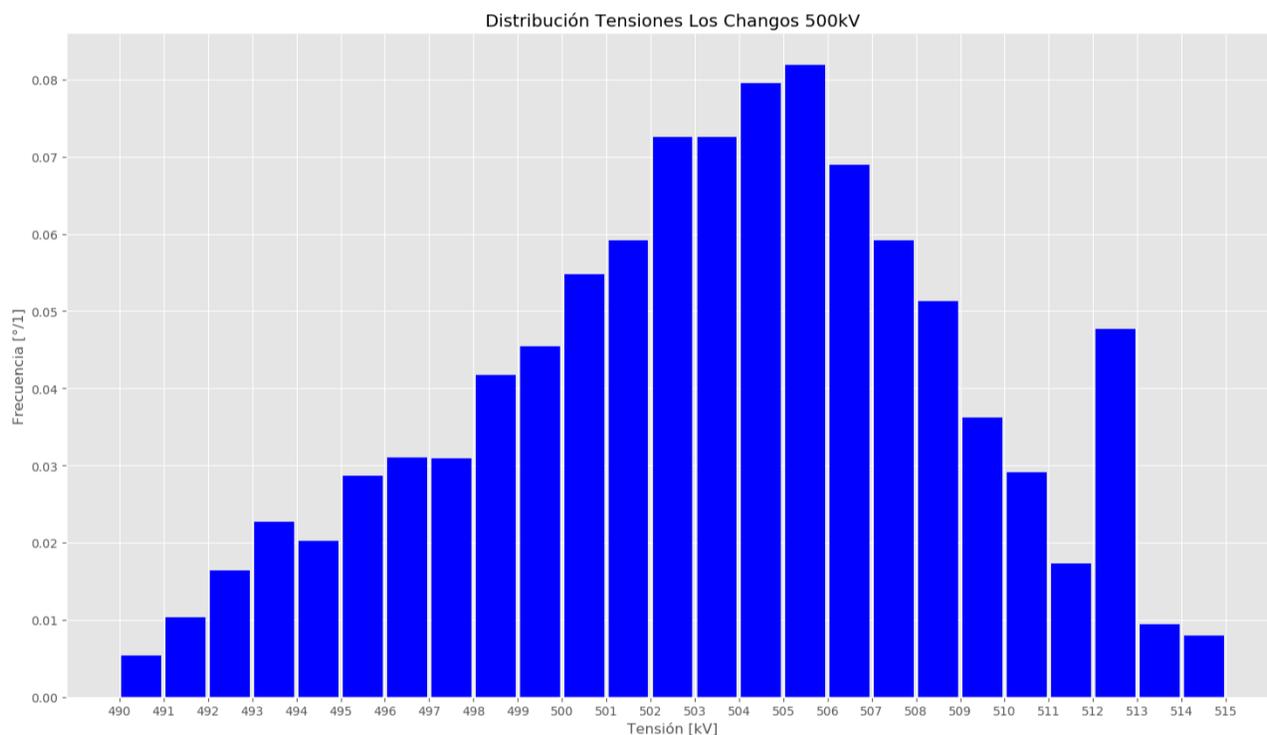
## 9 ANEXOS

“Distribución de Tensiones por Barra y Nivel Tensión Nominal”

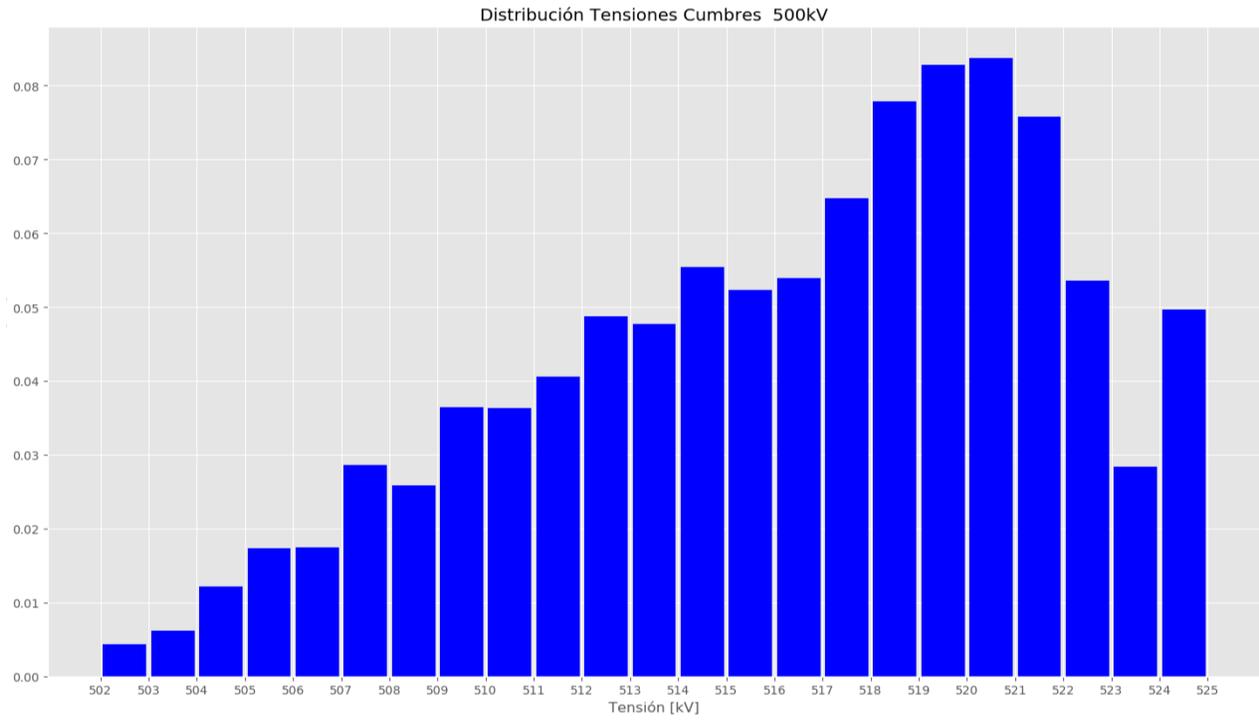
En el presente anexo, se muestran los histogramas obtenidos para cada una de las barras indicadas a lo largo del estudio, con datos de operación durante el año 2018-2019. Cabe señalar que sólo se muestran los valores de tensión que presentan una frecuencia absoluta porcentual entre un 1% hasta un 99%, para evitar que aparezcan valores de tensiones erróneas, las cuales no aportan al desarrollo del presente informe.

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

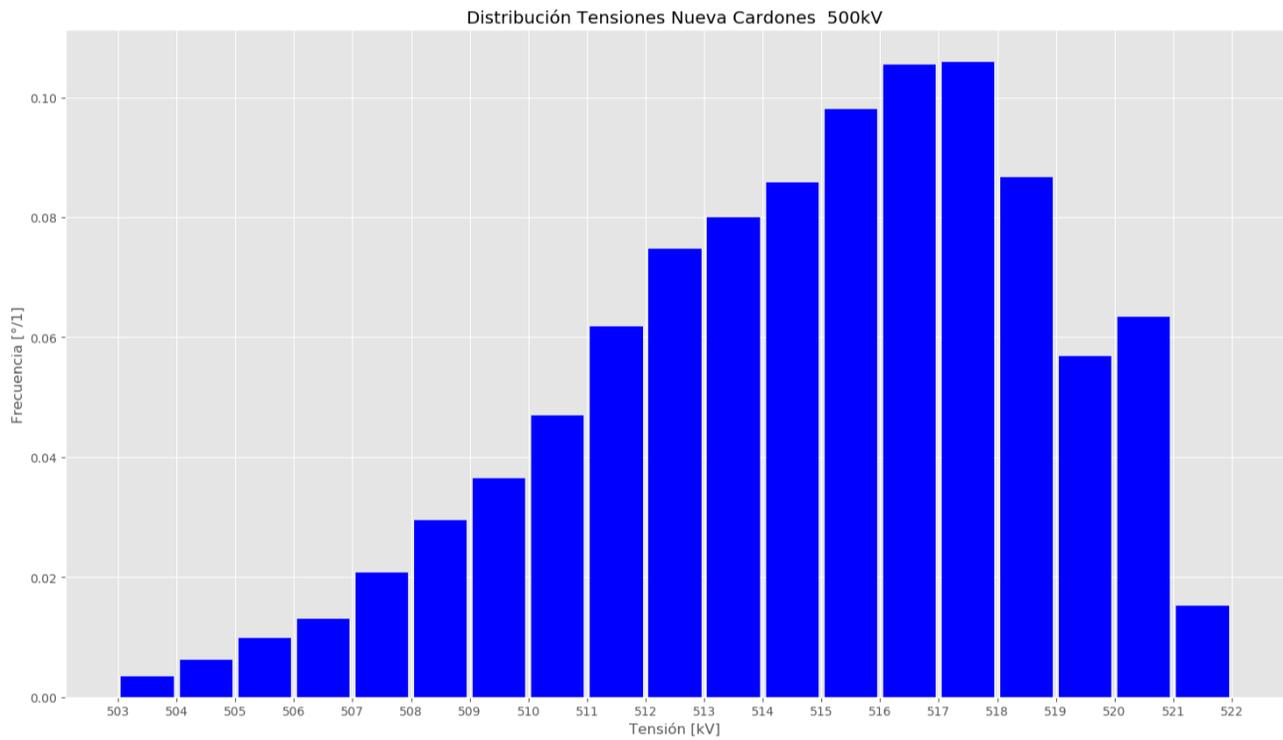
### a) Los Changos



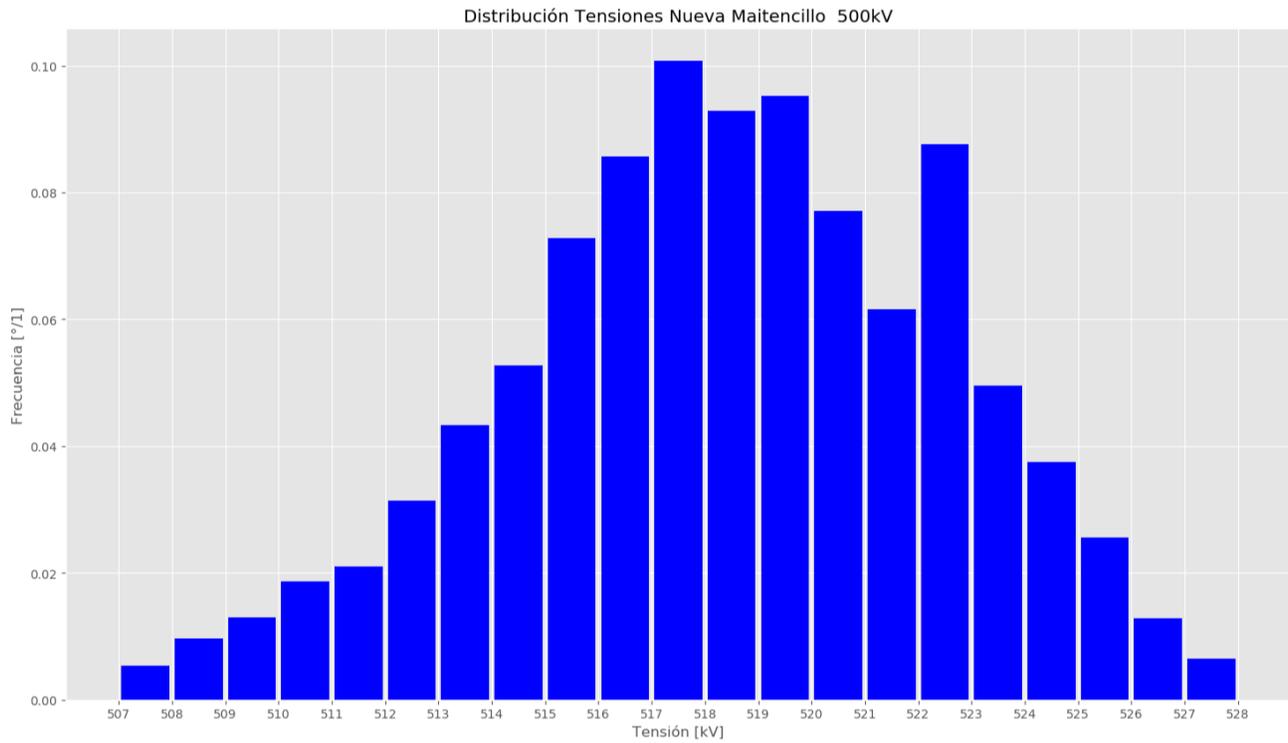
**b) Cumbre**



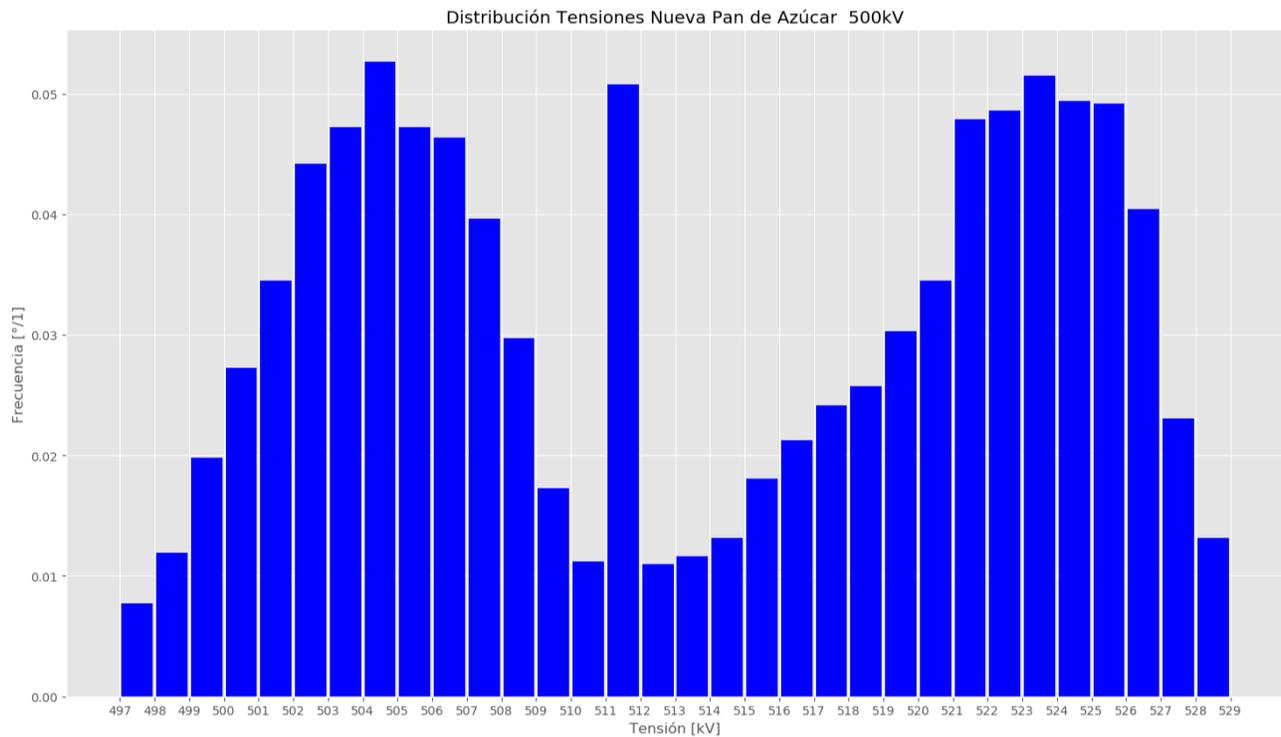
**c) Nueva Cardones**



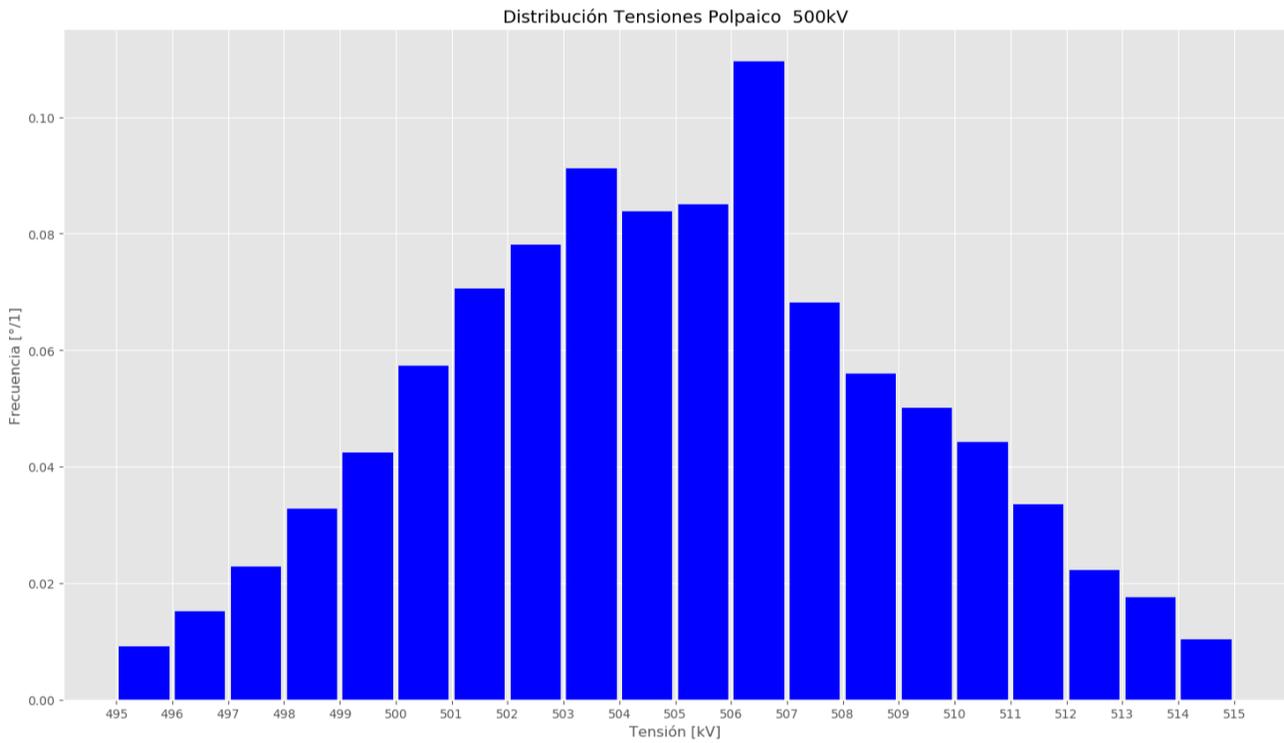
**d) Nueva Maitencillo**



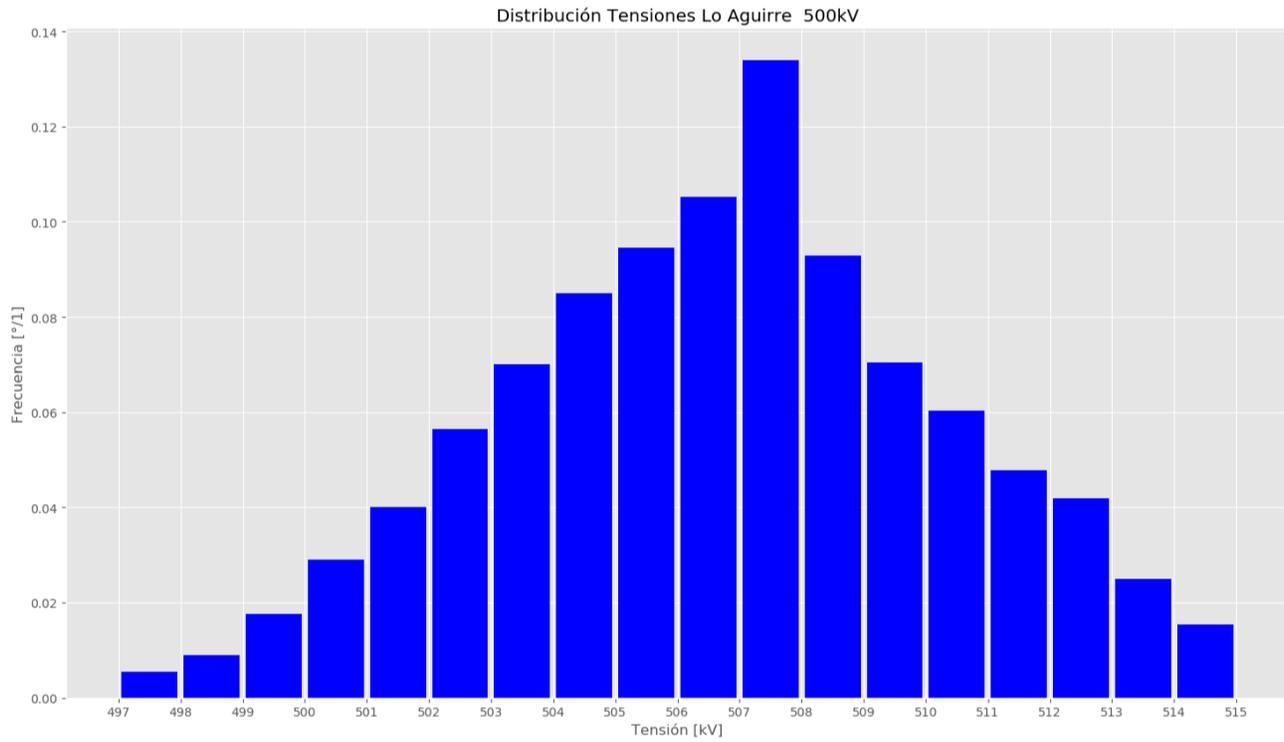
**e) Nueva Pan de Azúcar**



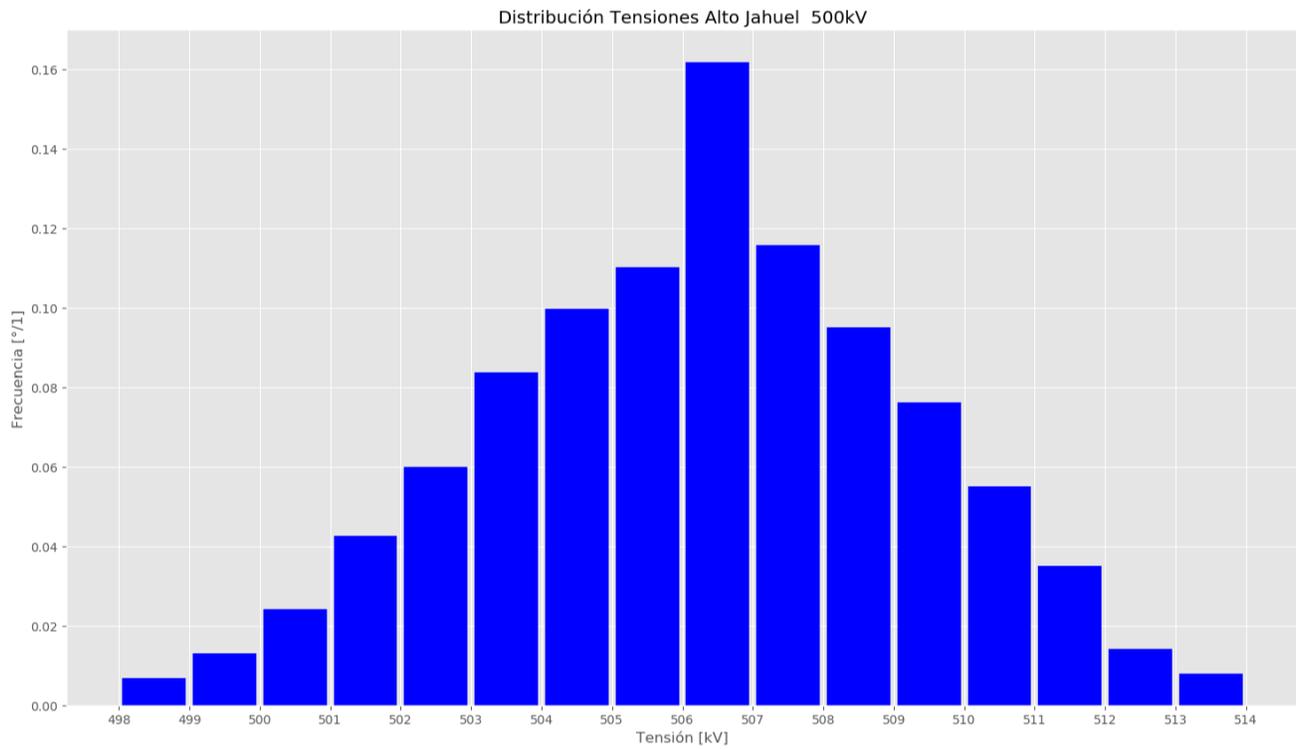
**f) Polpaico**



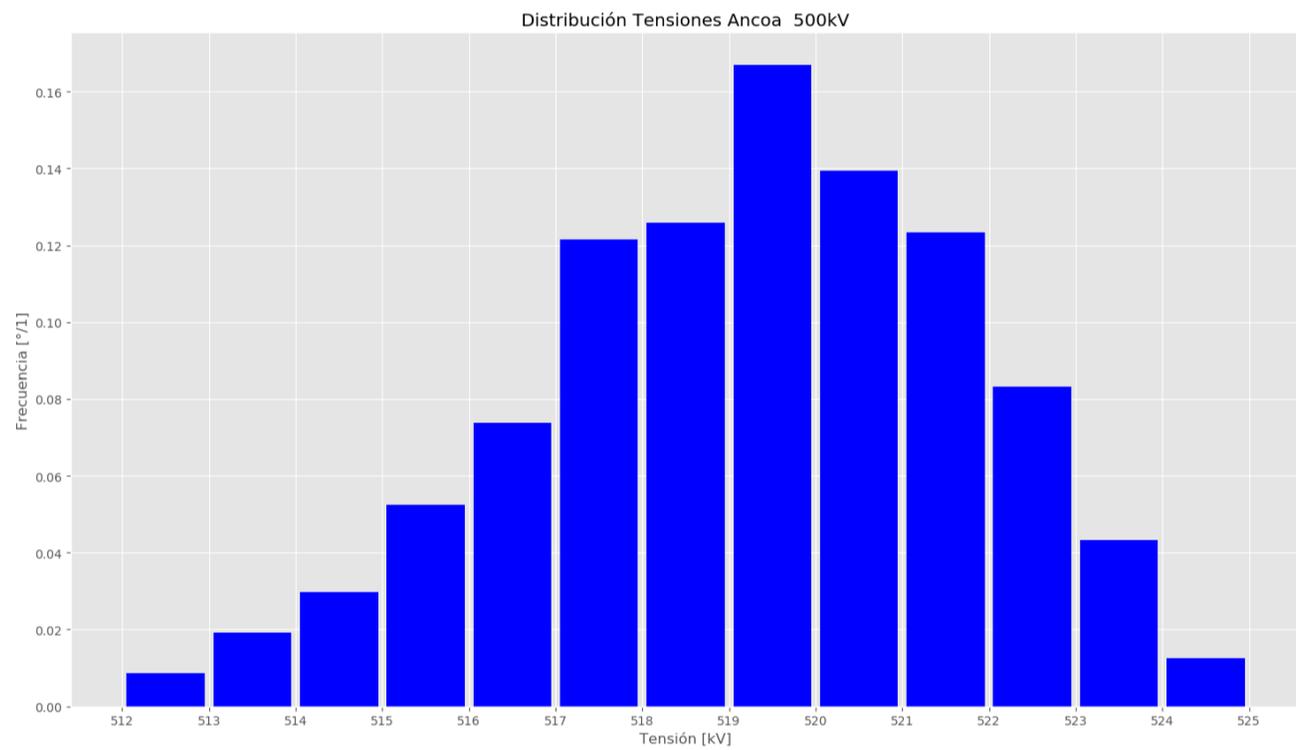
**g) Lo Aguirre**



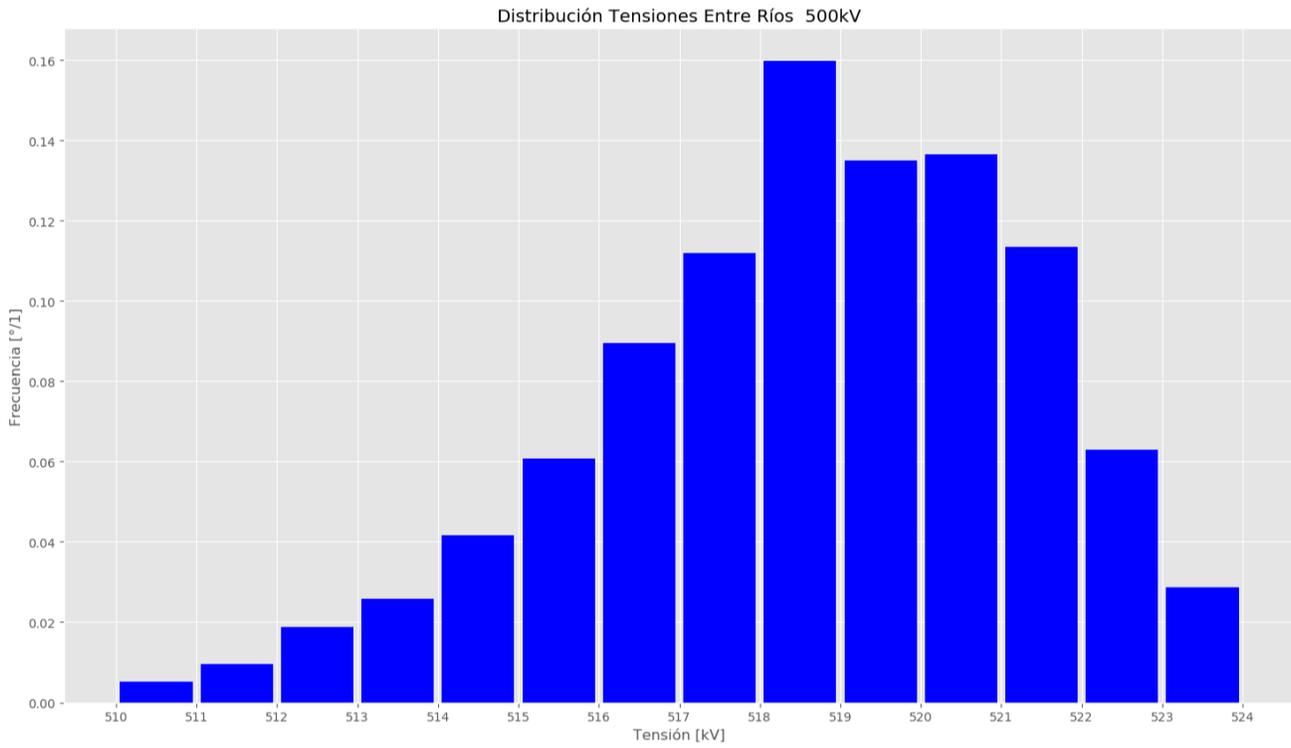
**h) Alto Jahuel**



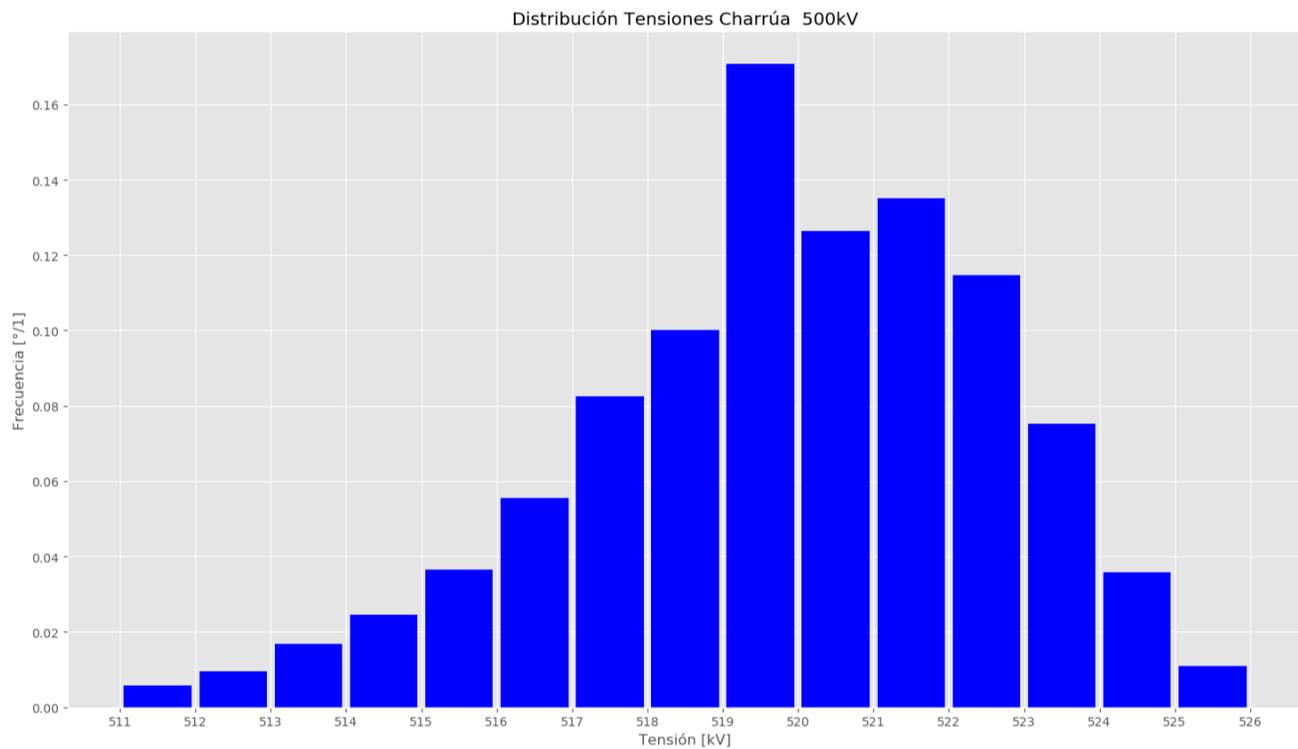
**i) Ancoa**



**j) Entre Ríos**



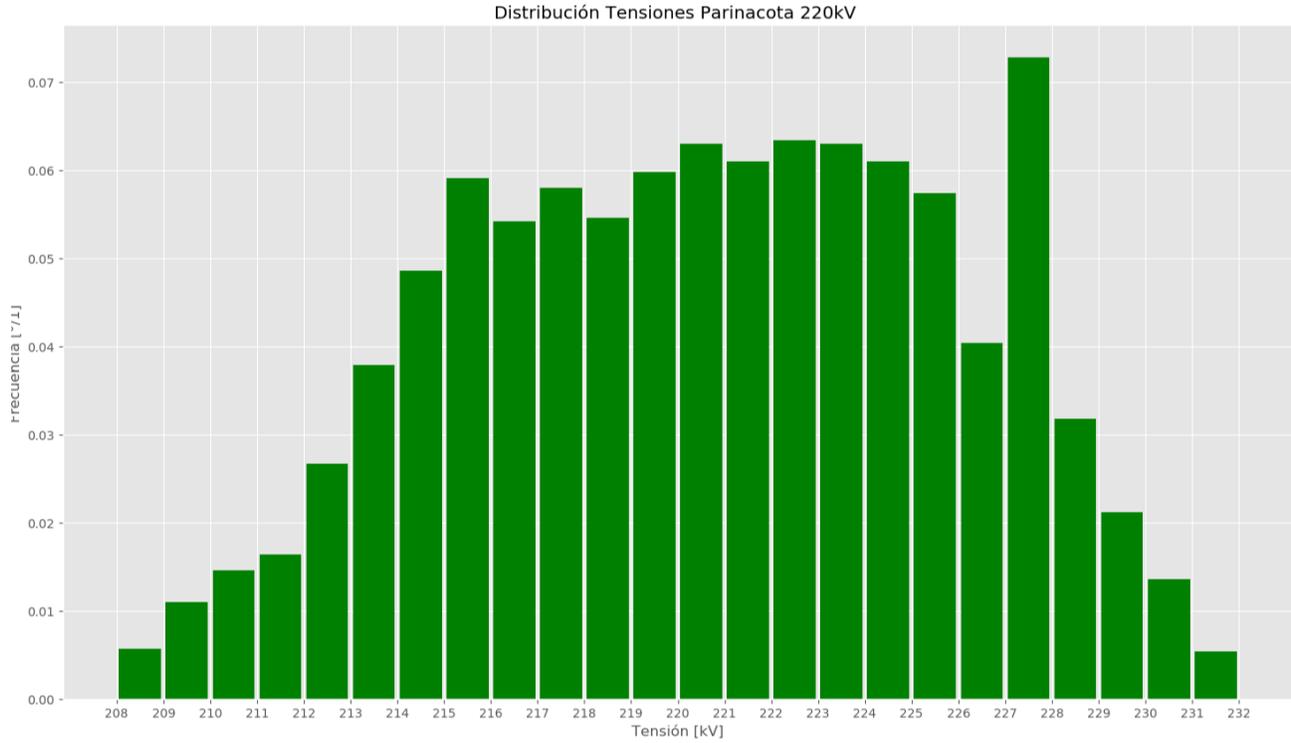
**k) Charrúa**



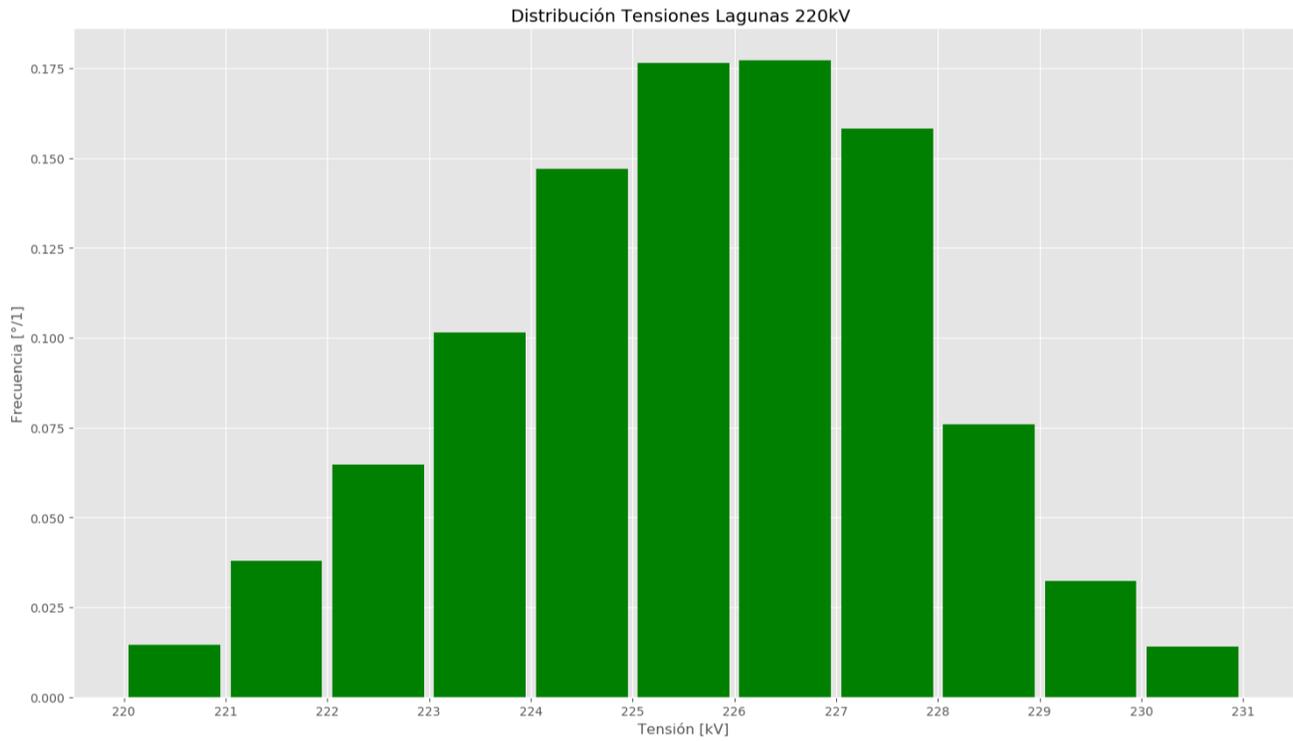
## 9.2 Distribución de Tensiones en Barras con Tensión Nominal Igual a 220kV

### 9.2.1 Zona Norte Grande

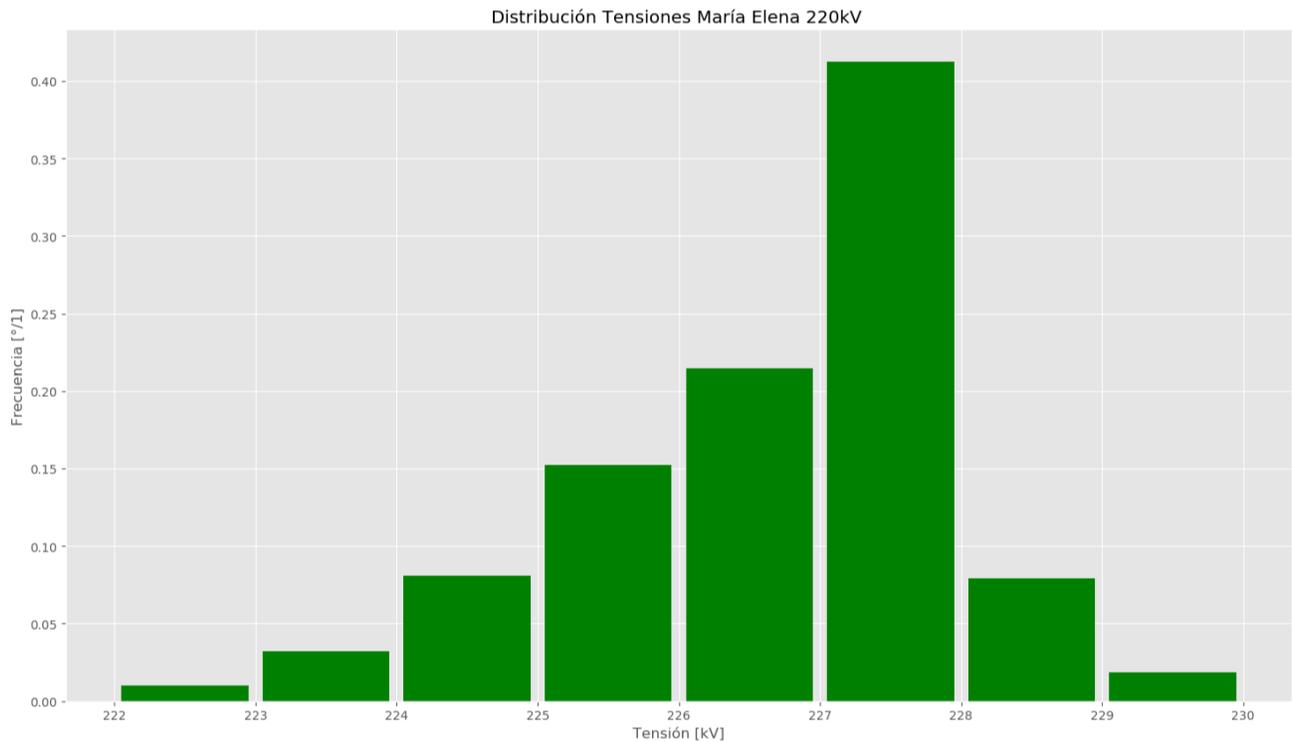
#### a) Parinacota



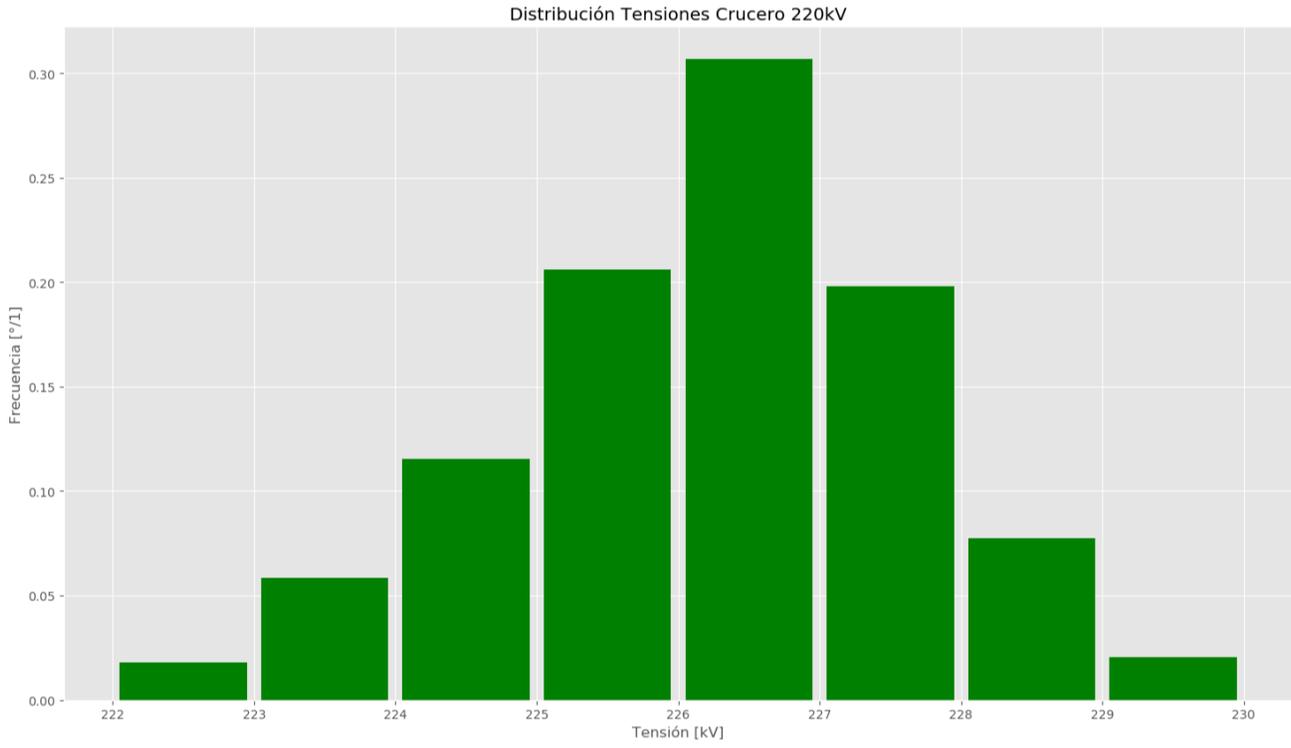
**b) Lagunas**



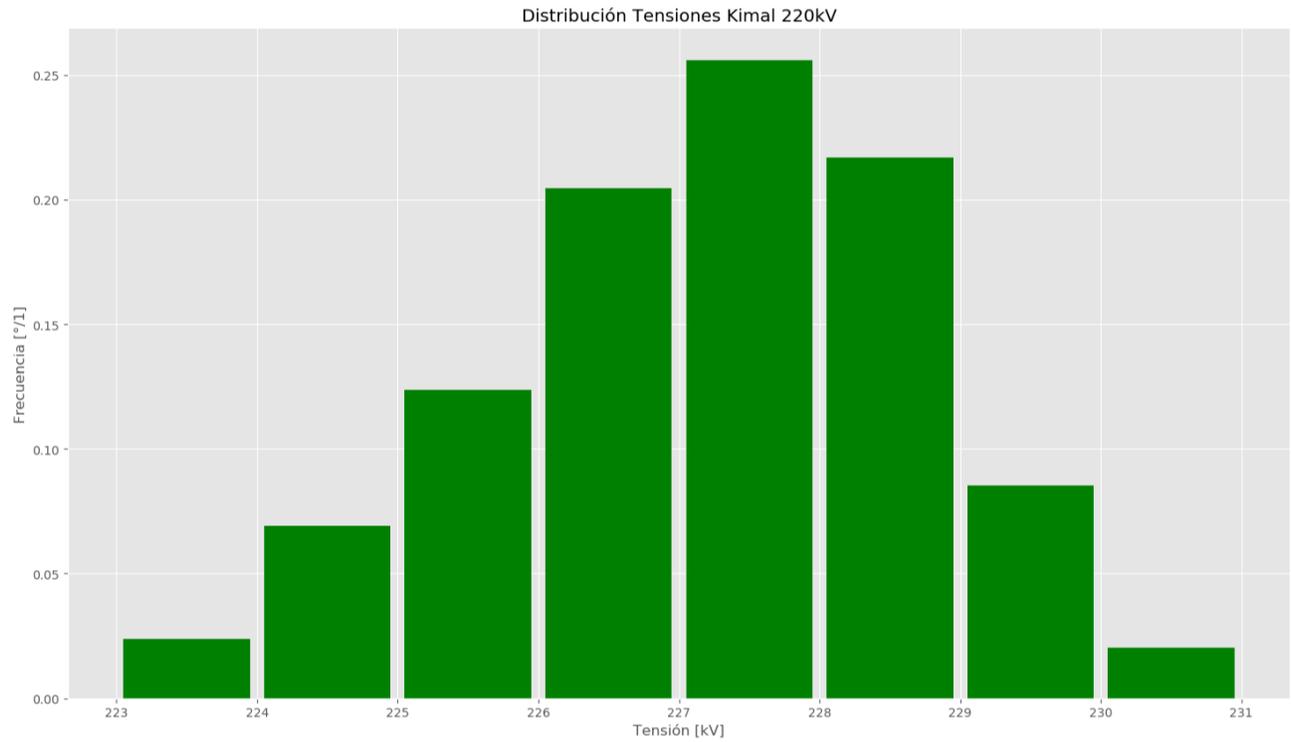
**c) María Elena**



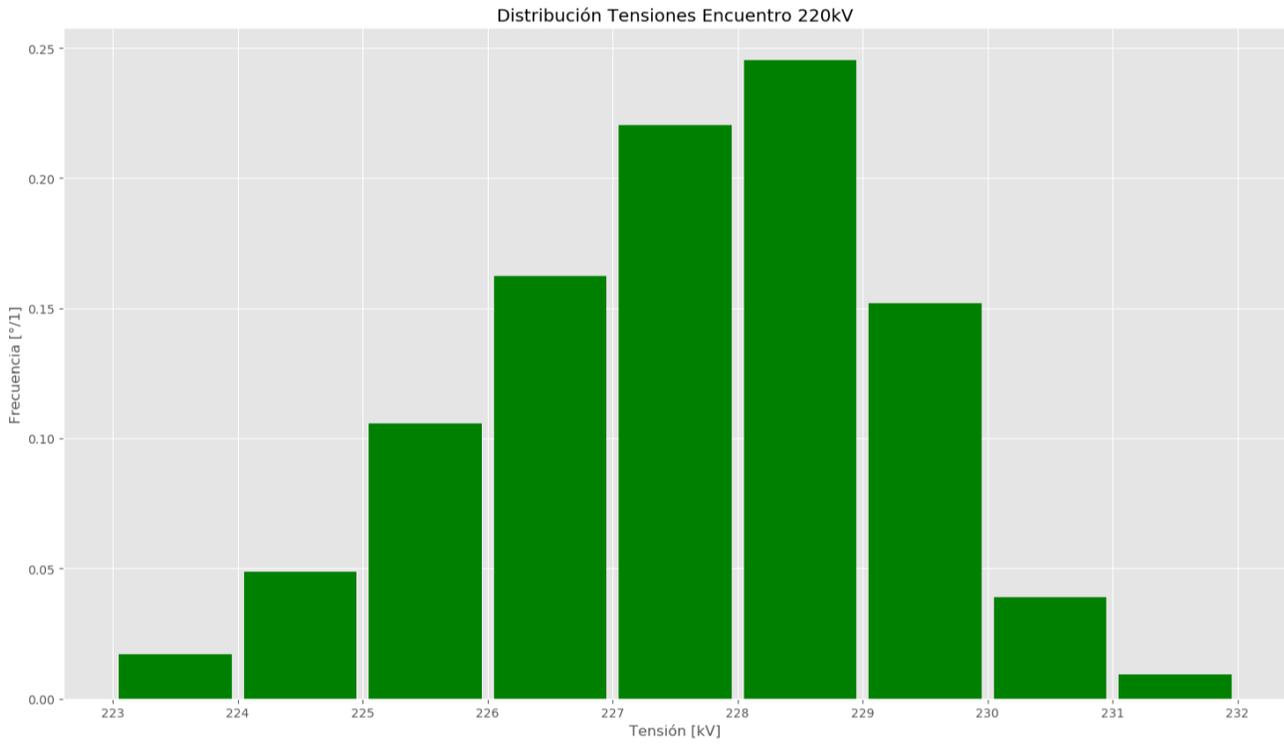
**d) Crucero**



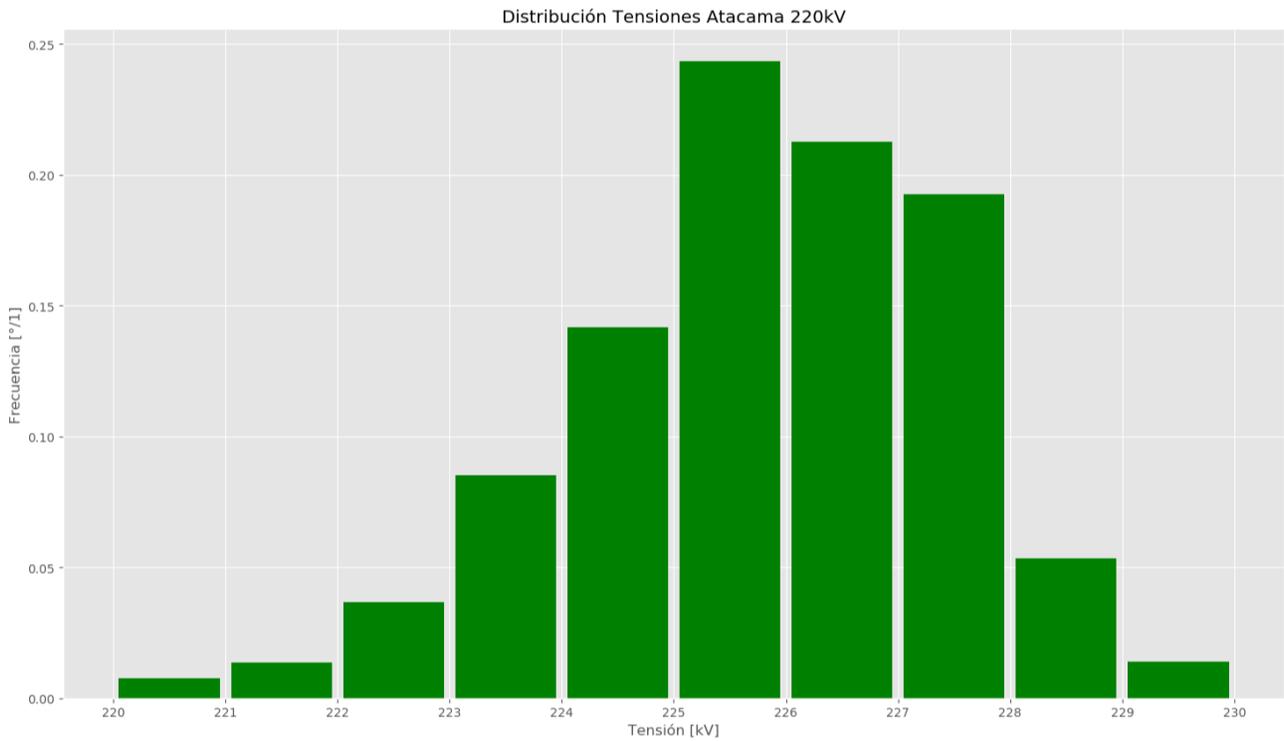
**e) Kimal**



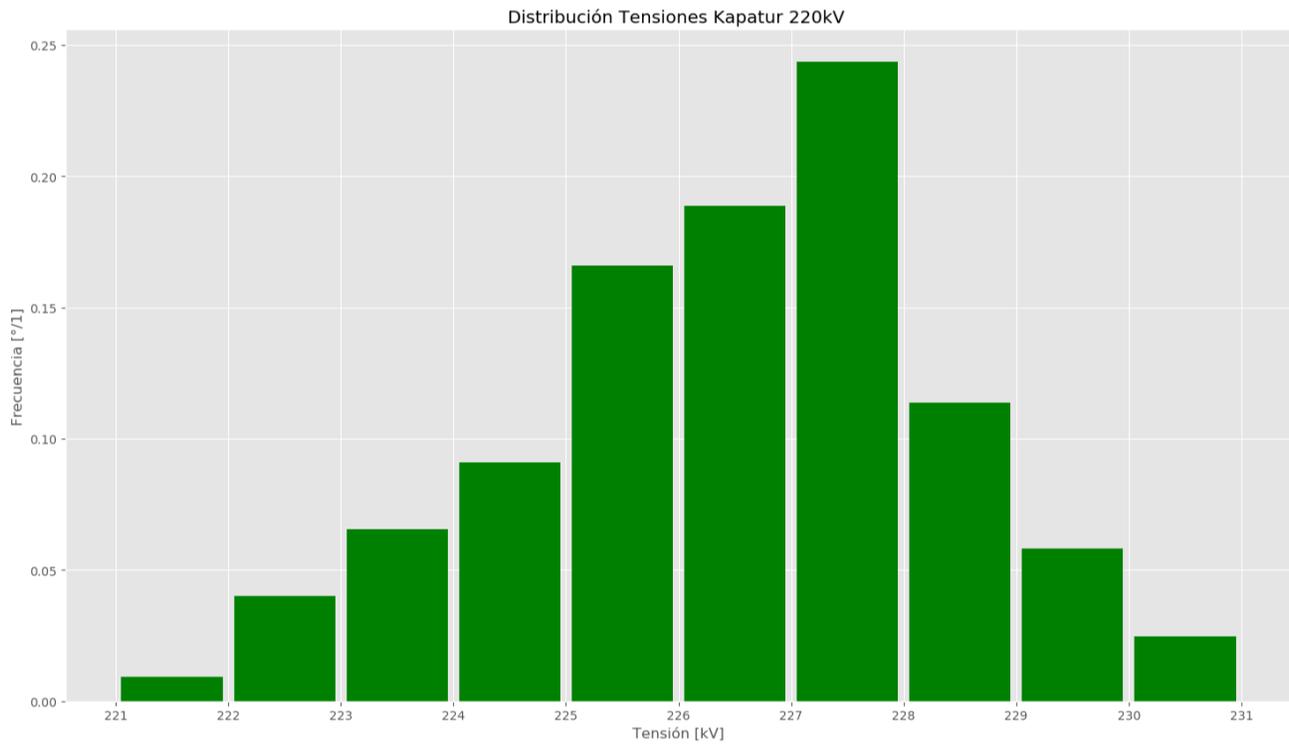
**f) Encuentro**



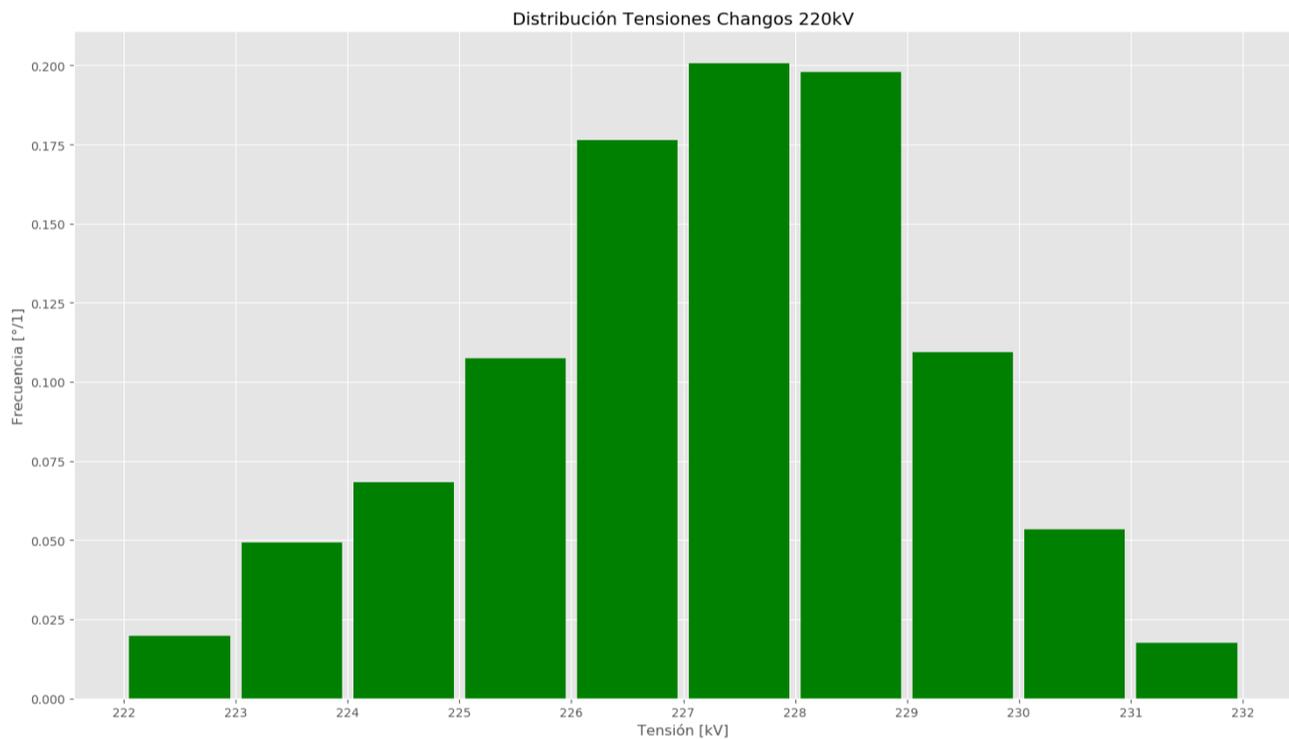
**g) Atacama**



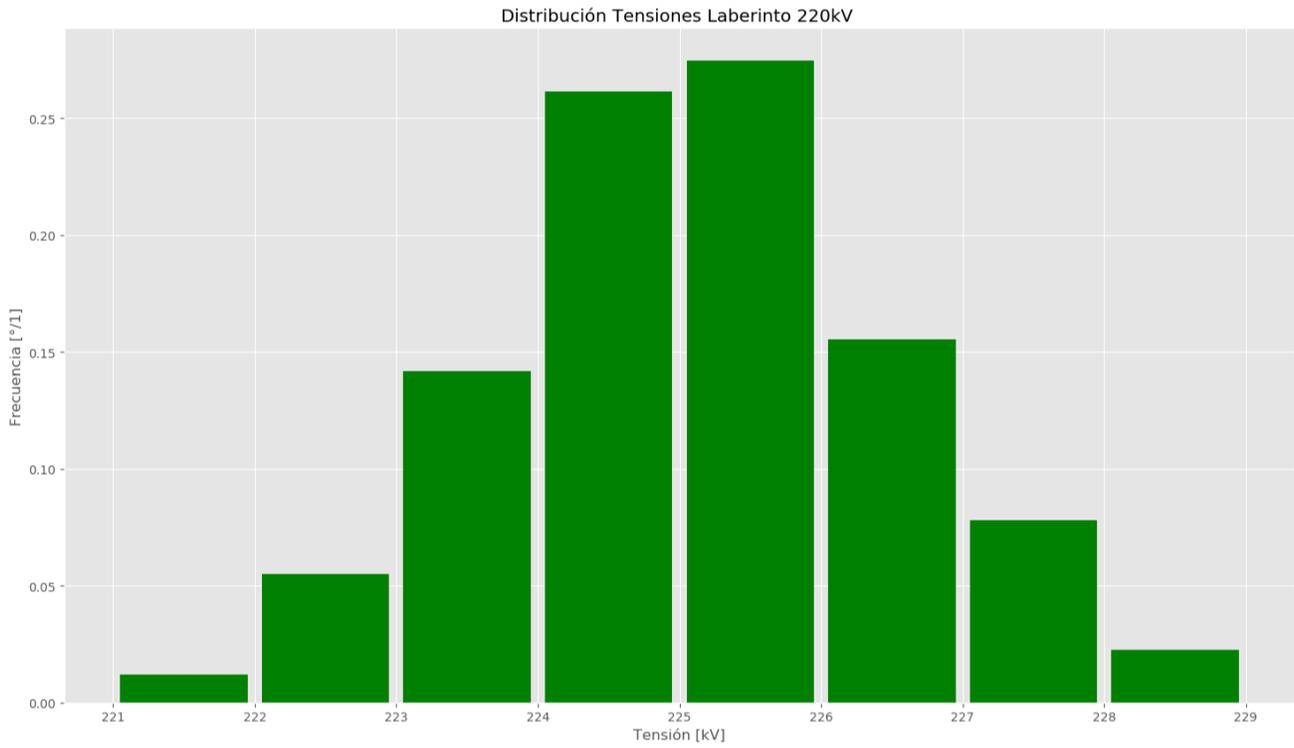
## h) Kapatur



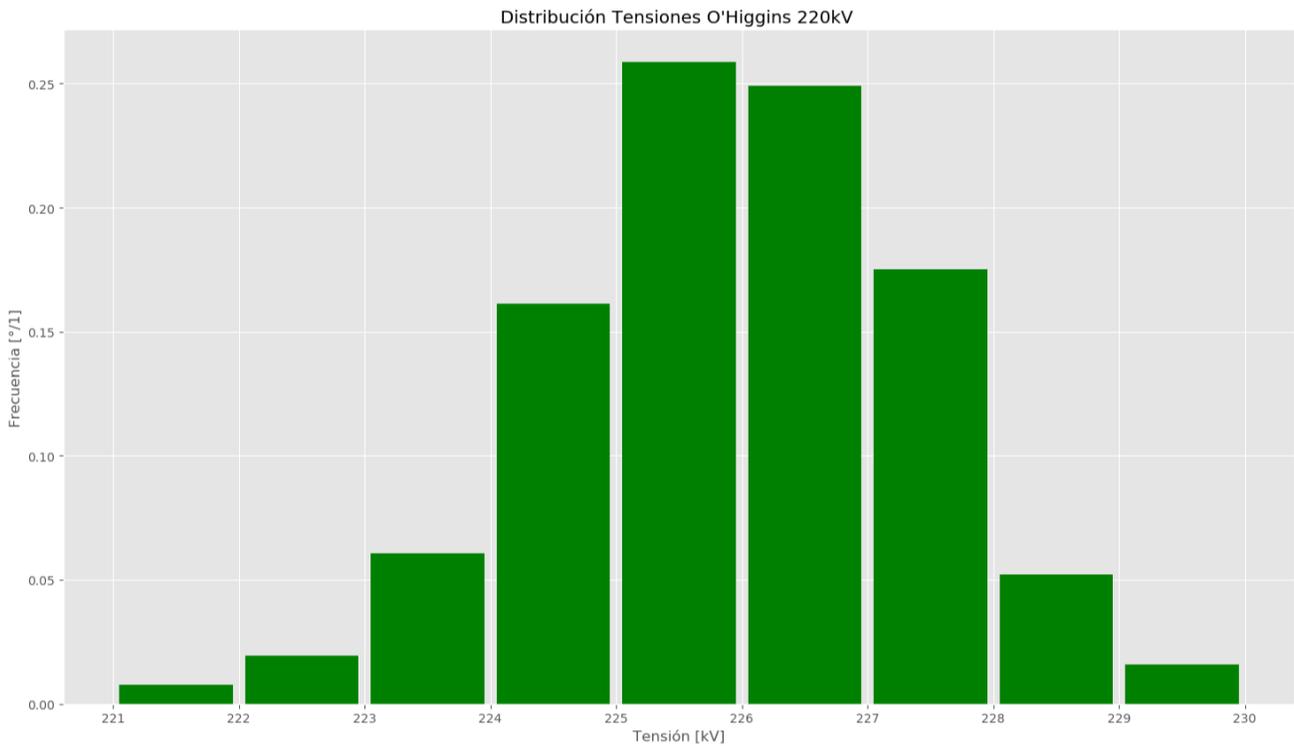
## i) Los Chagos



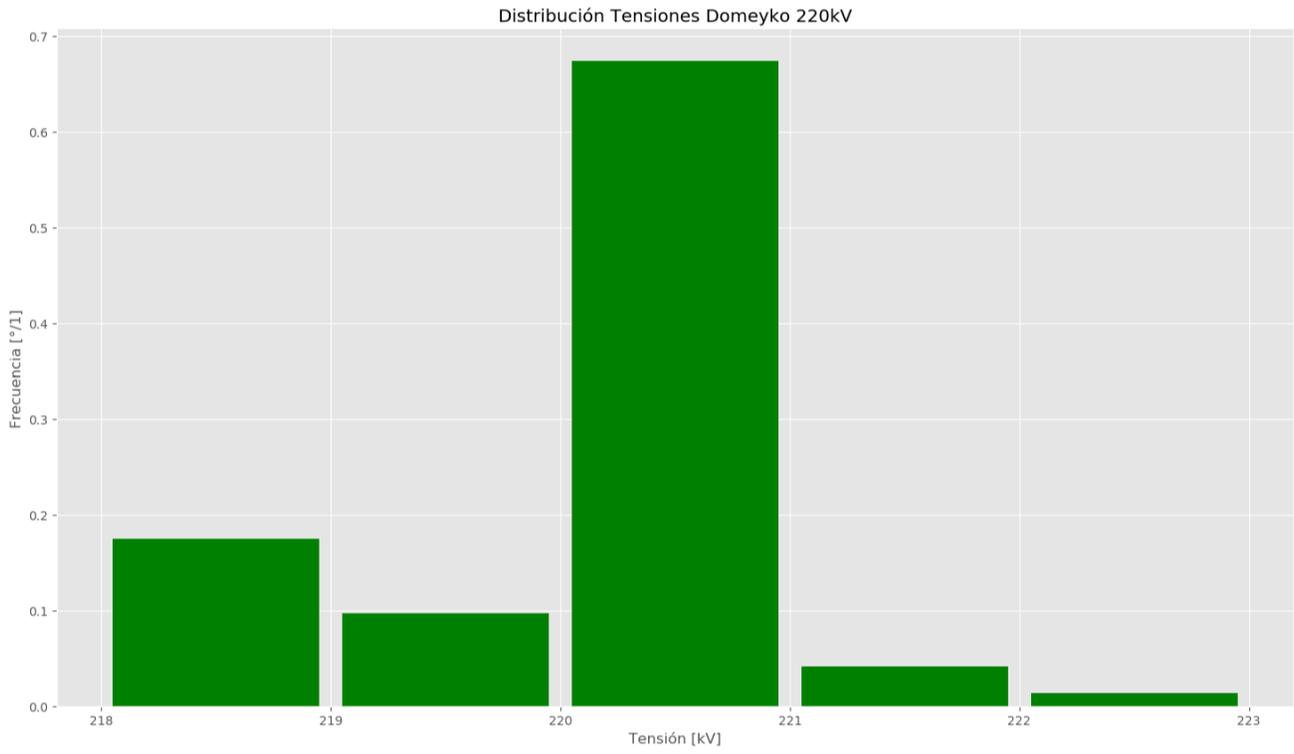
**j) Laberinto**



**k) O'Higgins**

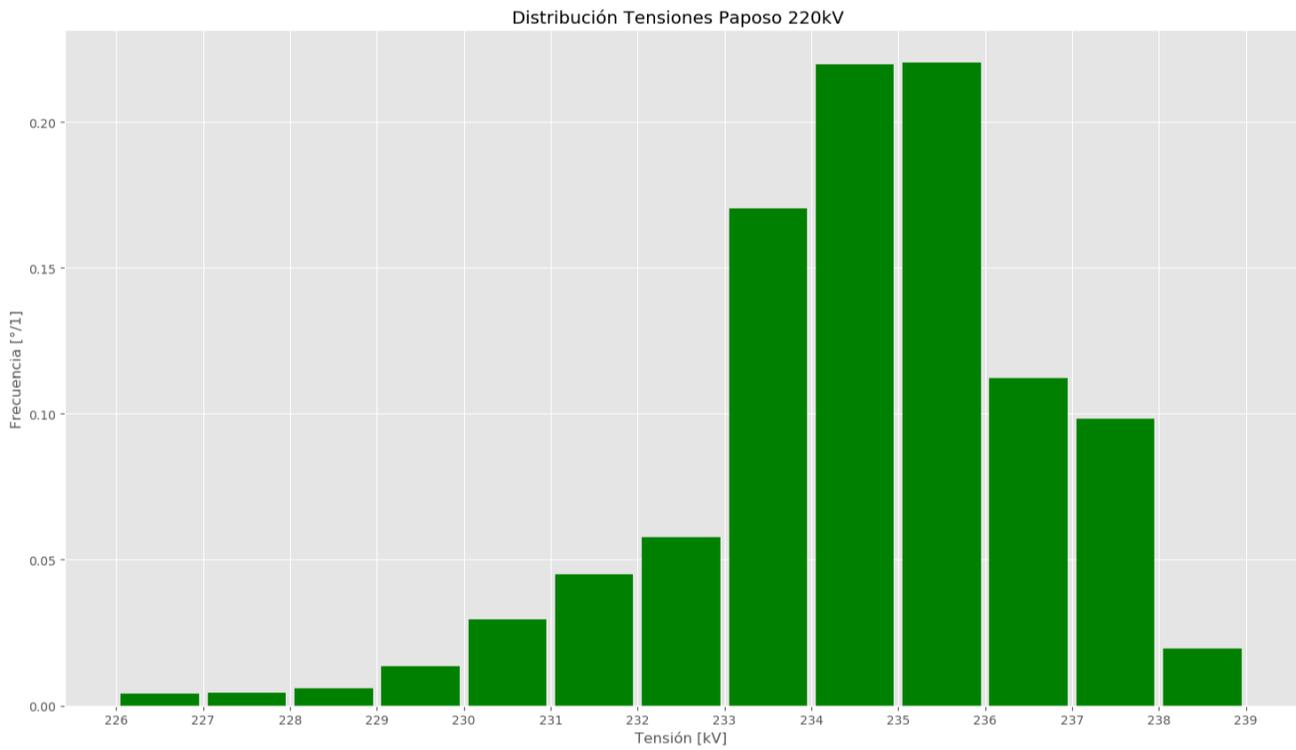


**I) Domeyko**

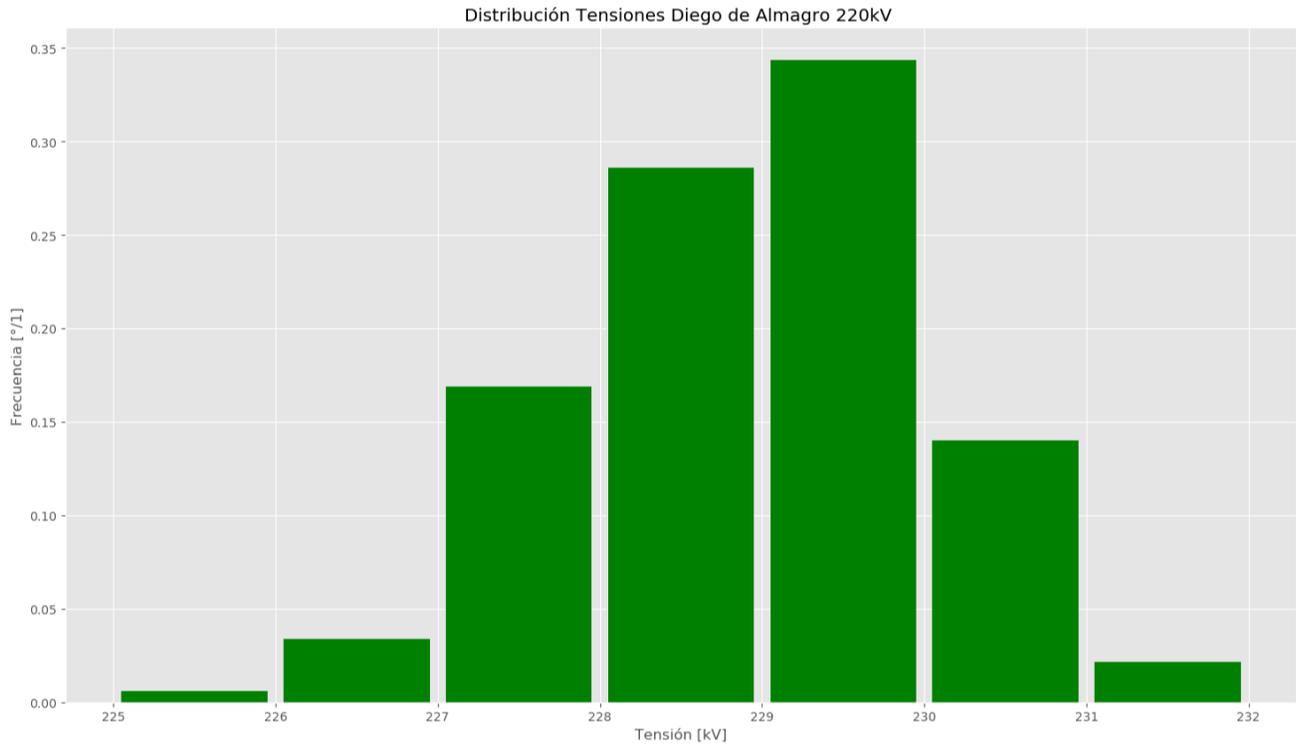


## 9.2.2 Zona Norte Chico

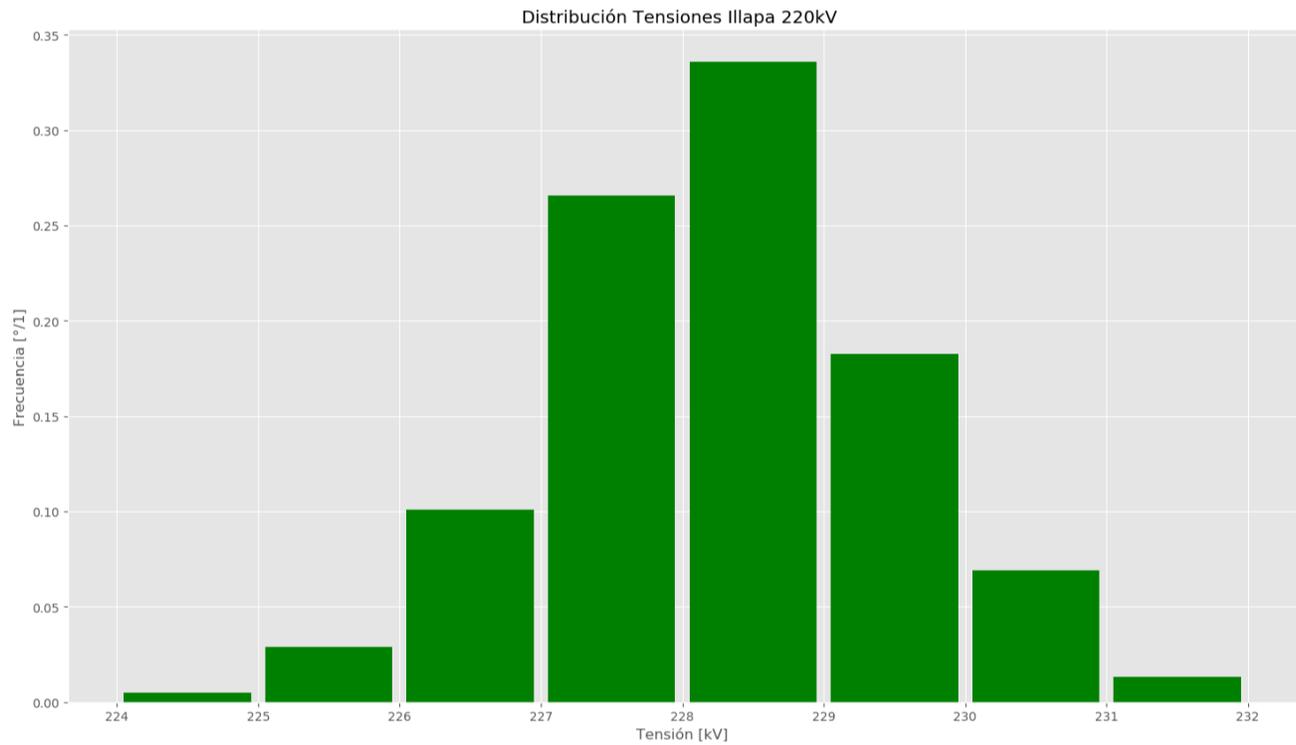
### a) Paposo



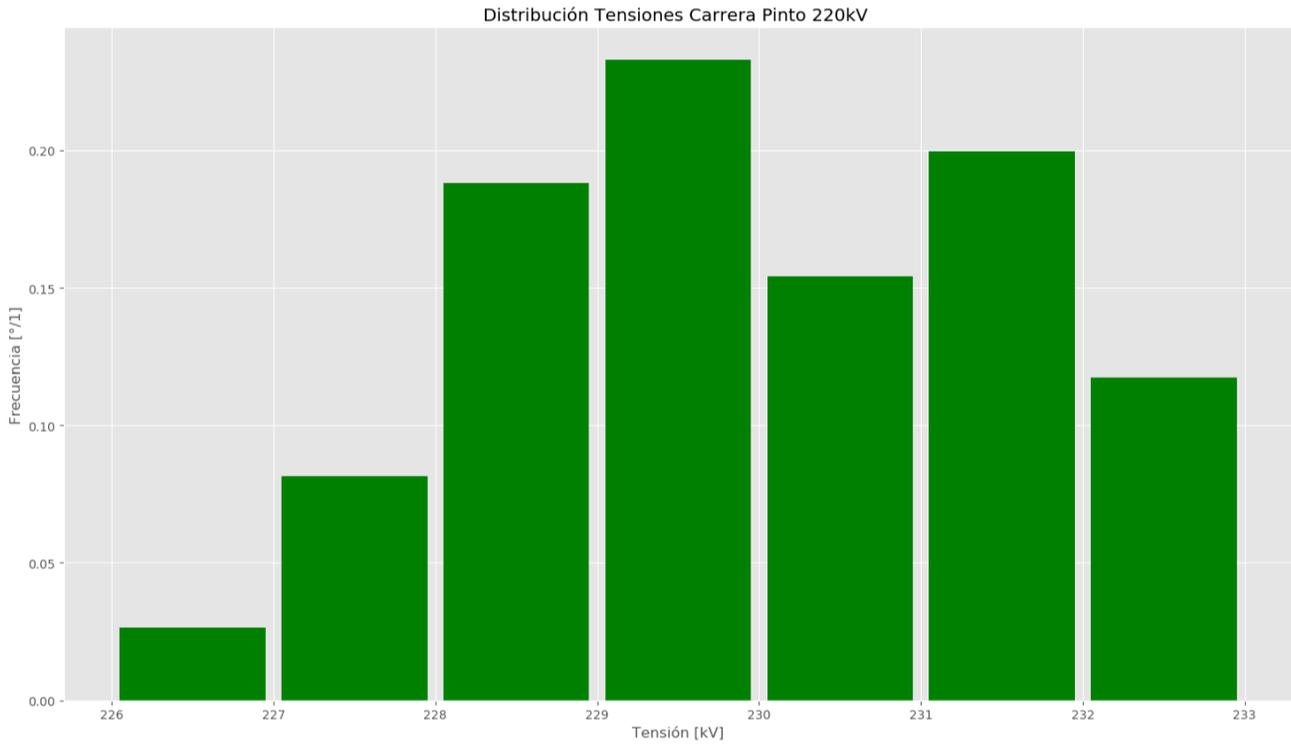
**b) Diego de Almagro**



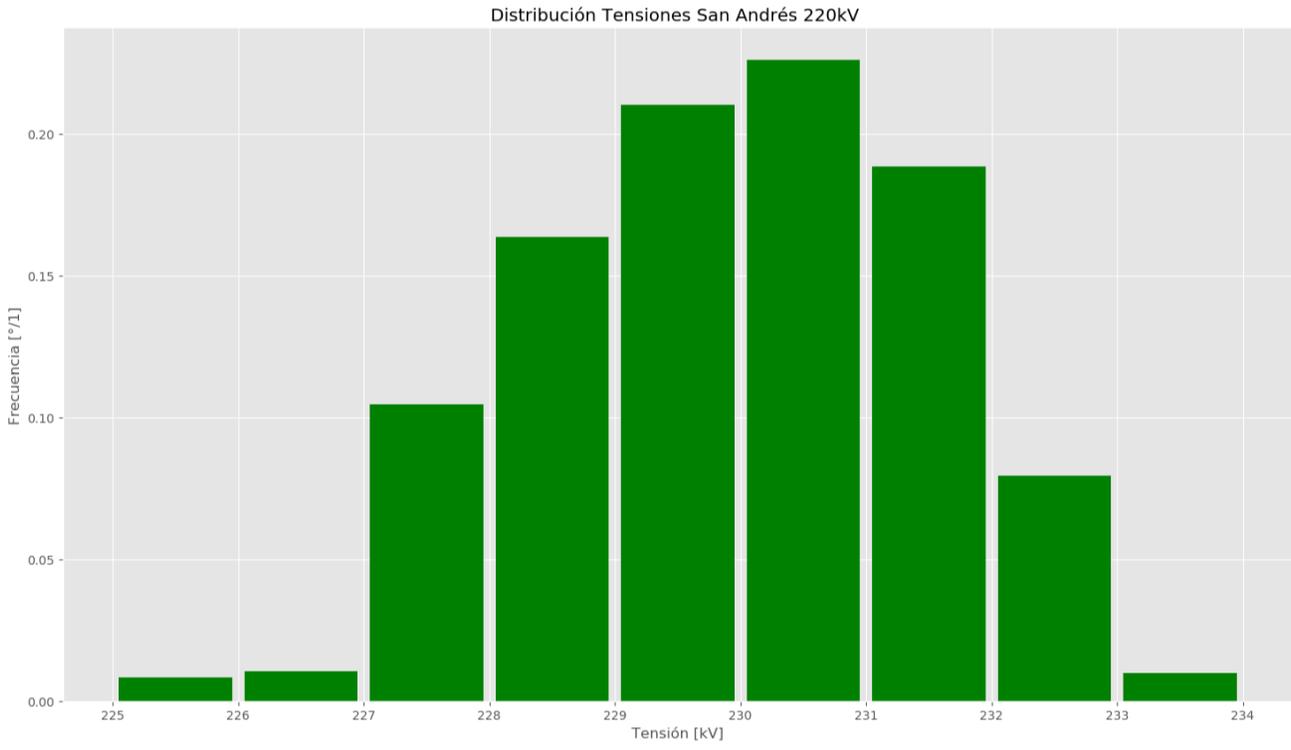
**c) Illapa**



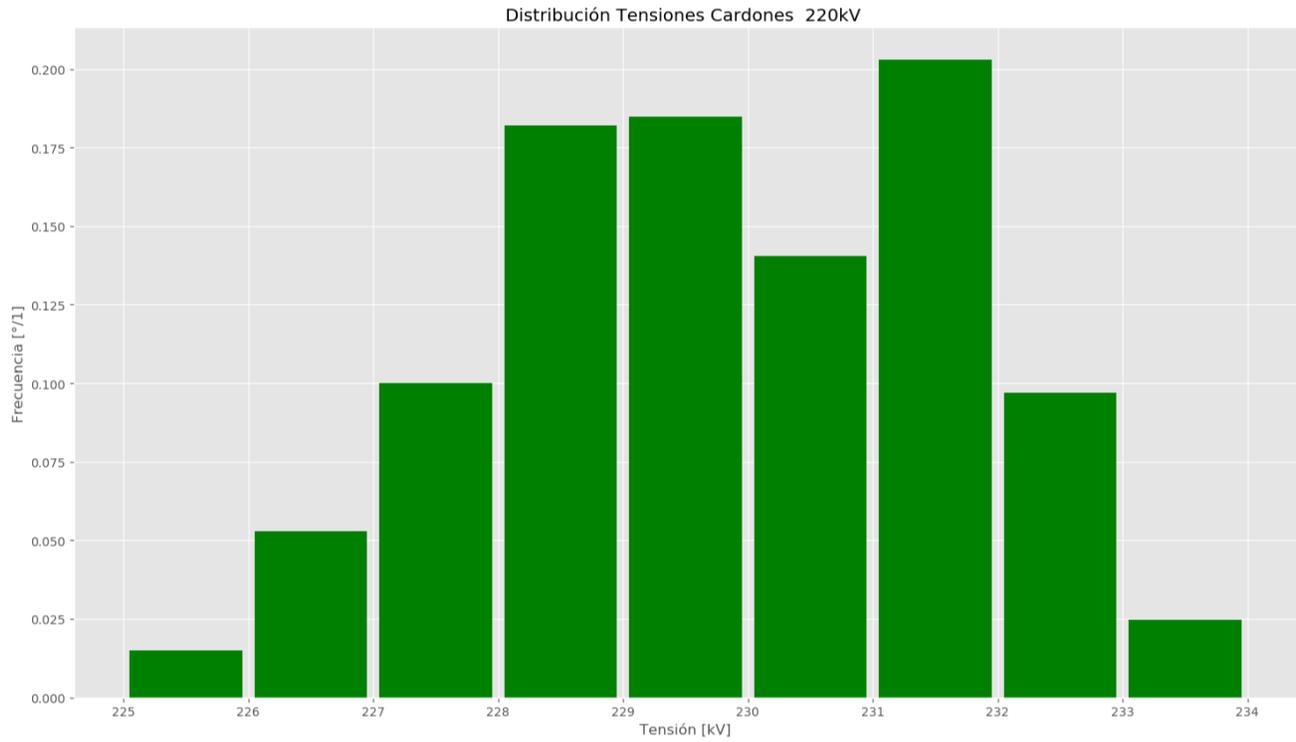
**d) Carrera Pinto**



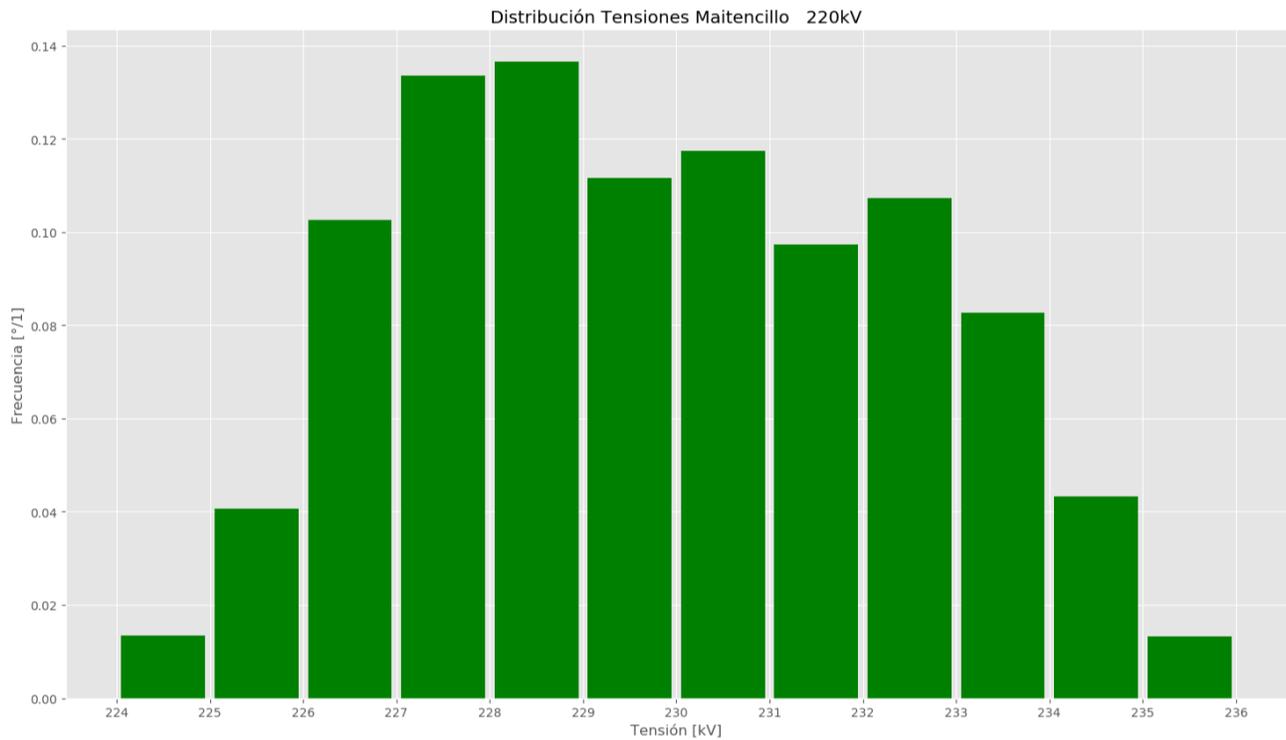
**e) San Andrés**



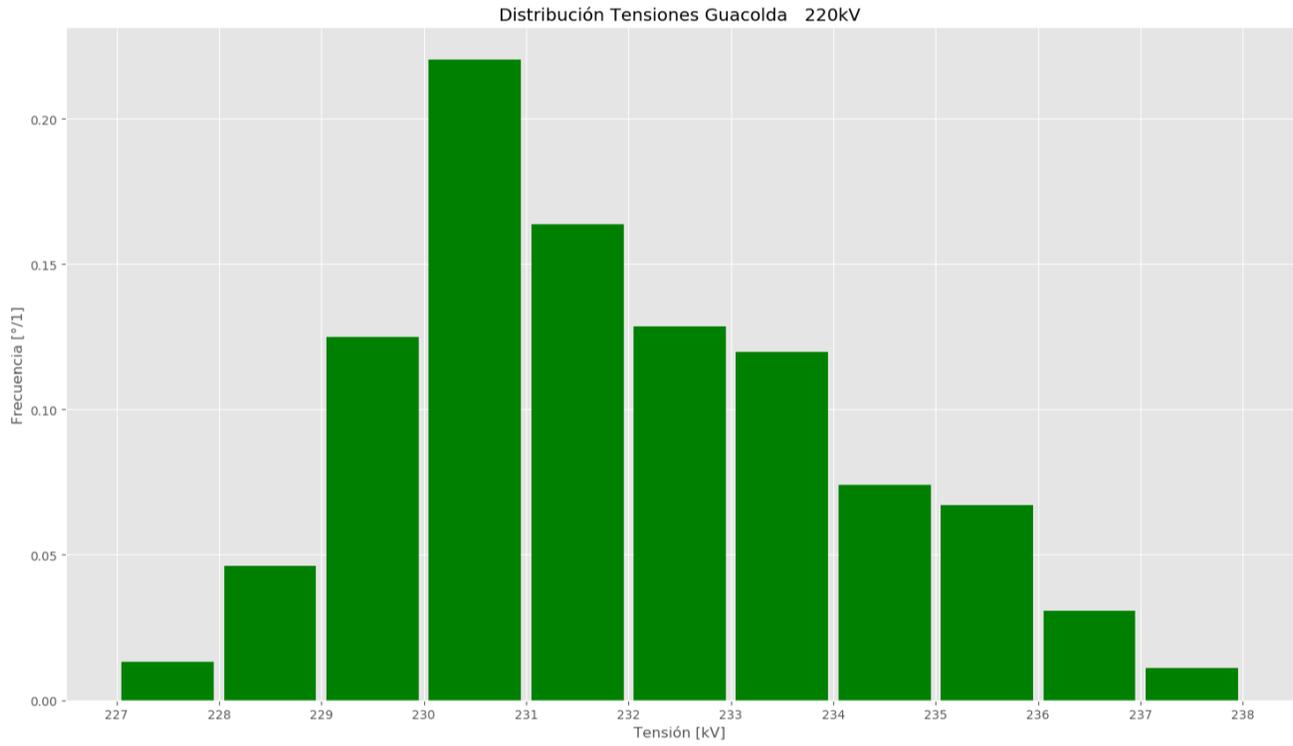
**f) Cardones**



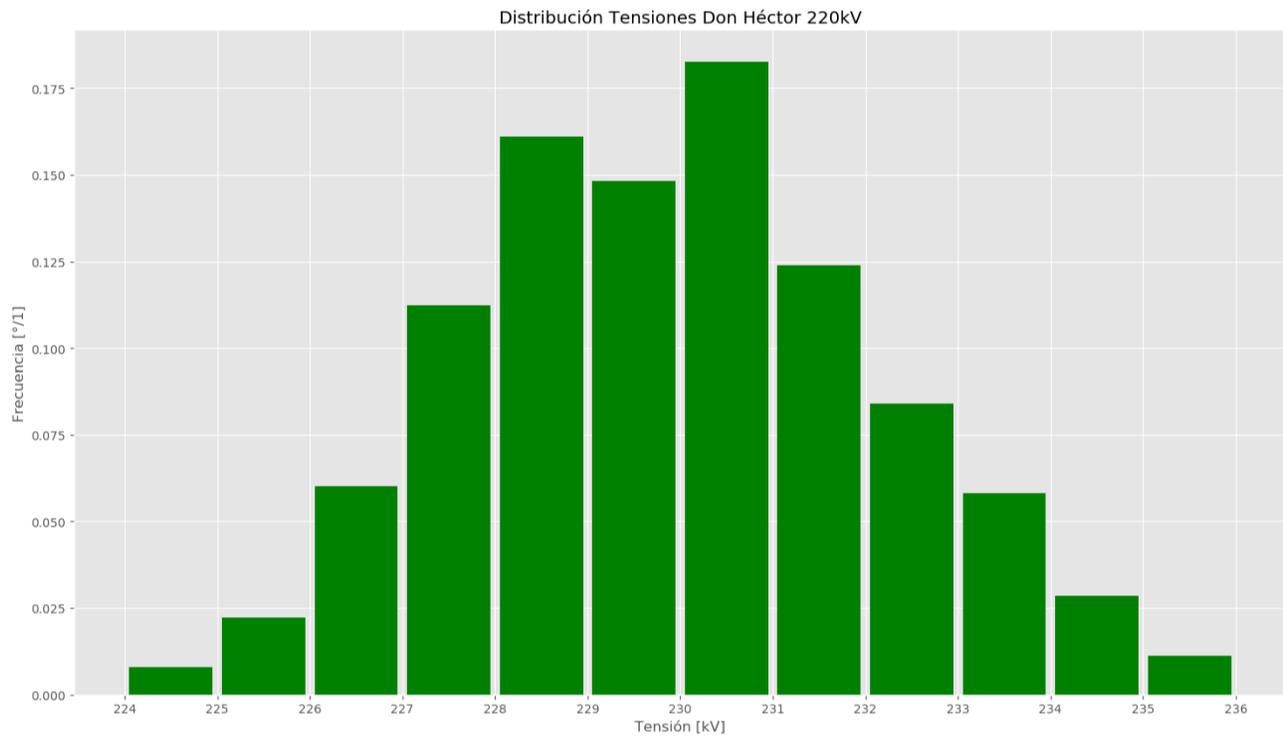
**g) Maitencillo**



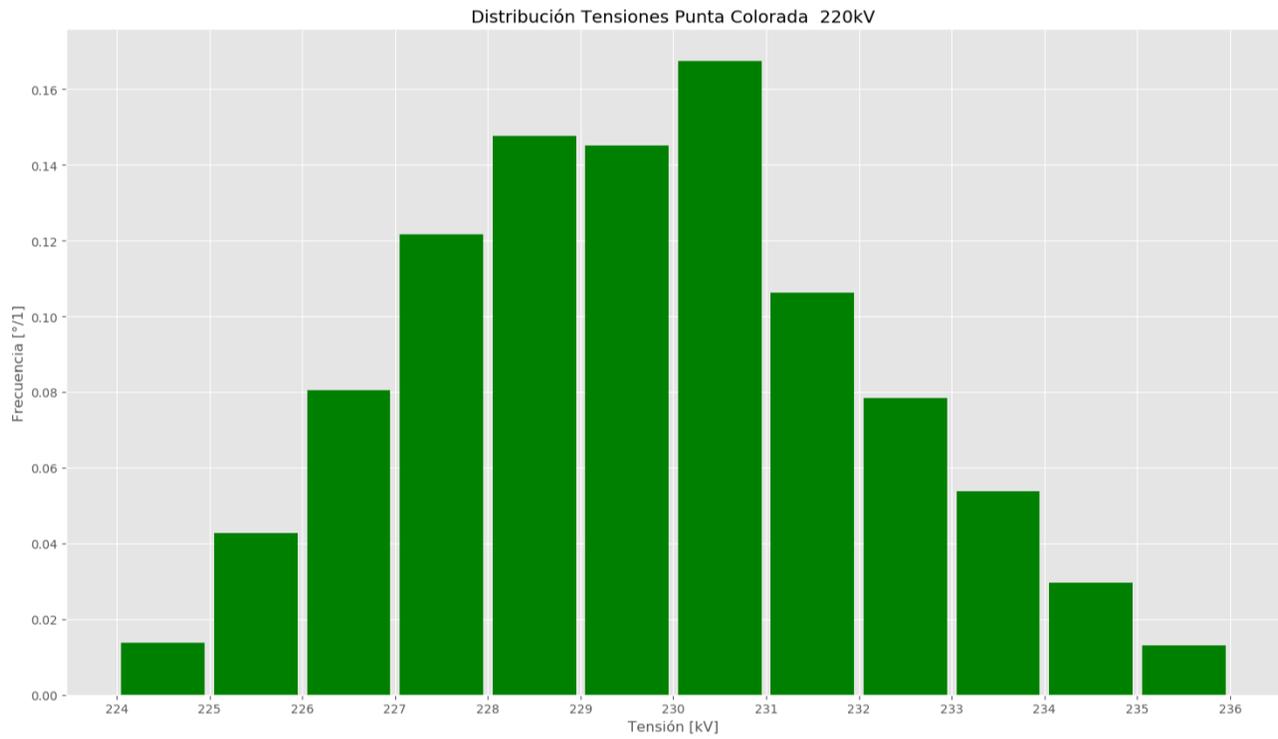
**h) Guacolda**



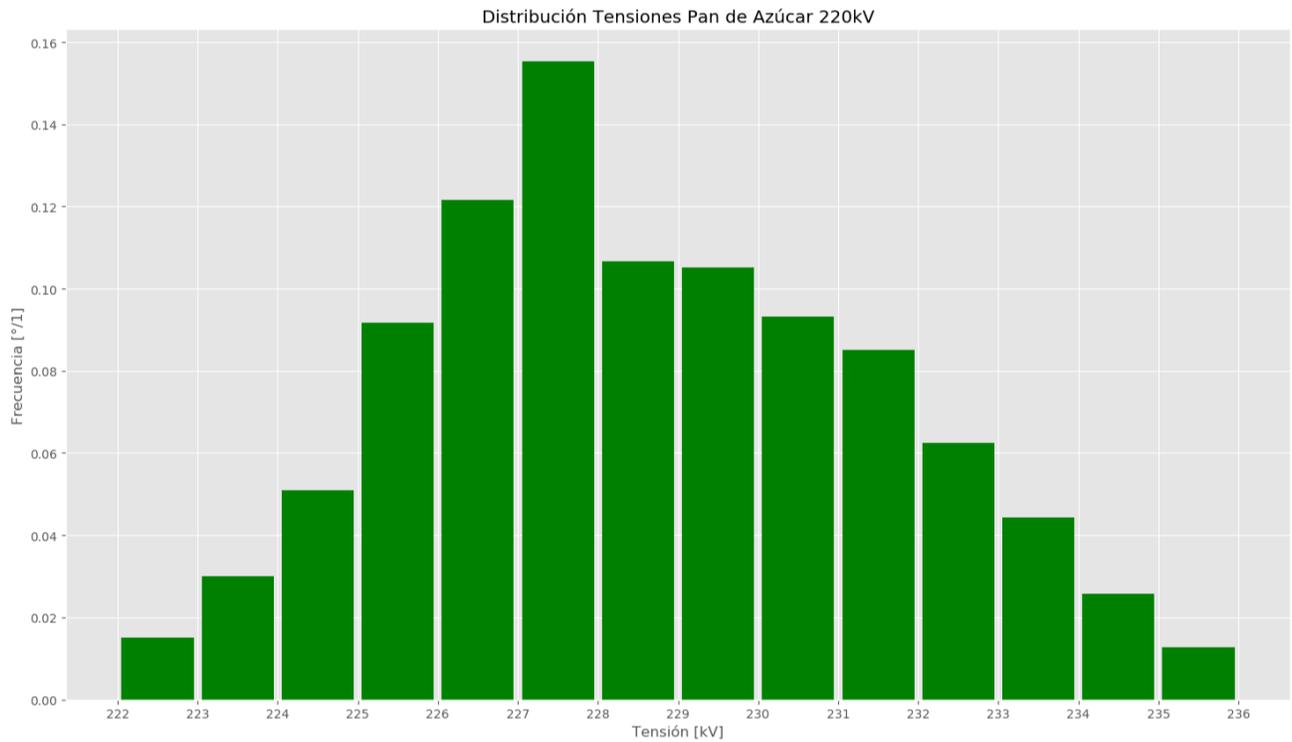
**i) Don Héctor**



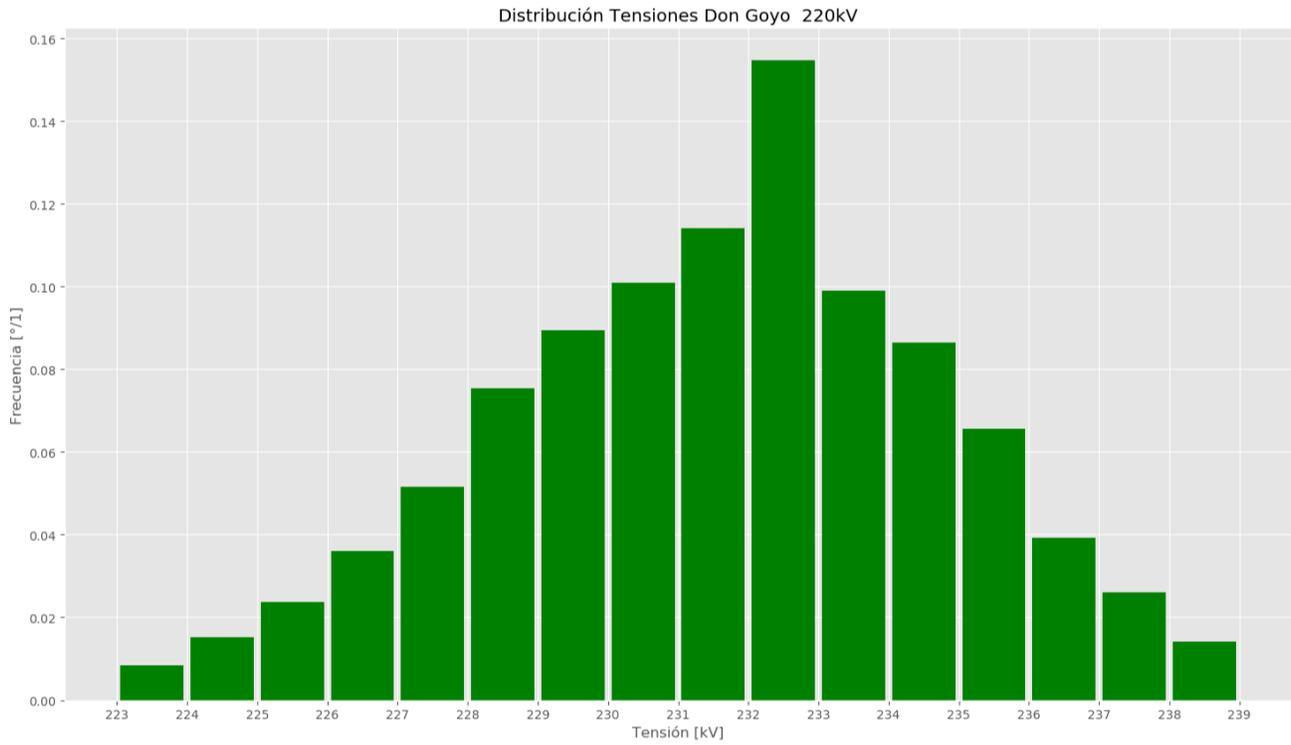
**j) Punta Colorada**



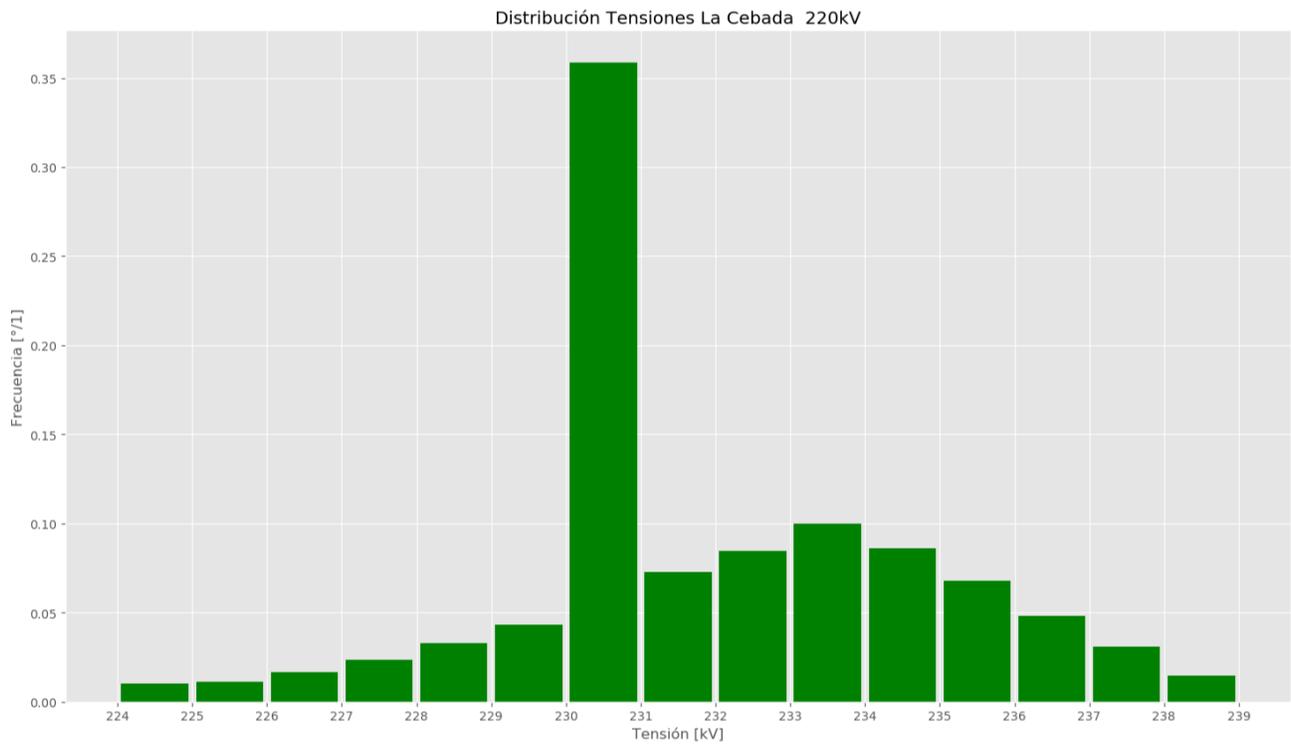
**k) Pan de Azúcar**



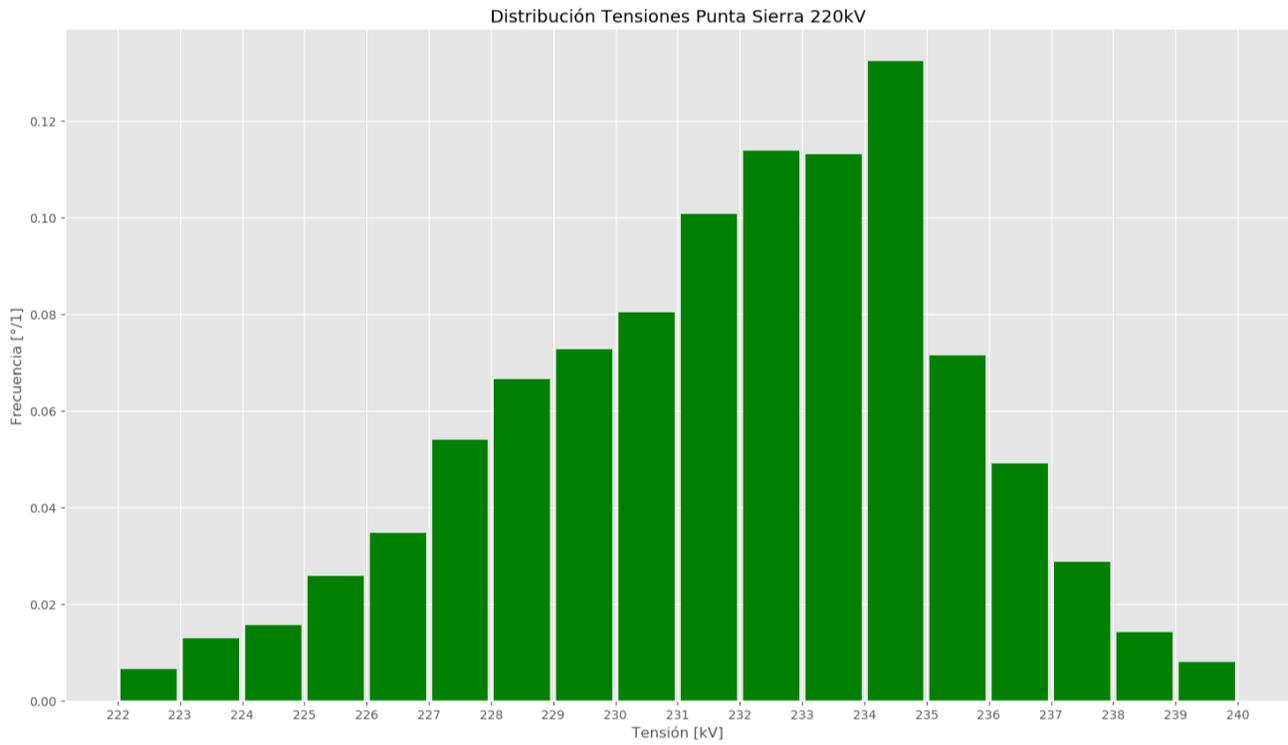
**l) Don Goyo**



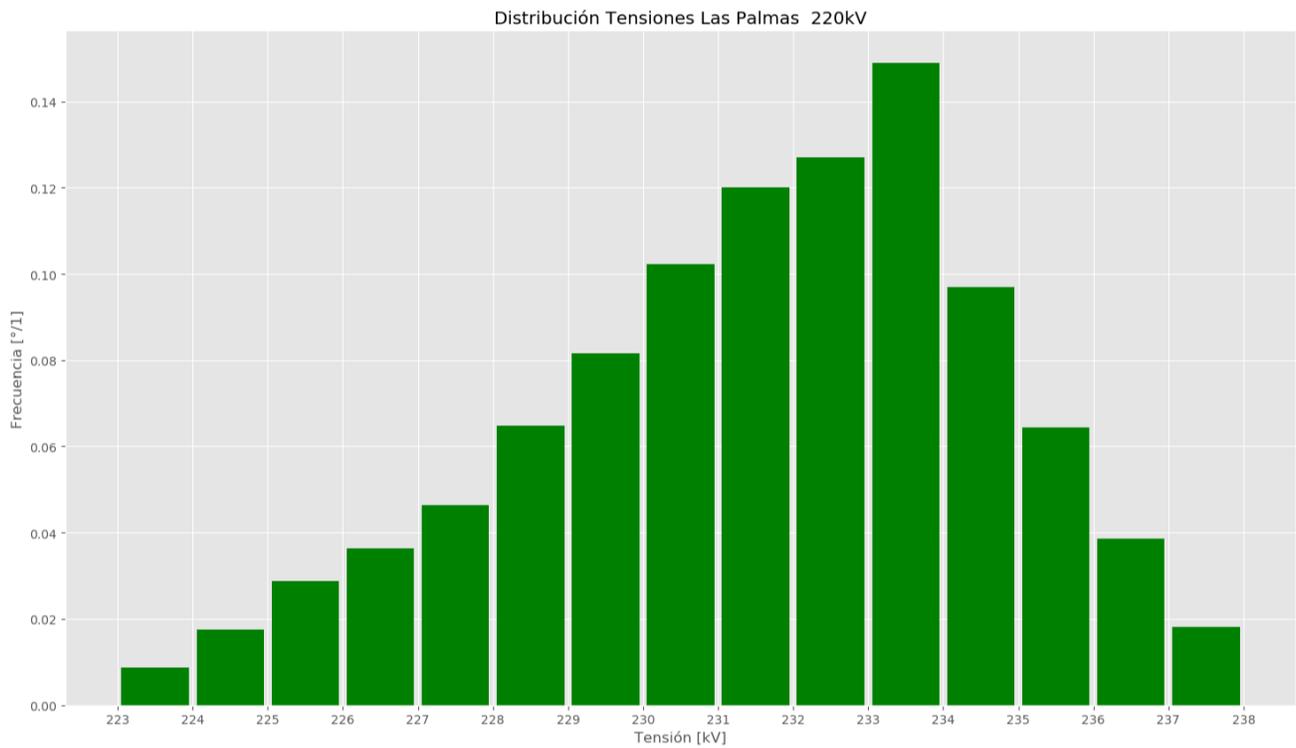
**m) La Cebada**



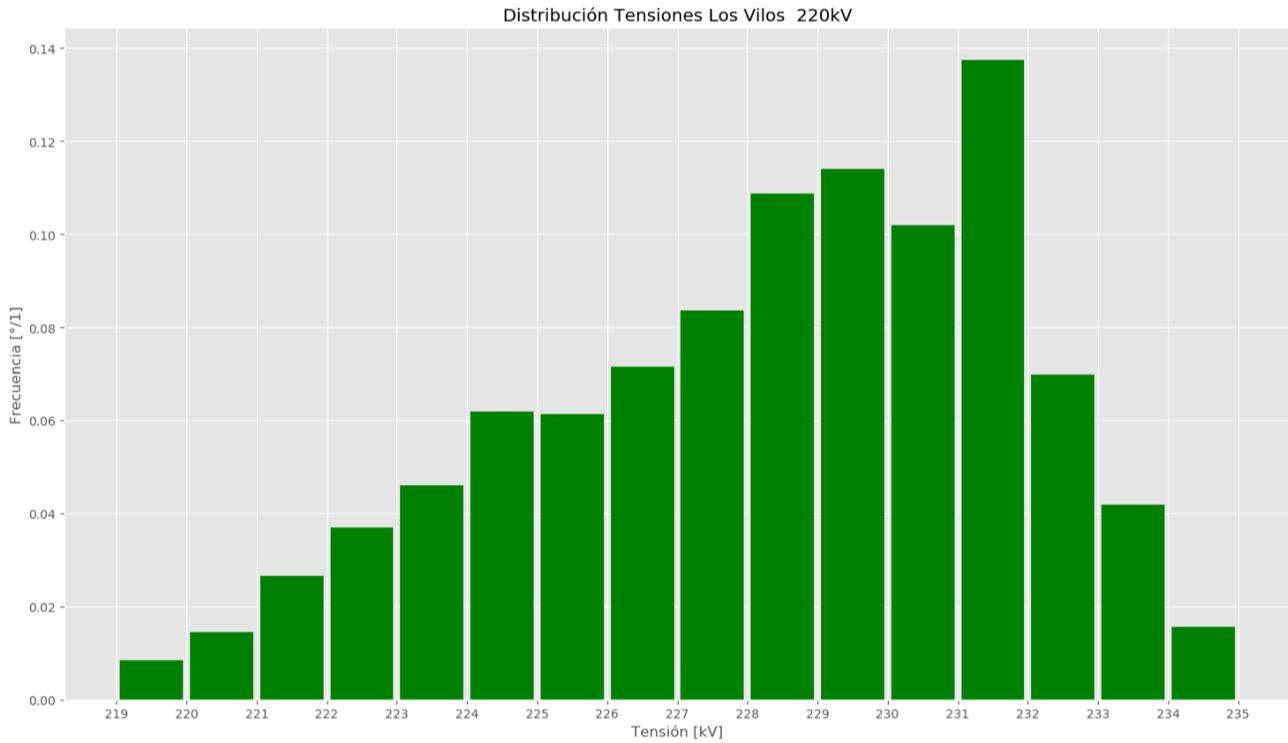
**n) Punta Sierra**



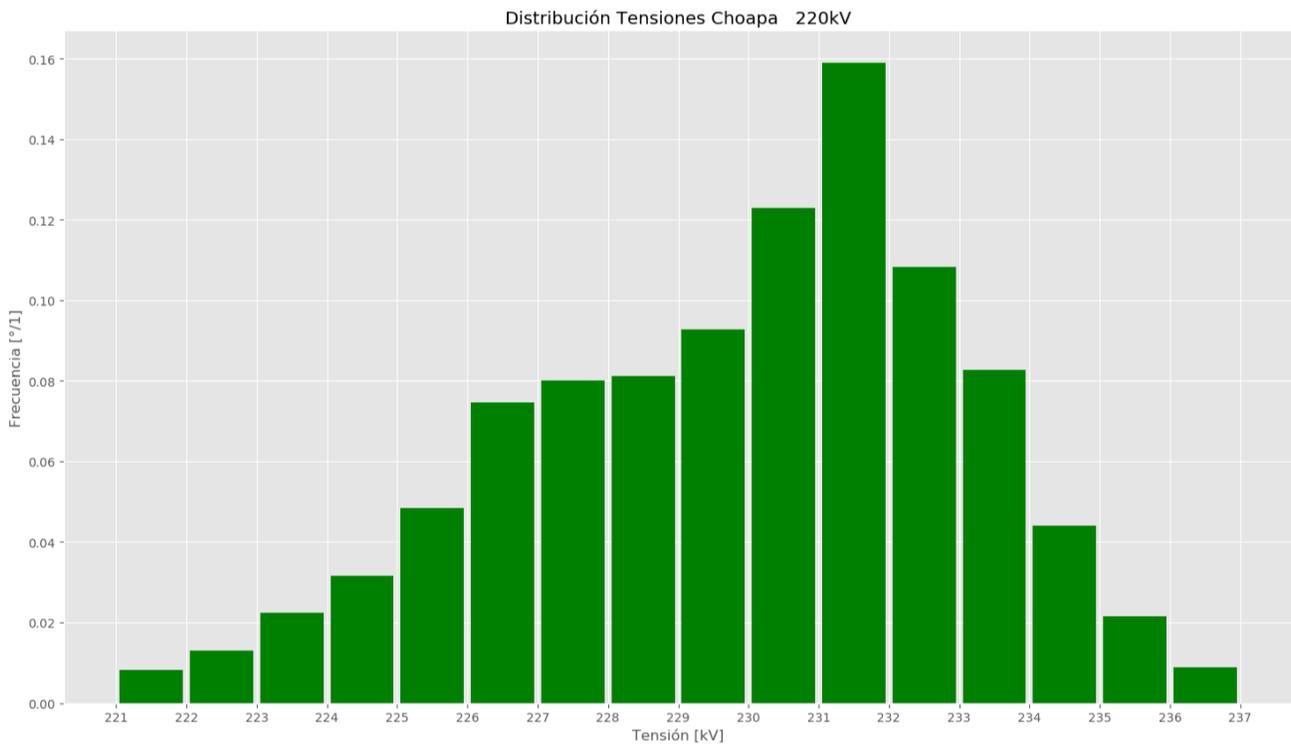
**o) Las Palmas**



**p) Los Vilos**

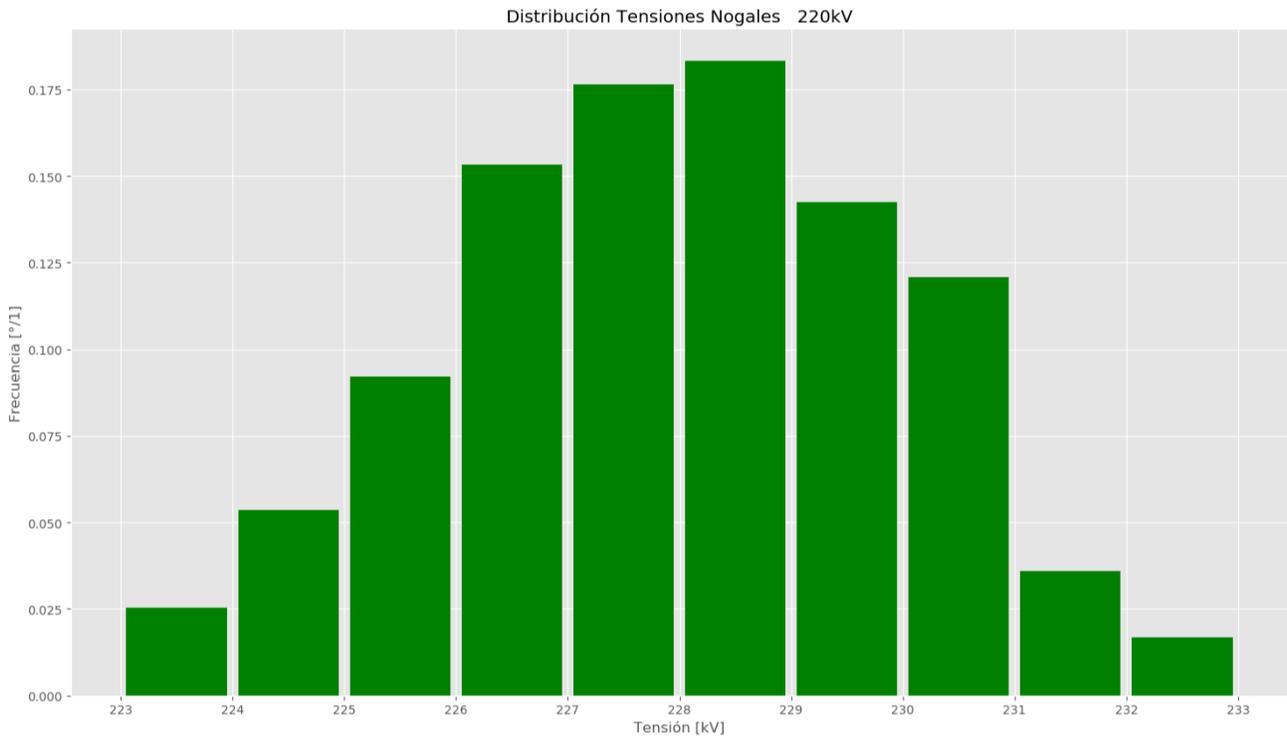


**q) Choapa**

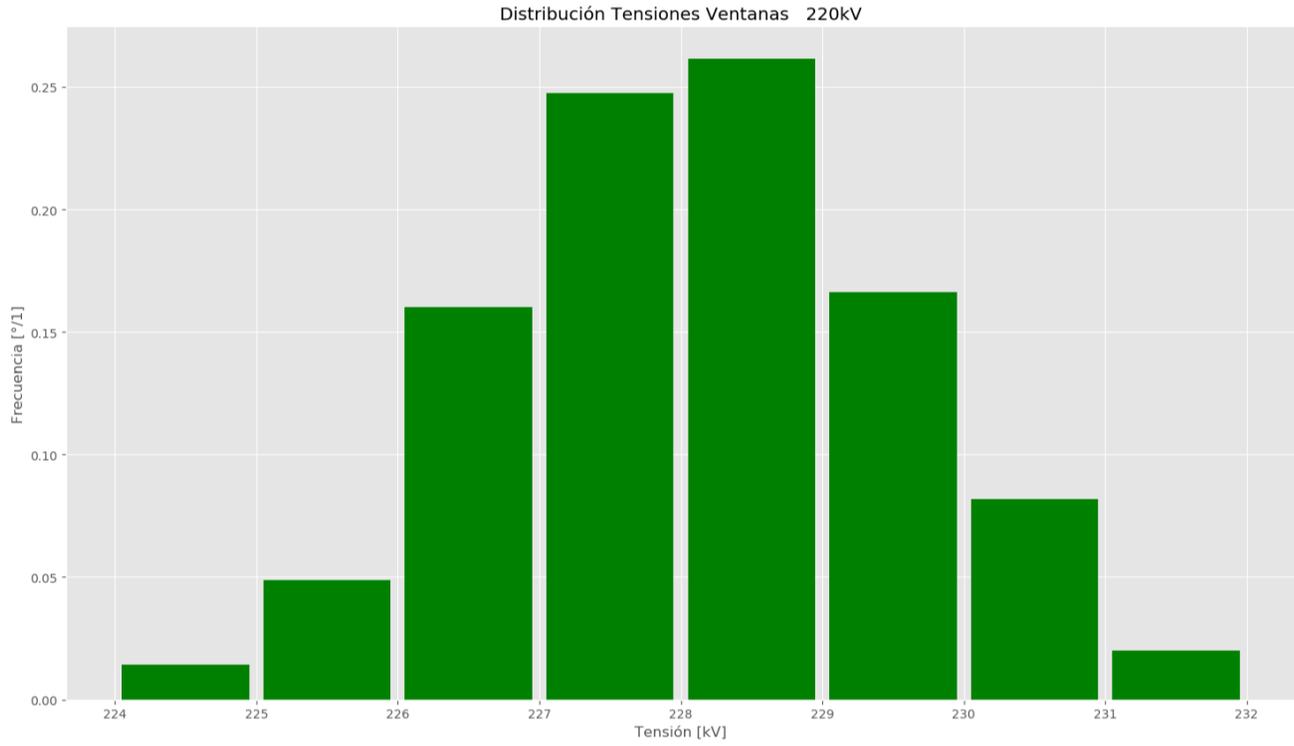


### 9.2.3 Zona Centro

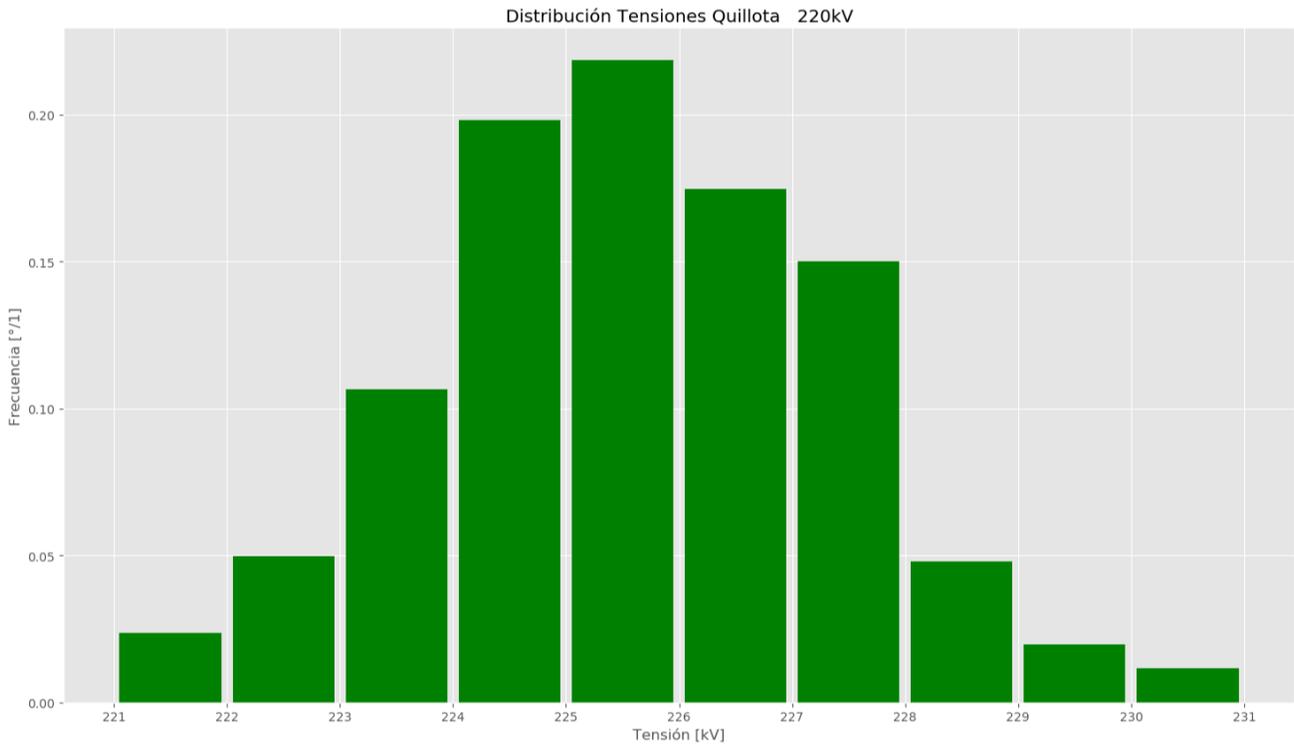
#### a) Nogales



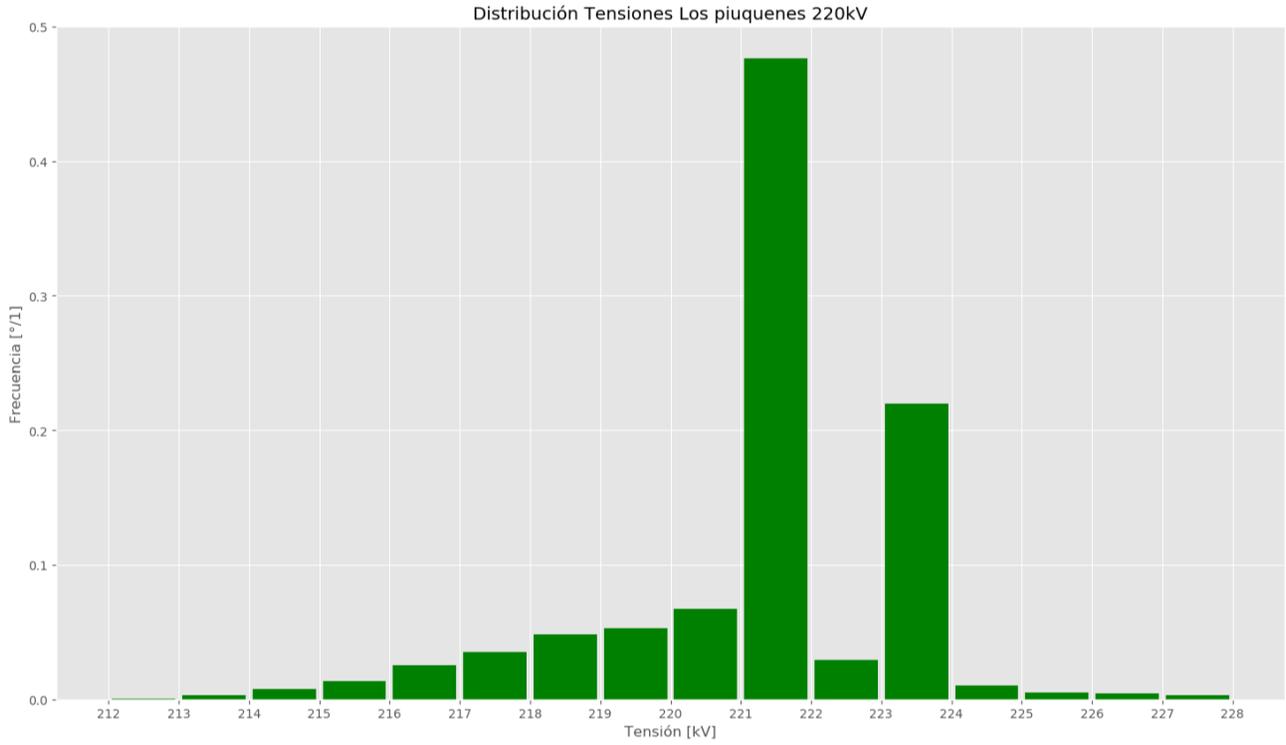
**b) Ventanas**



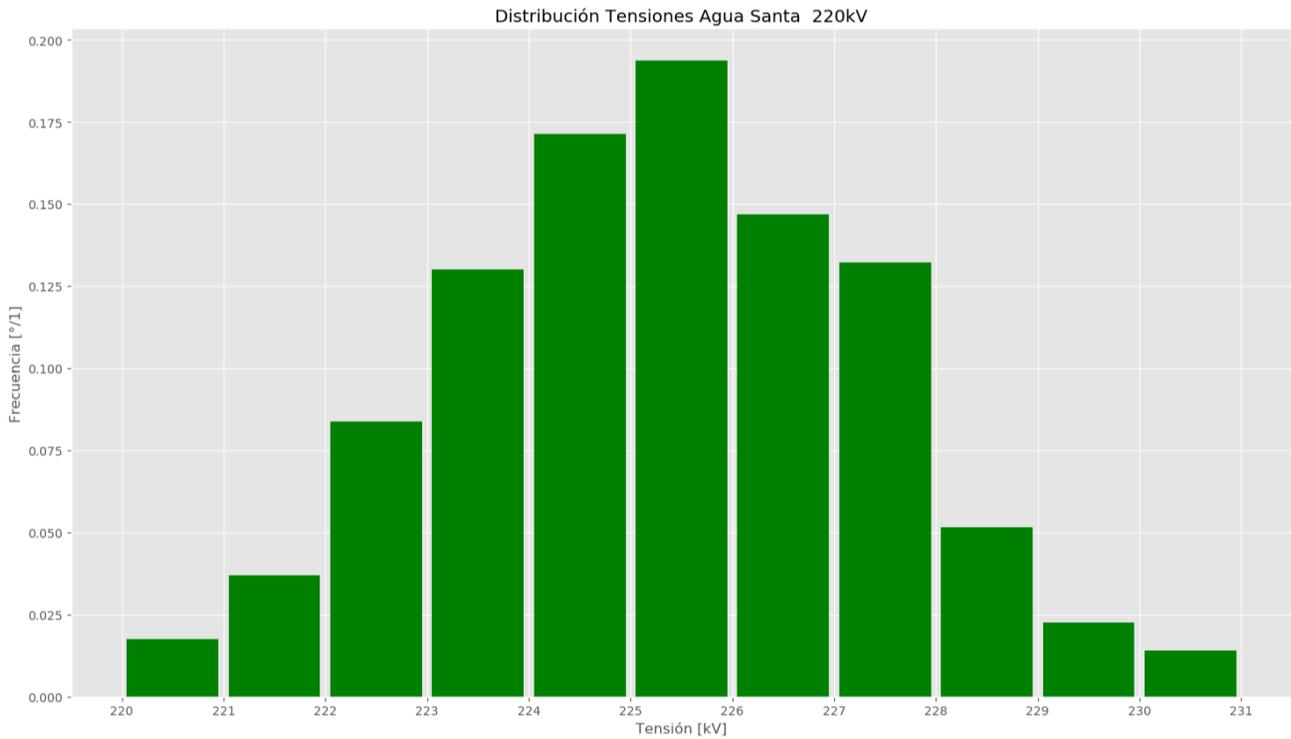
**c) Quillota**



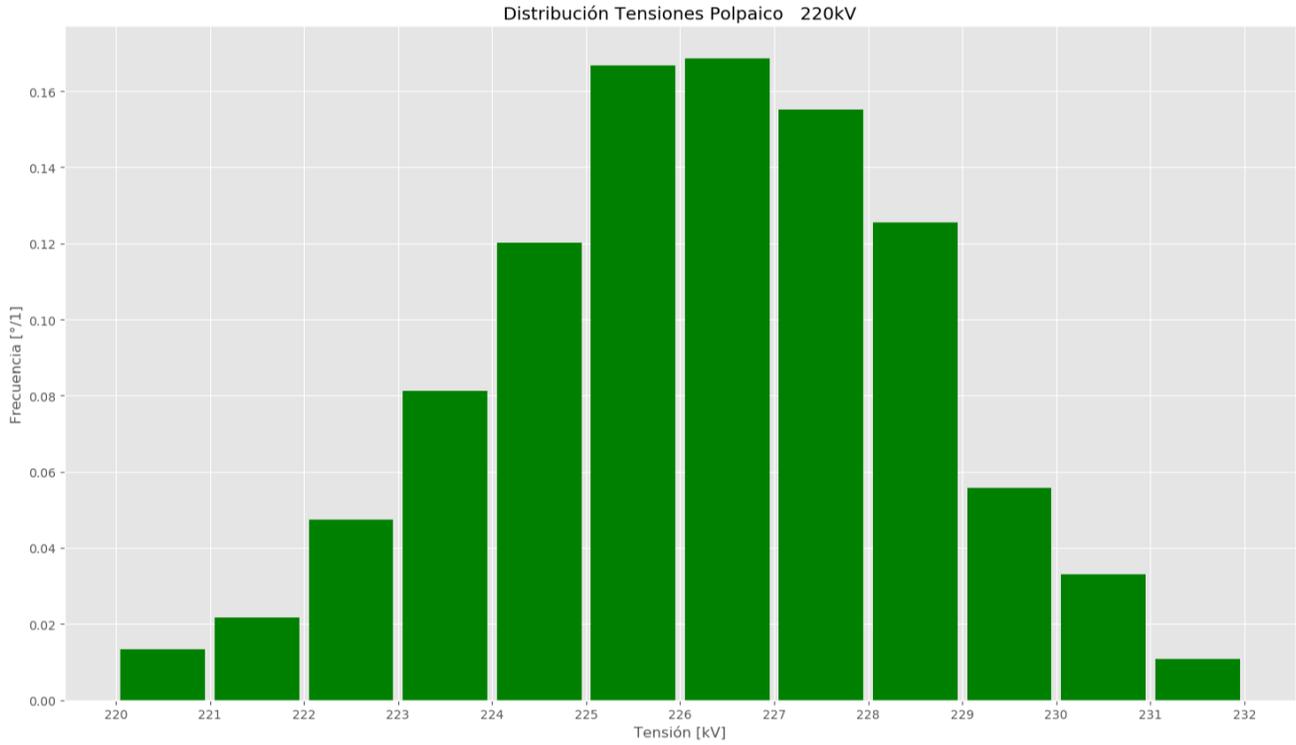
**d) Los Piuquenes**



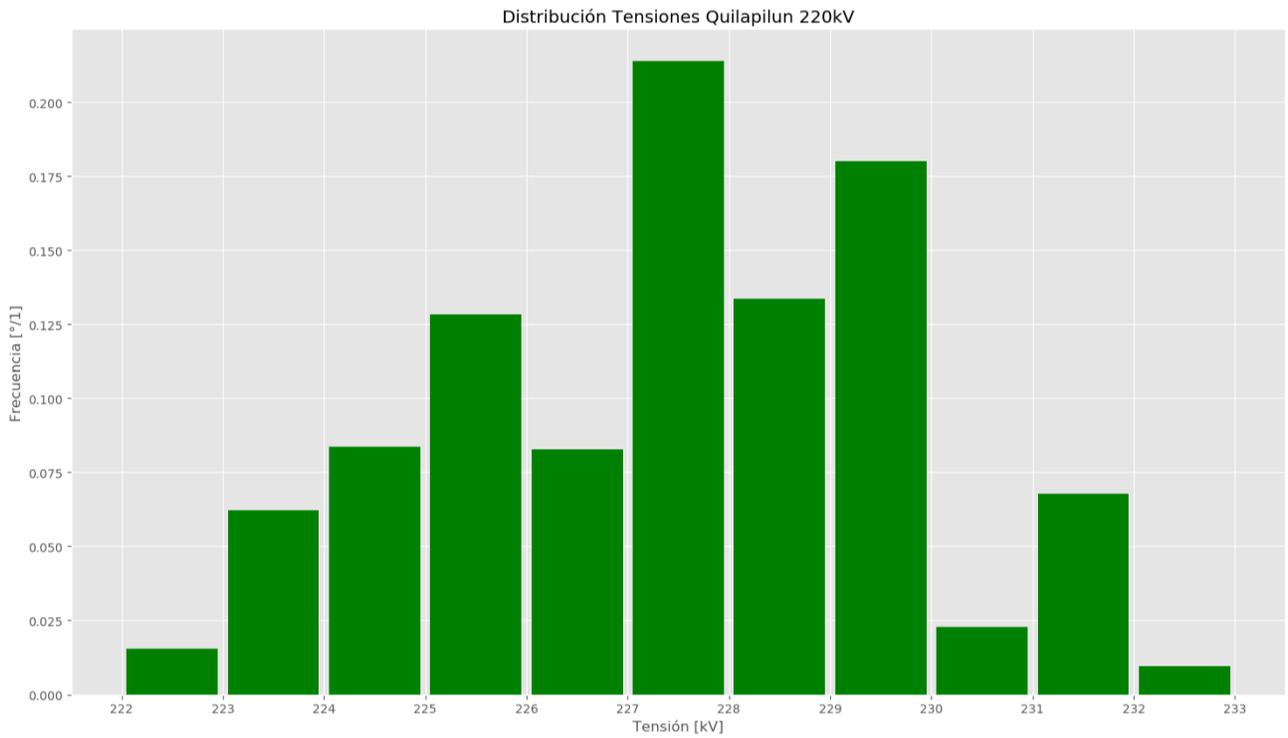
**e) Agua Santa**



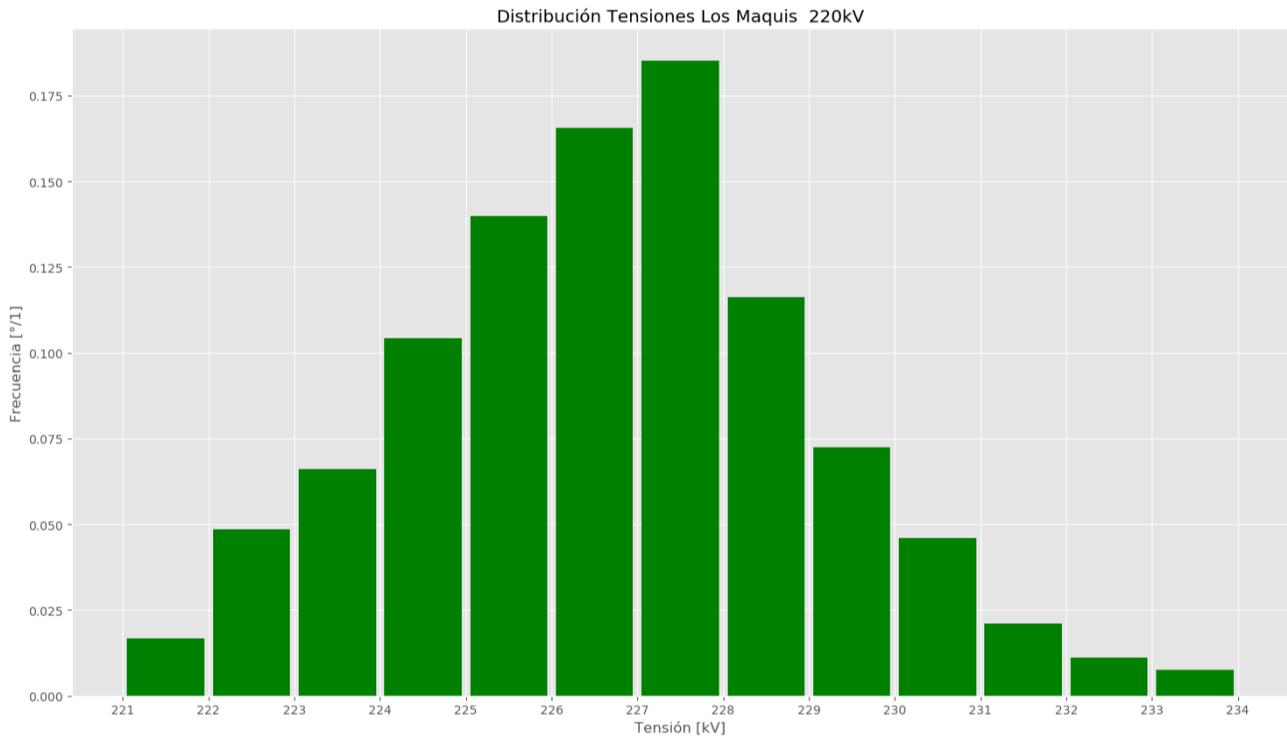
**f) Polpaico**



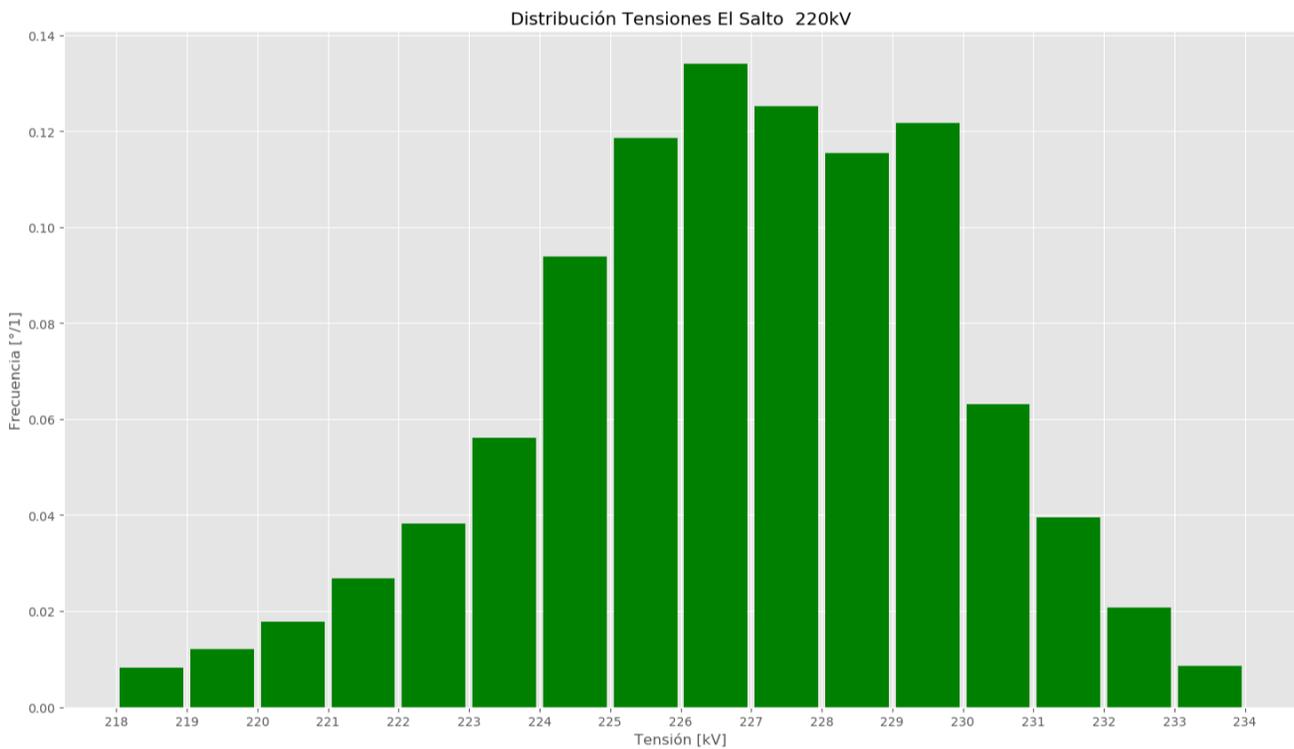
**g) Quilapilún**



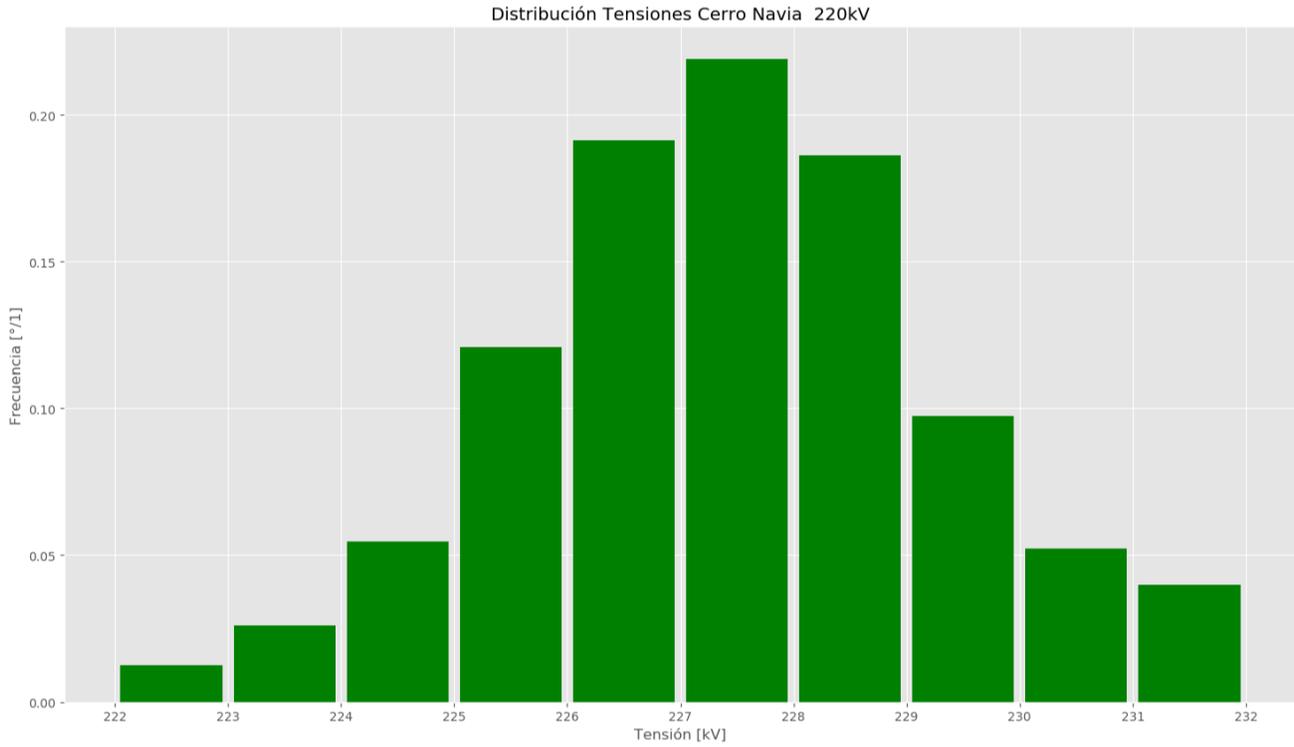
**h) Los Maquis**



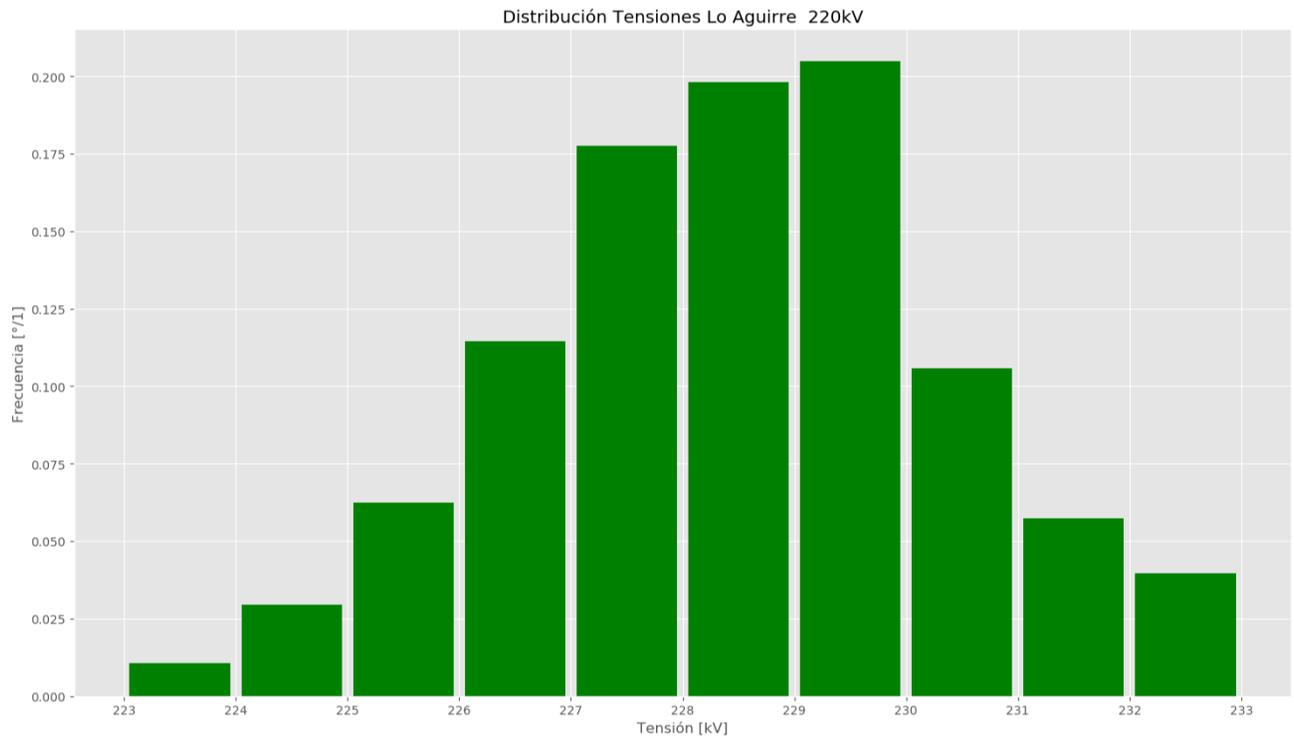
**i) El Salto**



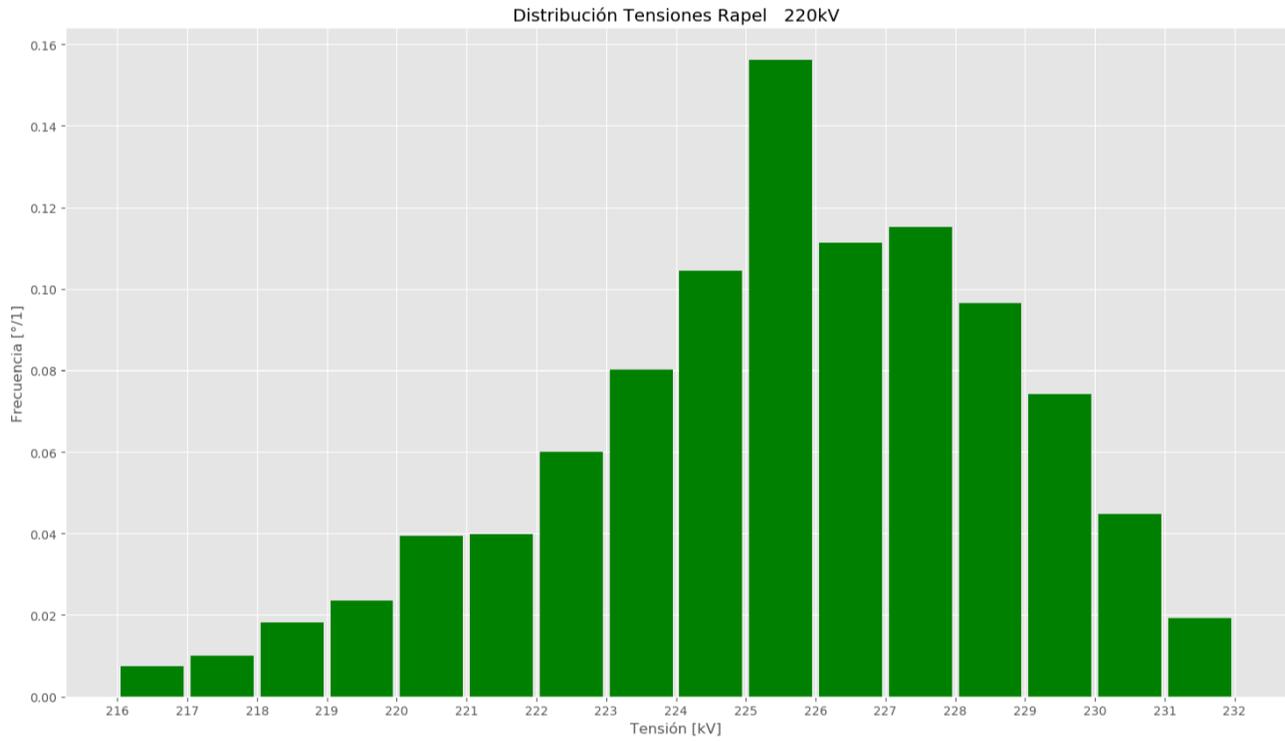
**j) Cerro Navia**



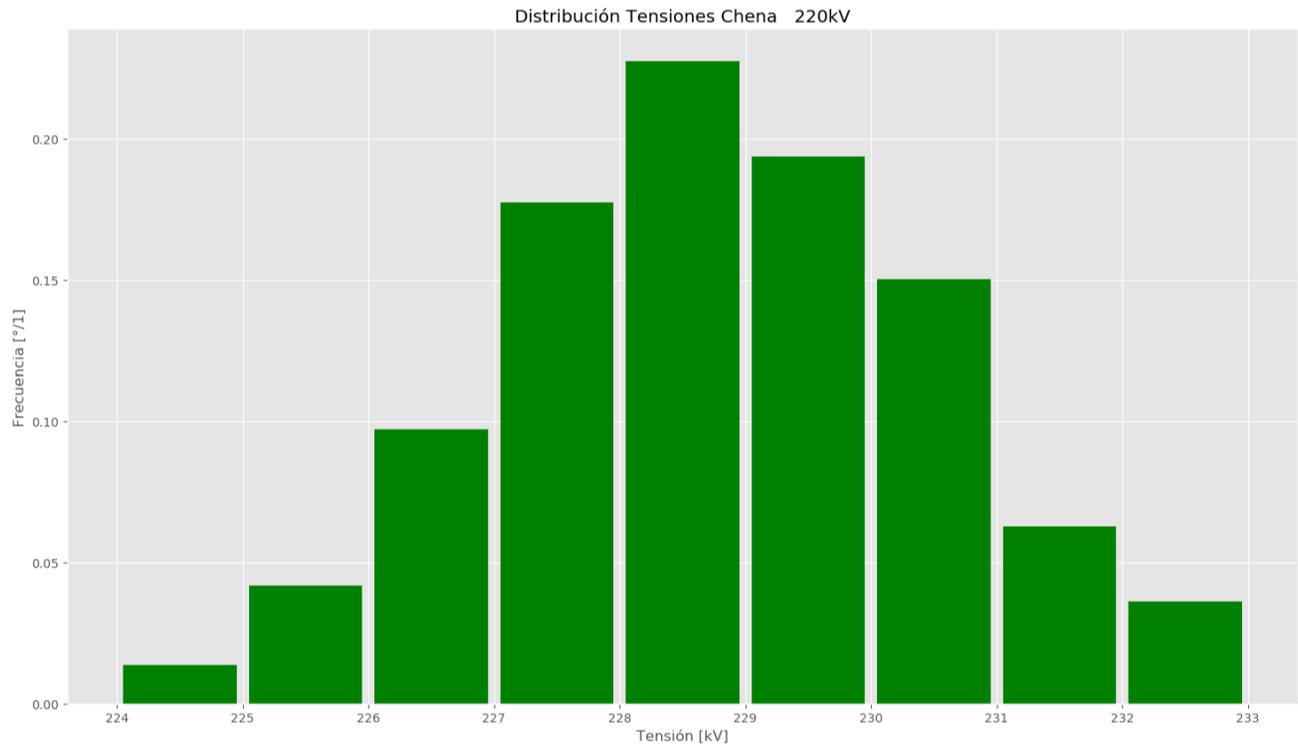
**k) Lo Aguirre**



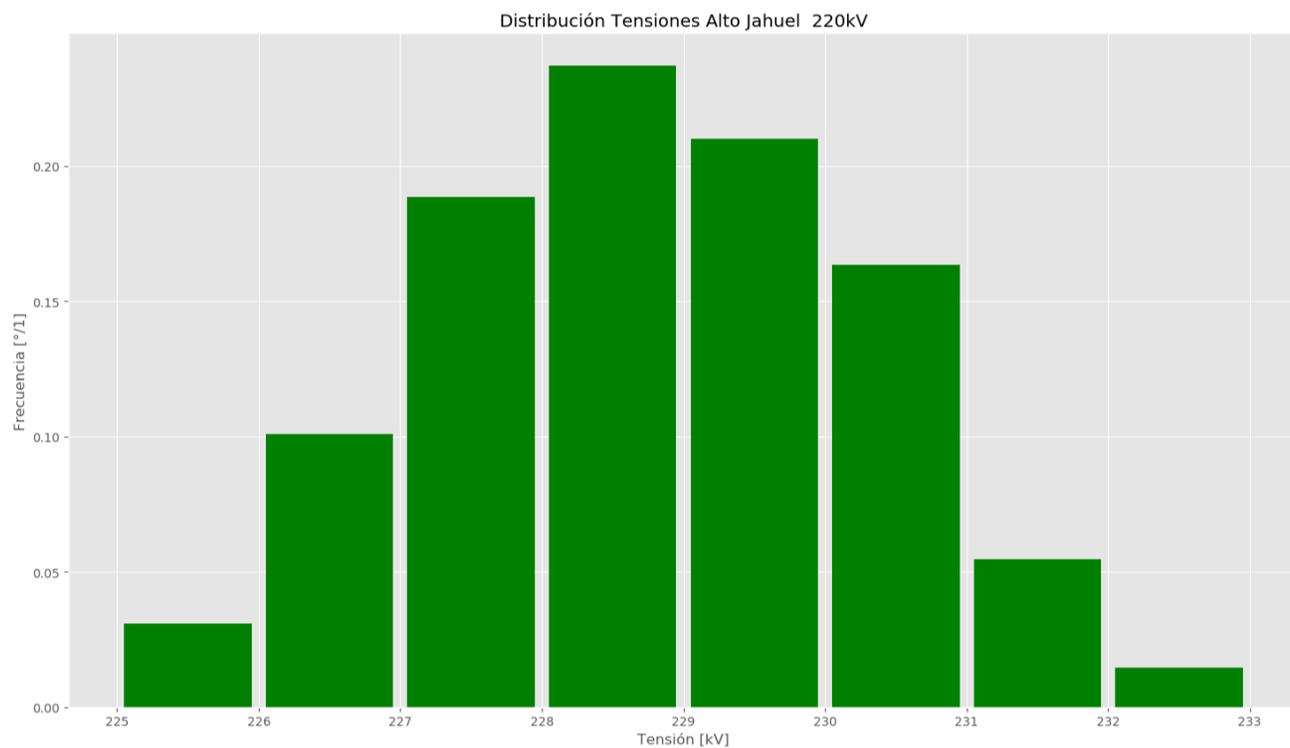
**l) Rapel**



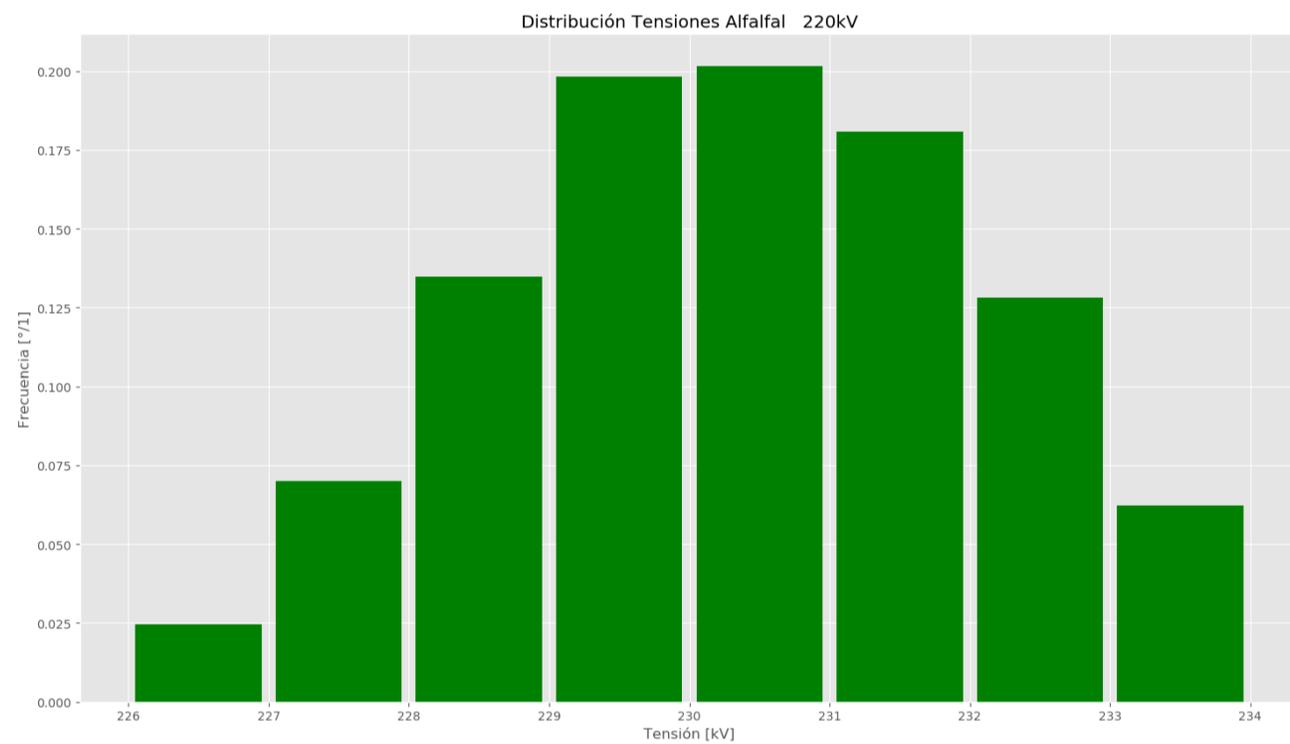
**m) Chena**



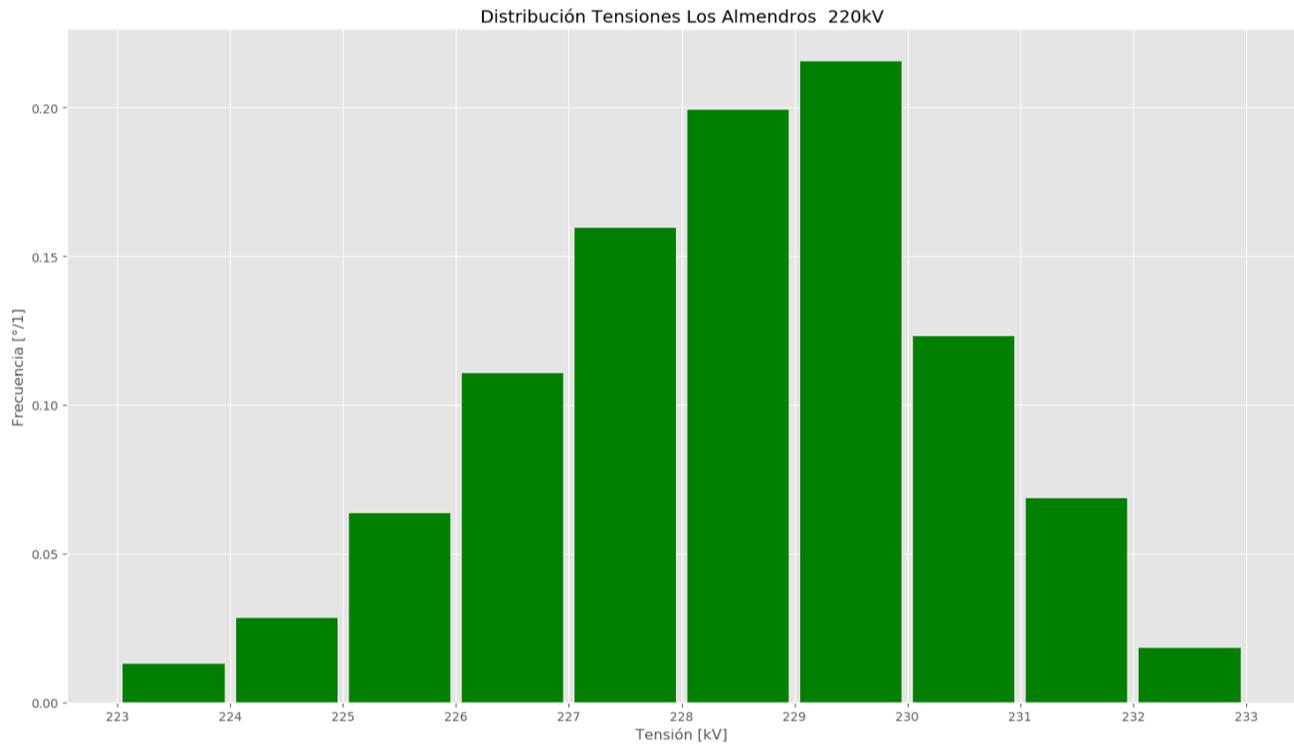
**n) Alto Jahuel**



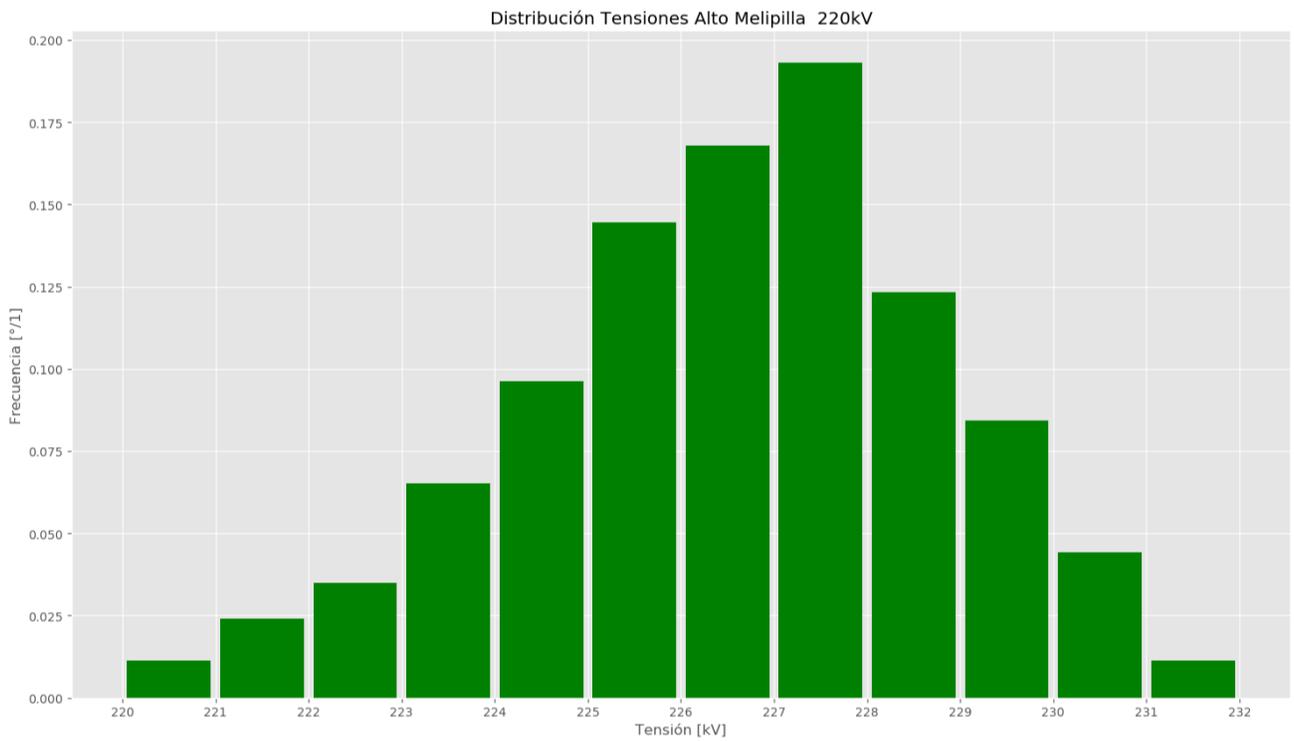
**o) Alfafal**



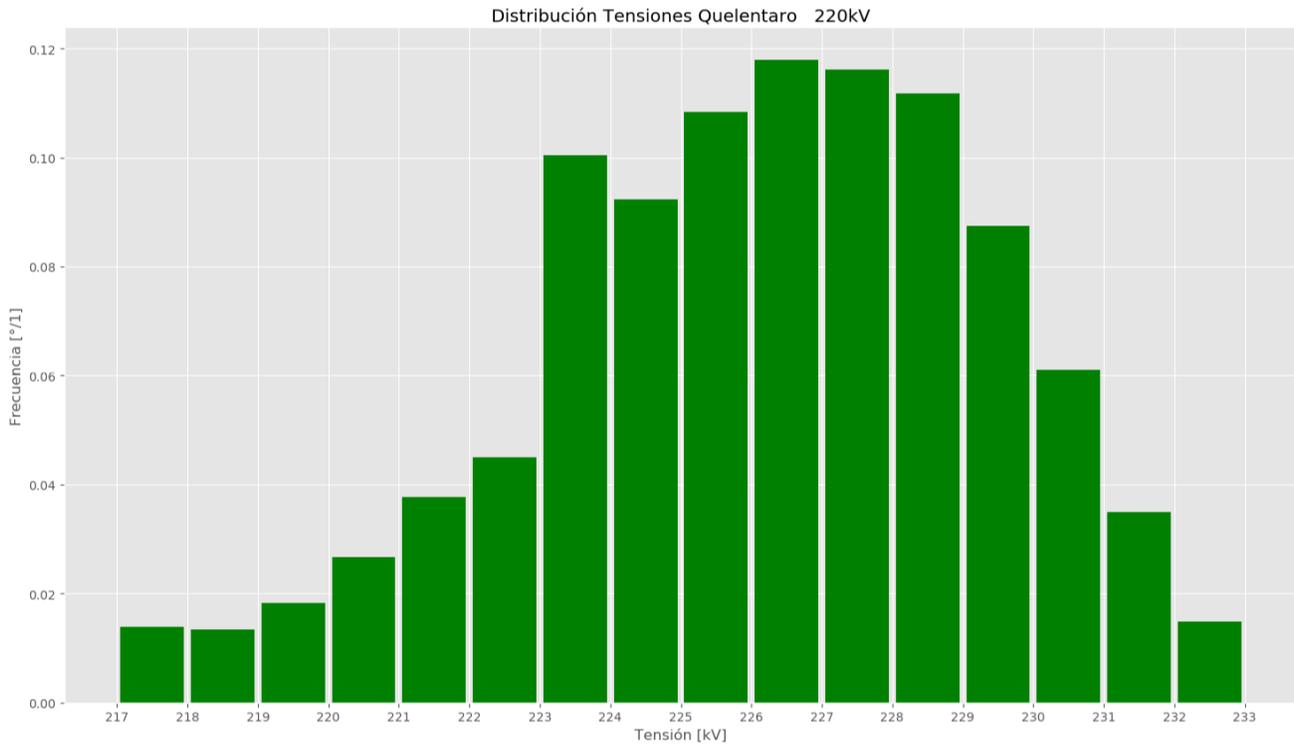
**p) Los Almendros**



**q) Alto Melipilla**

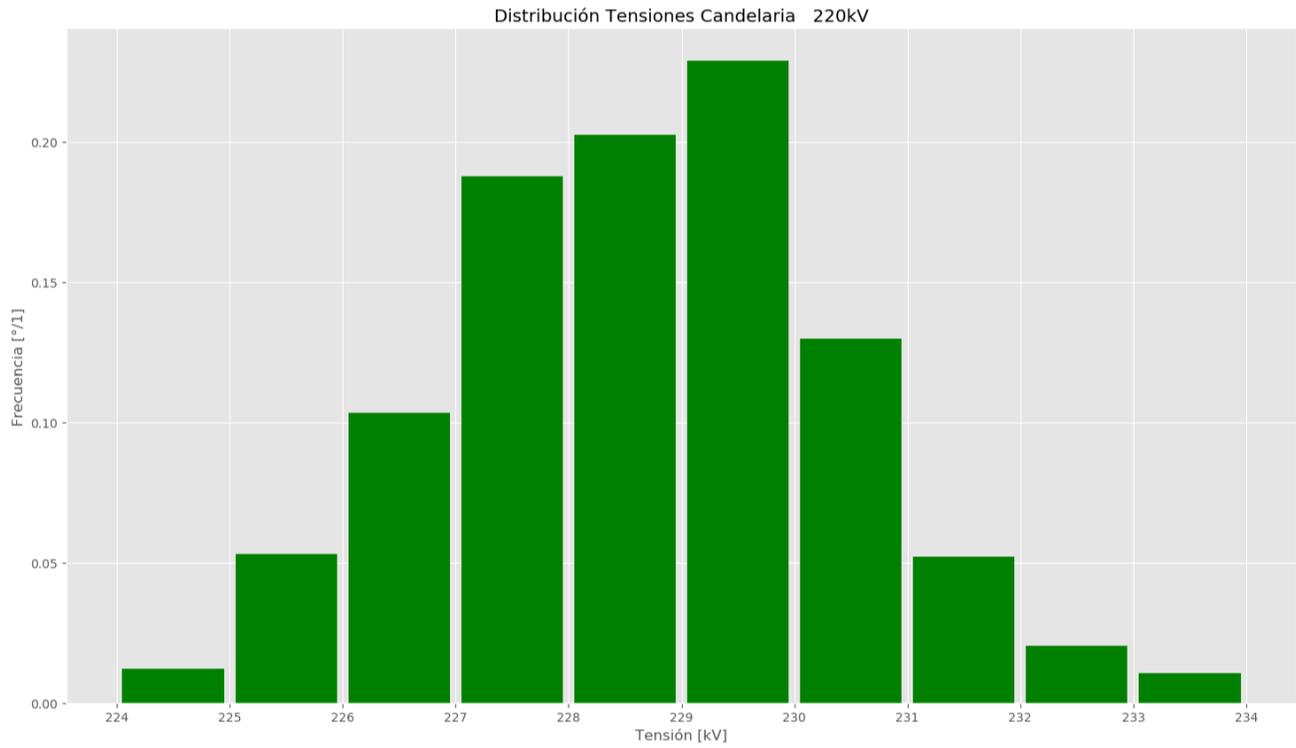


r) **Quelestaro**

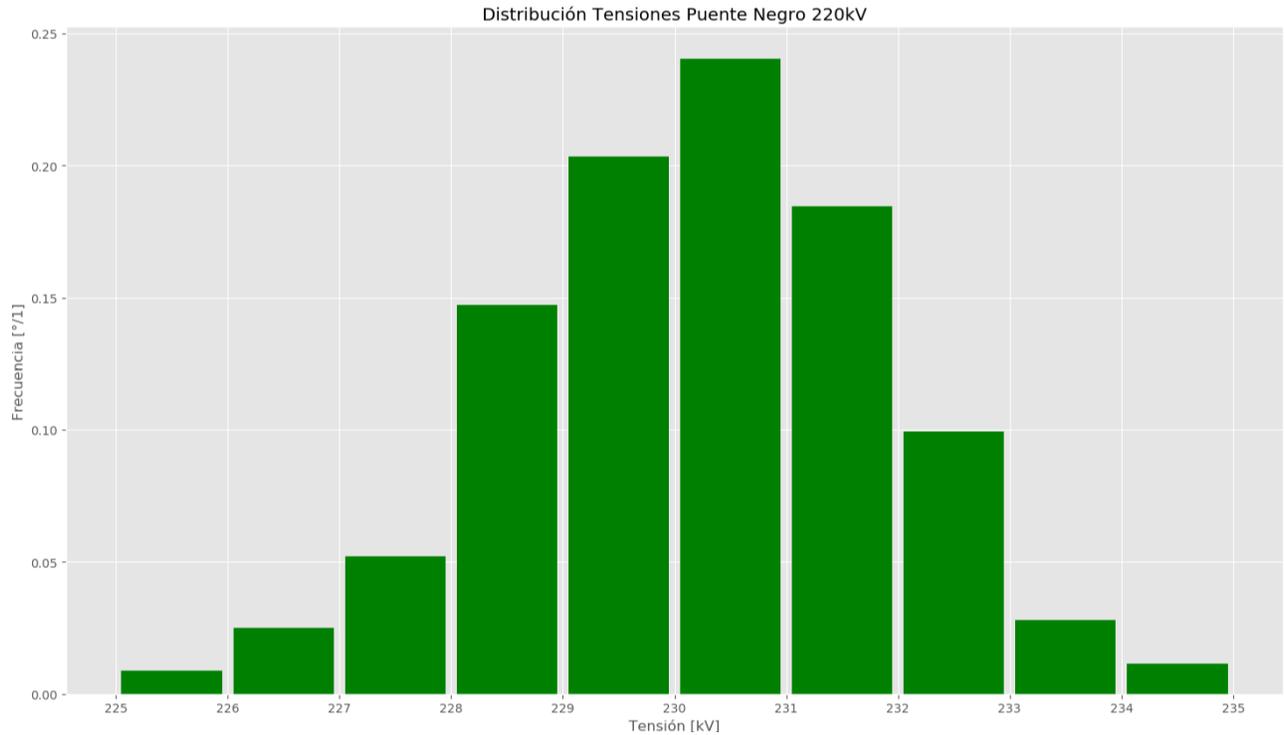


## 9.2.4 Zona Sur

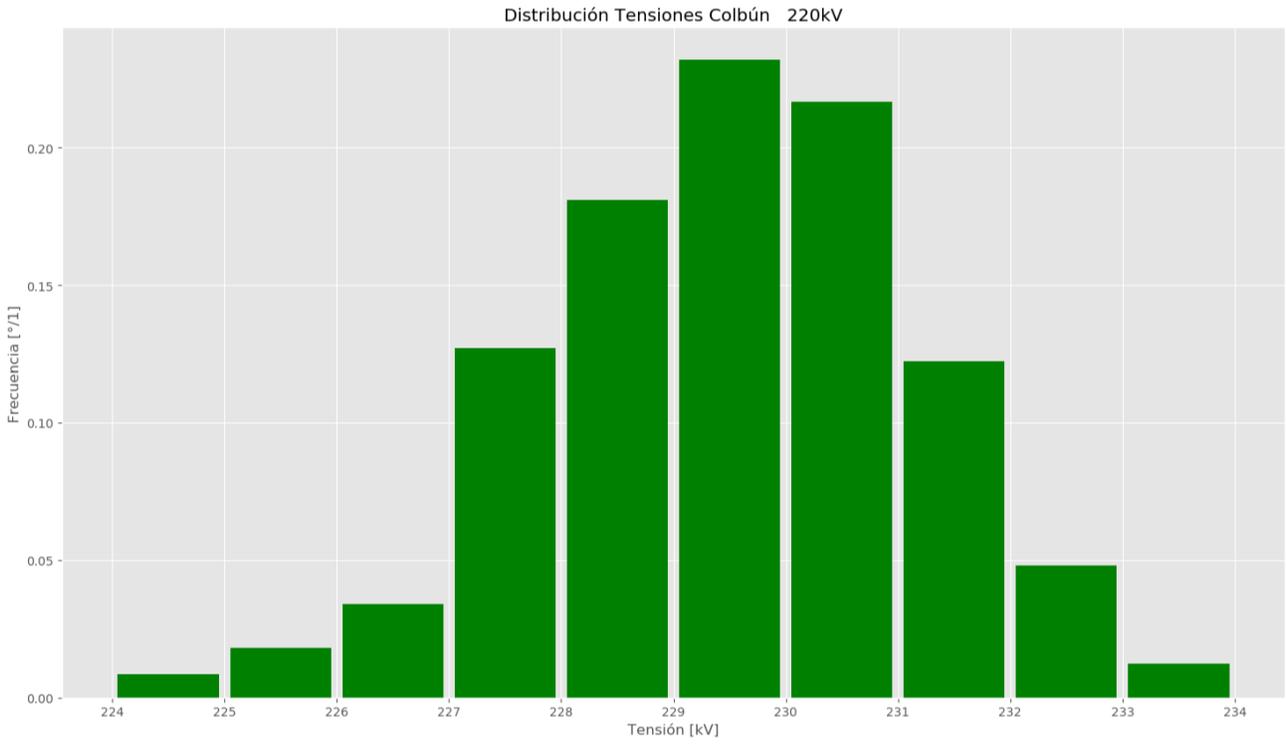
### a) Candelaria



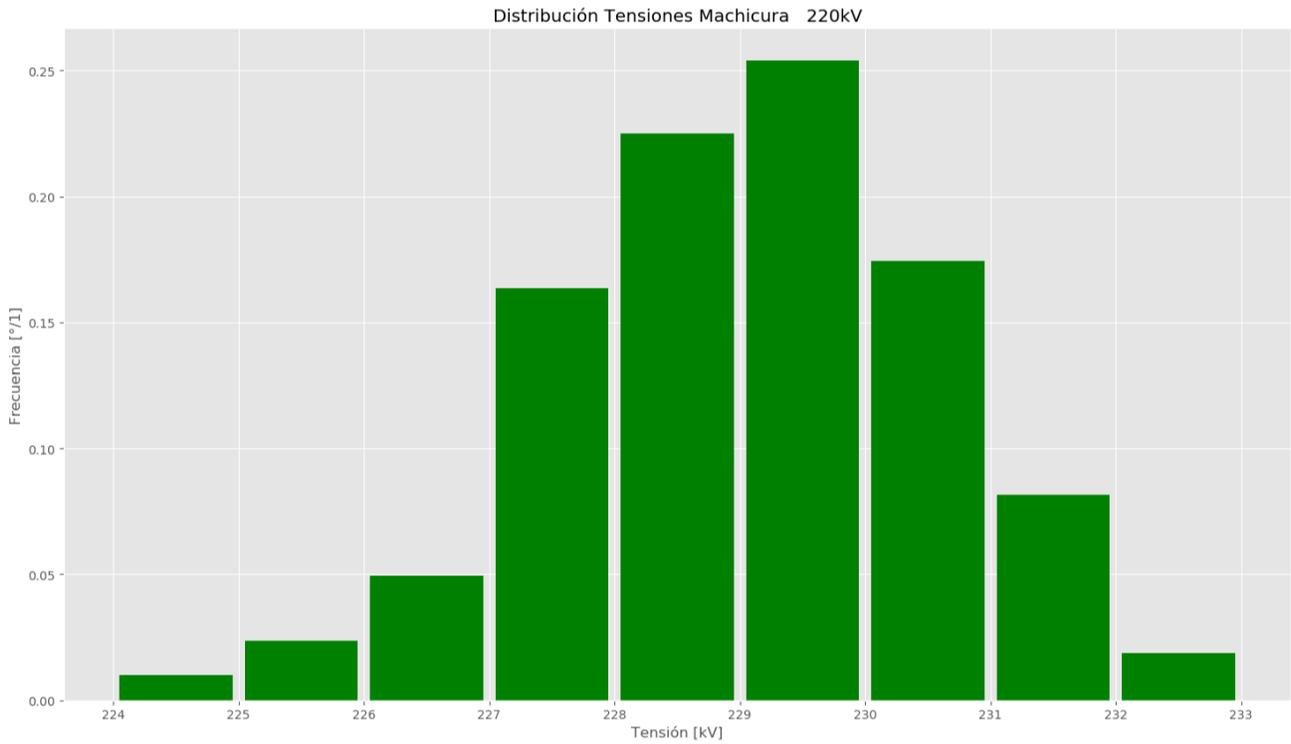
### b) Puente Negro



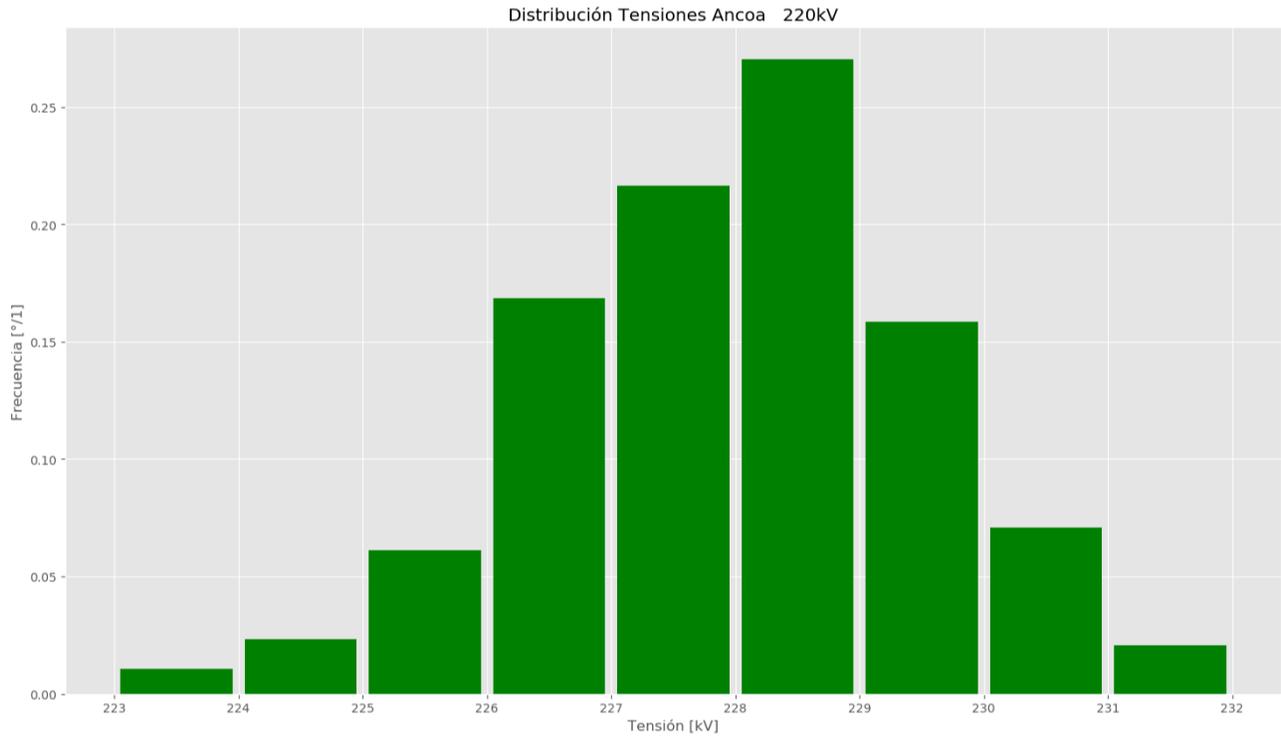
**c) Colbún**



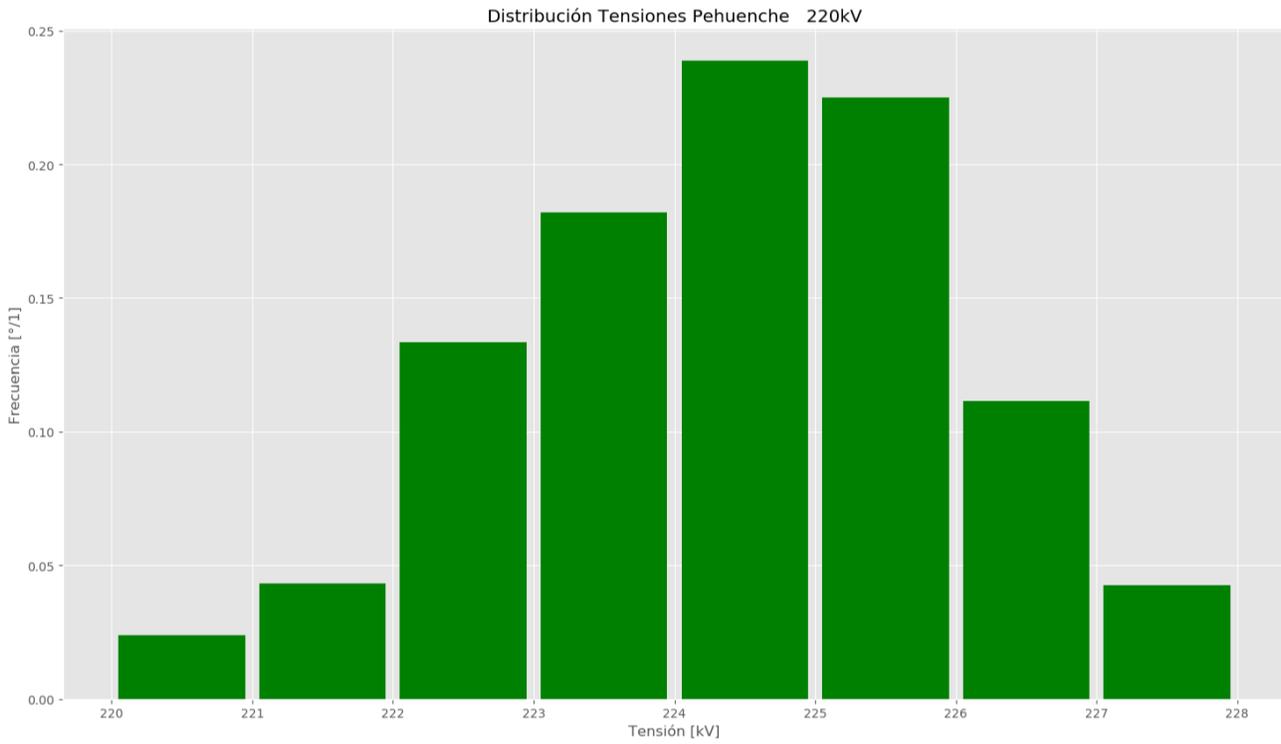
**d) Machicura**



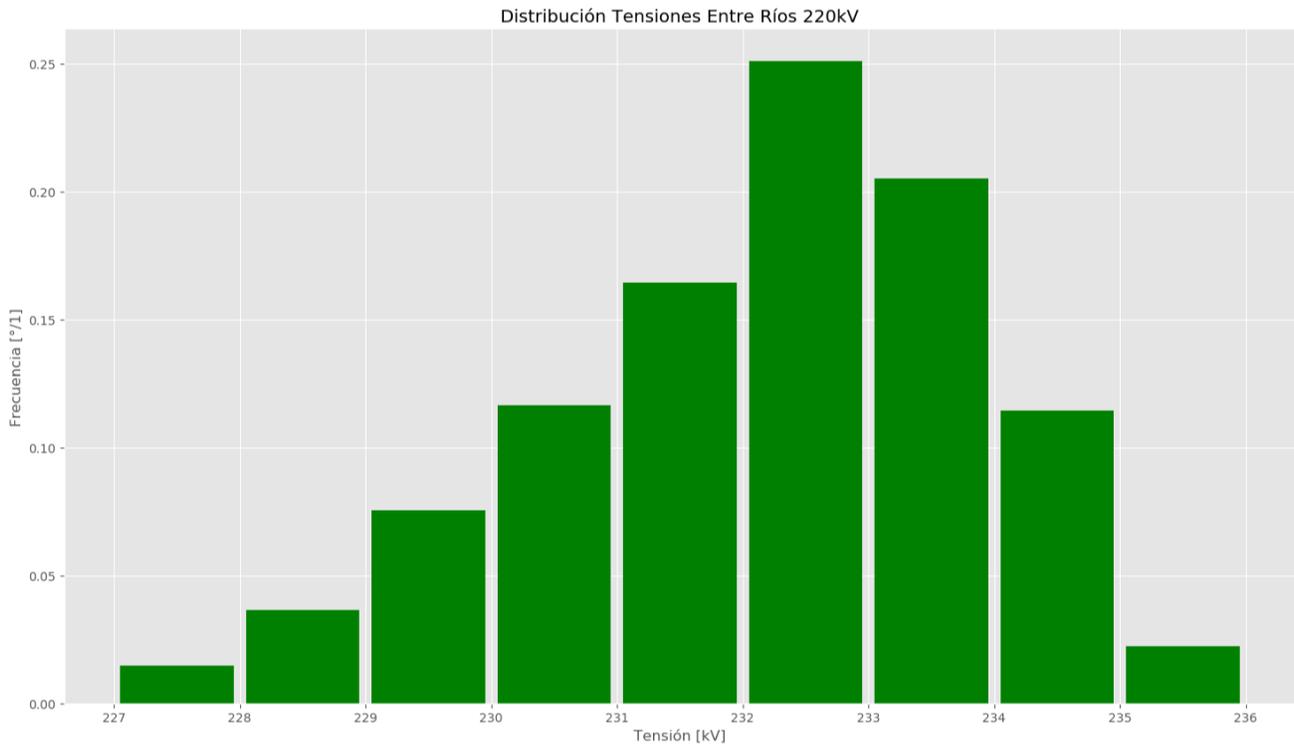
e) Ancoa



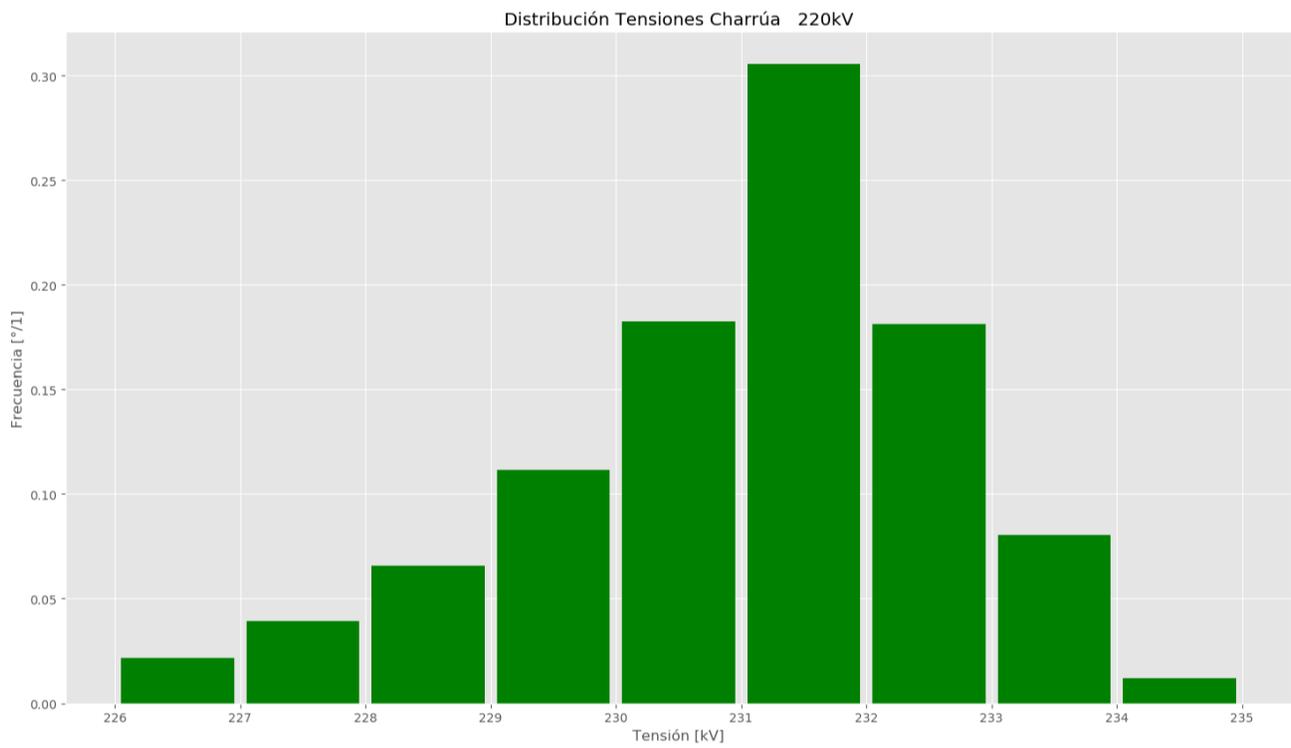
f) Pehuenche



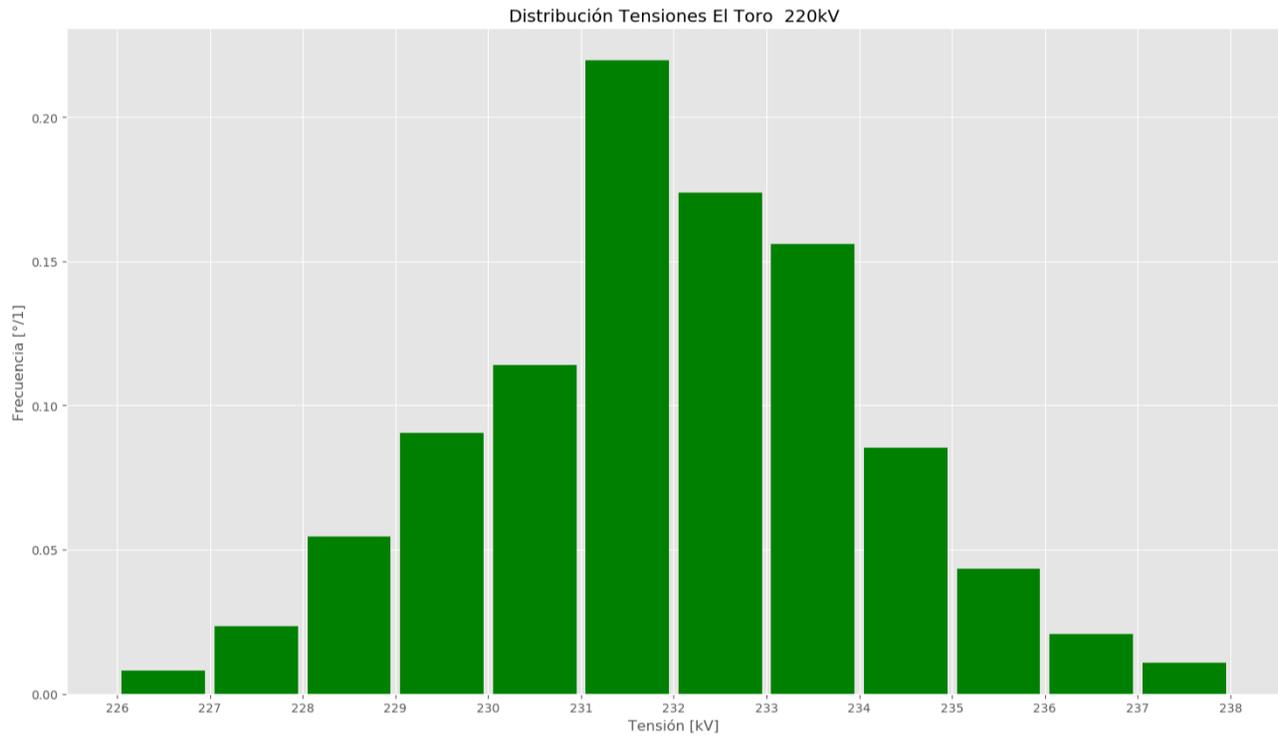
**g) Entre Ríos**



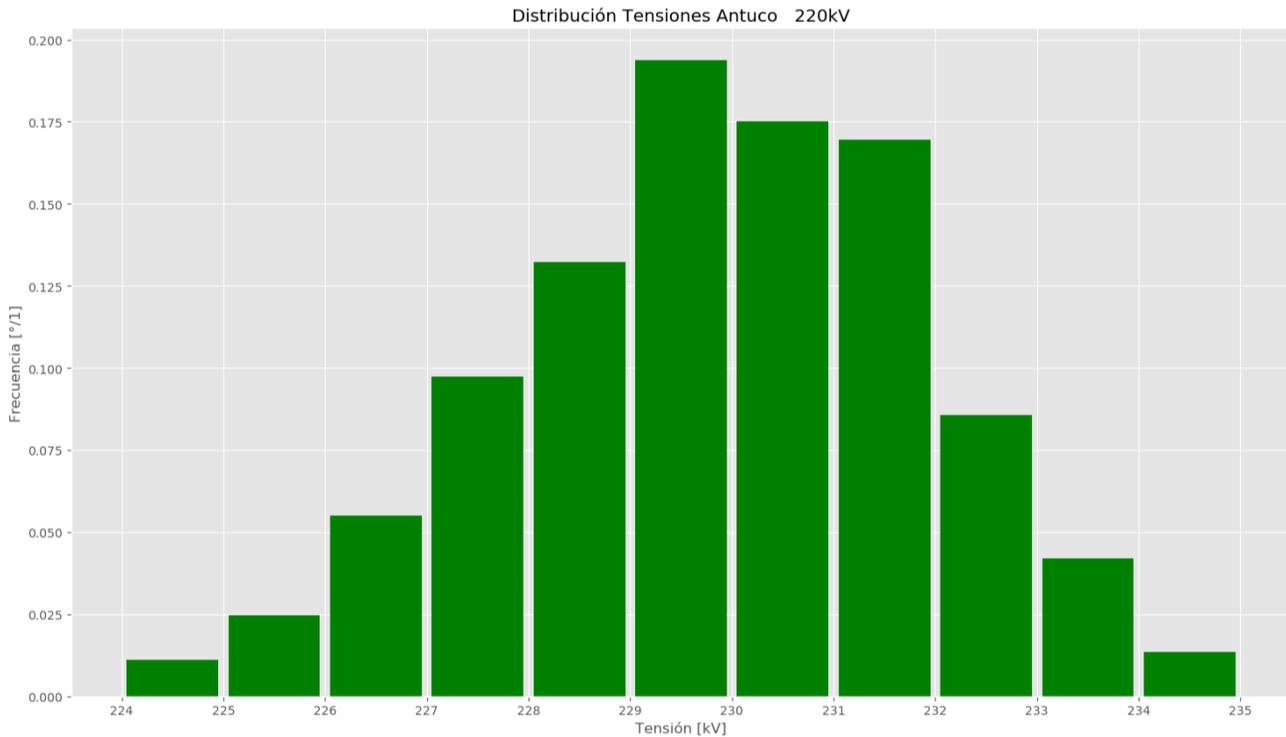
**h) Charrúa**



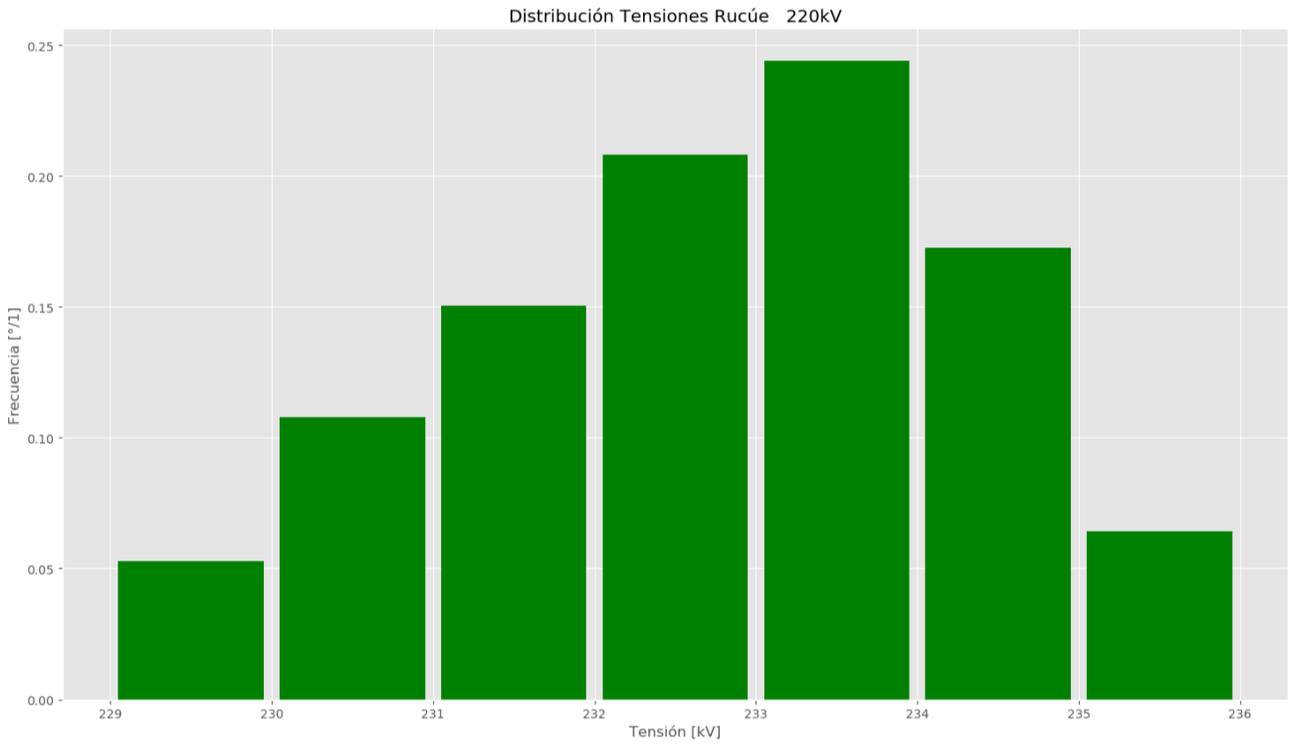
**i) El Toro**



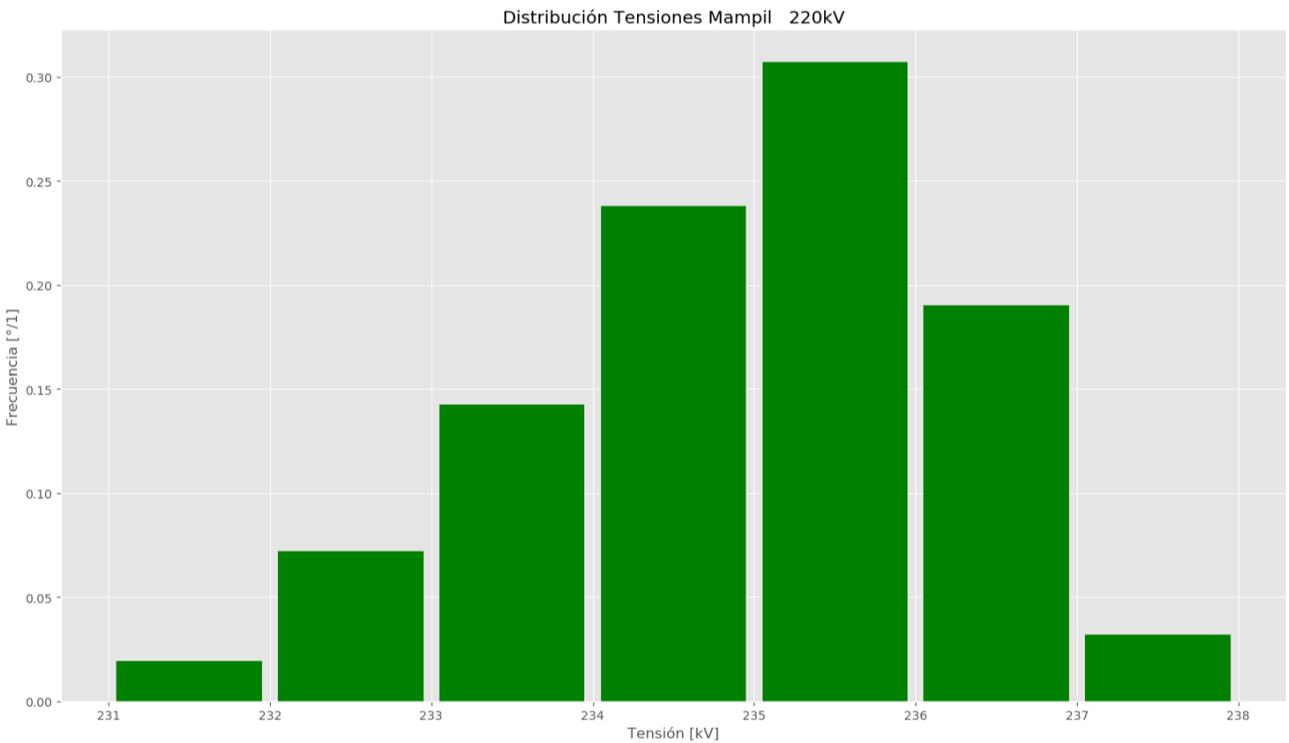
**j) Antuco**



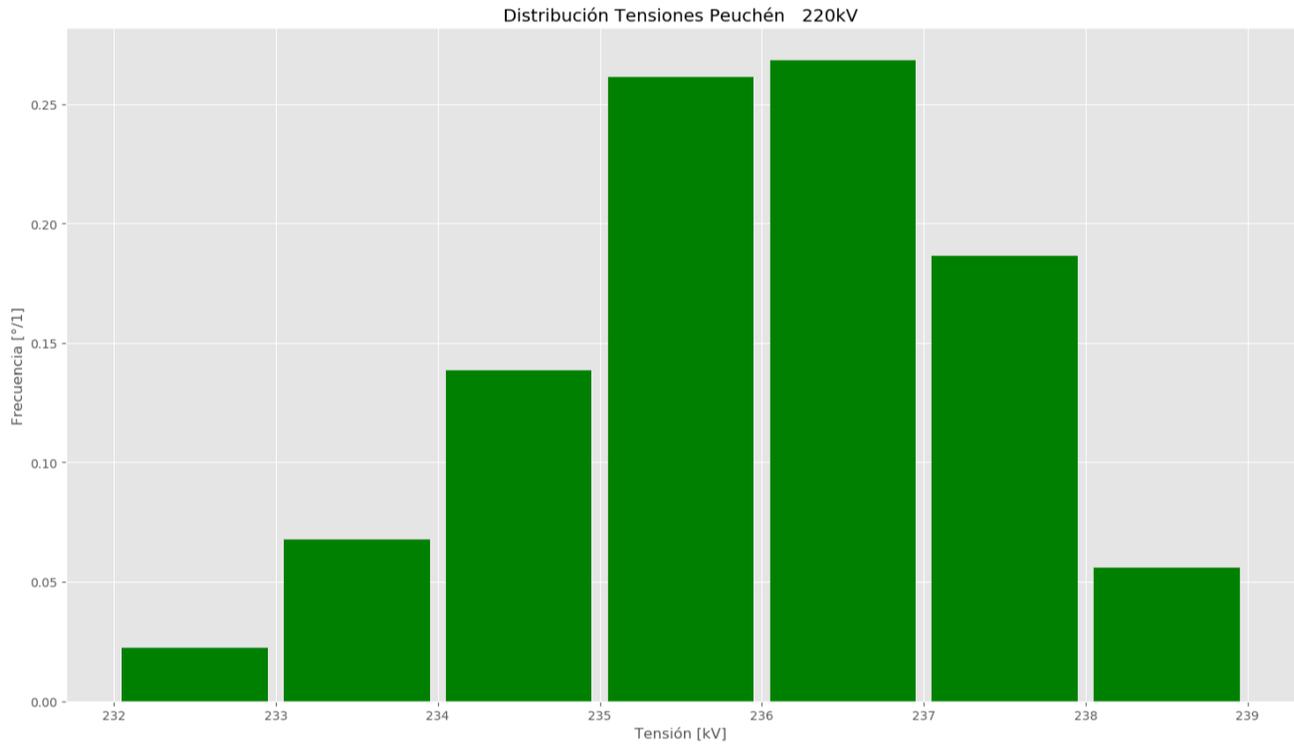
**k) Rucúe**



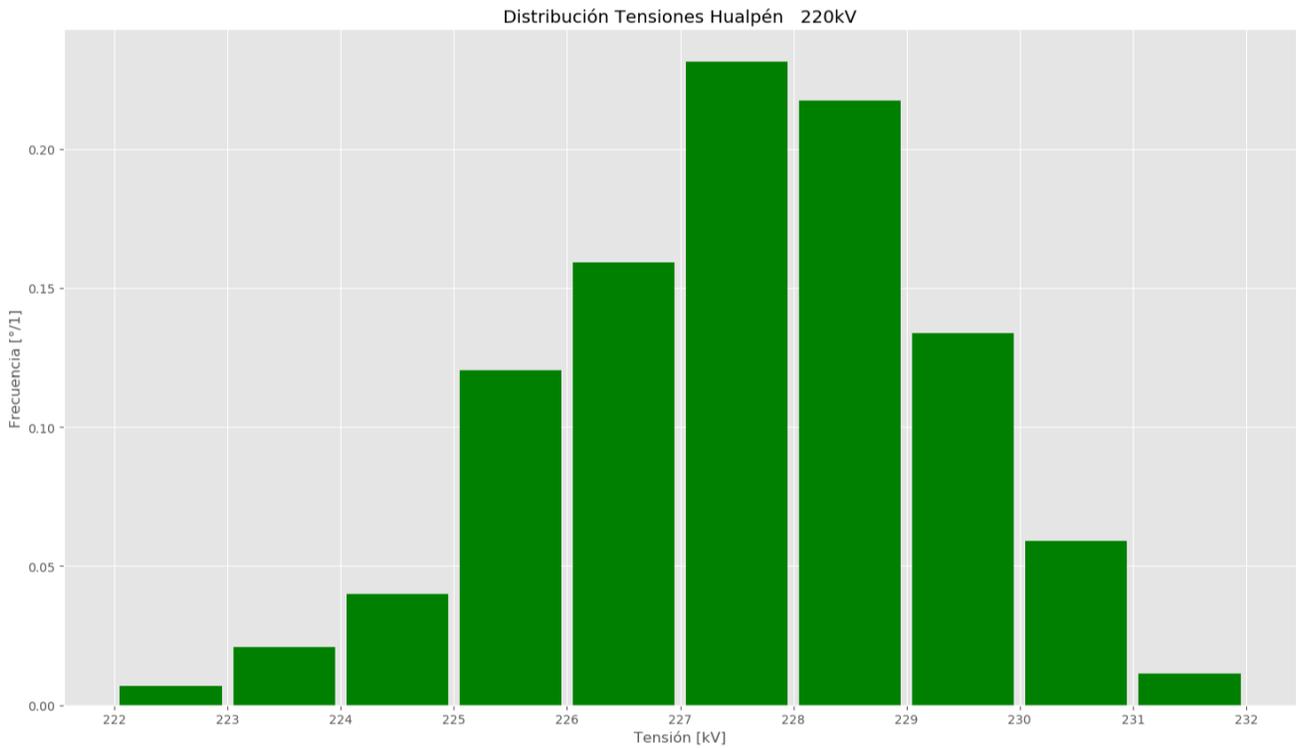
**l) Mampil**



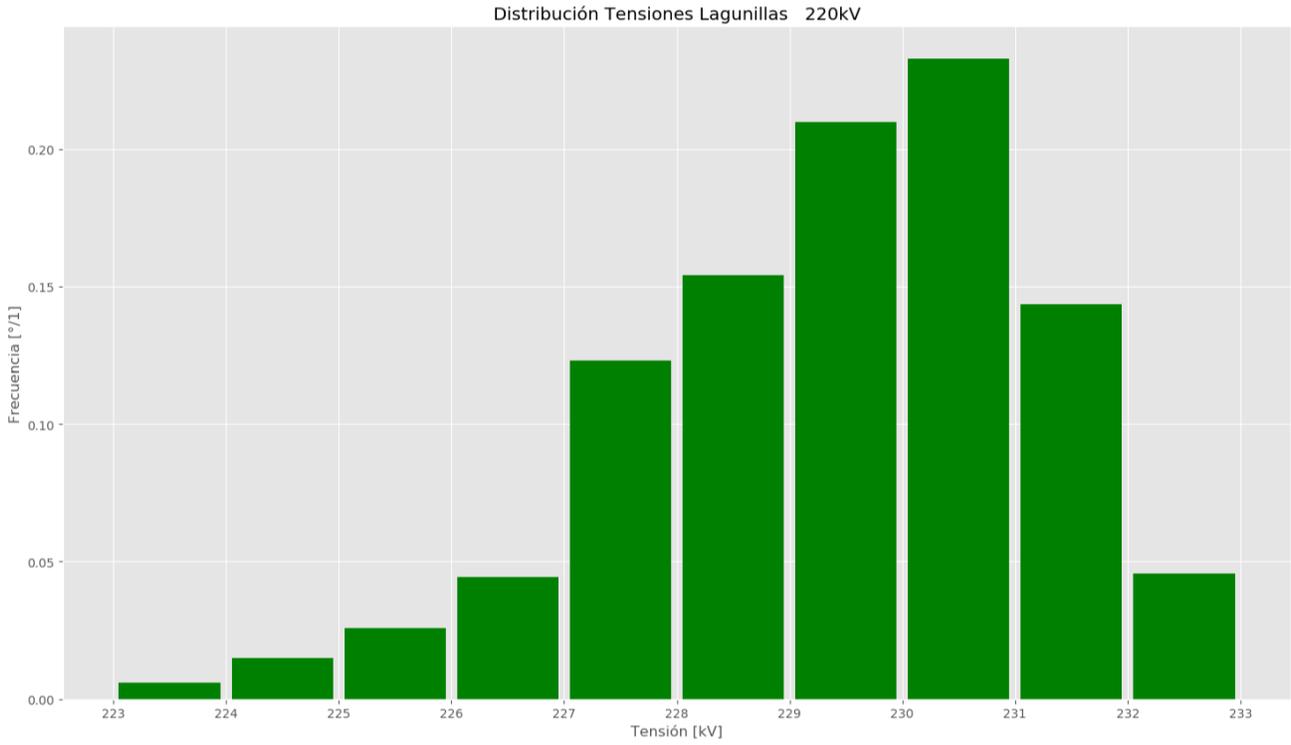
**m) Peuchén**



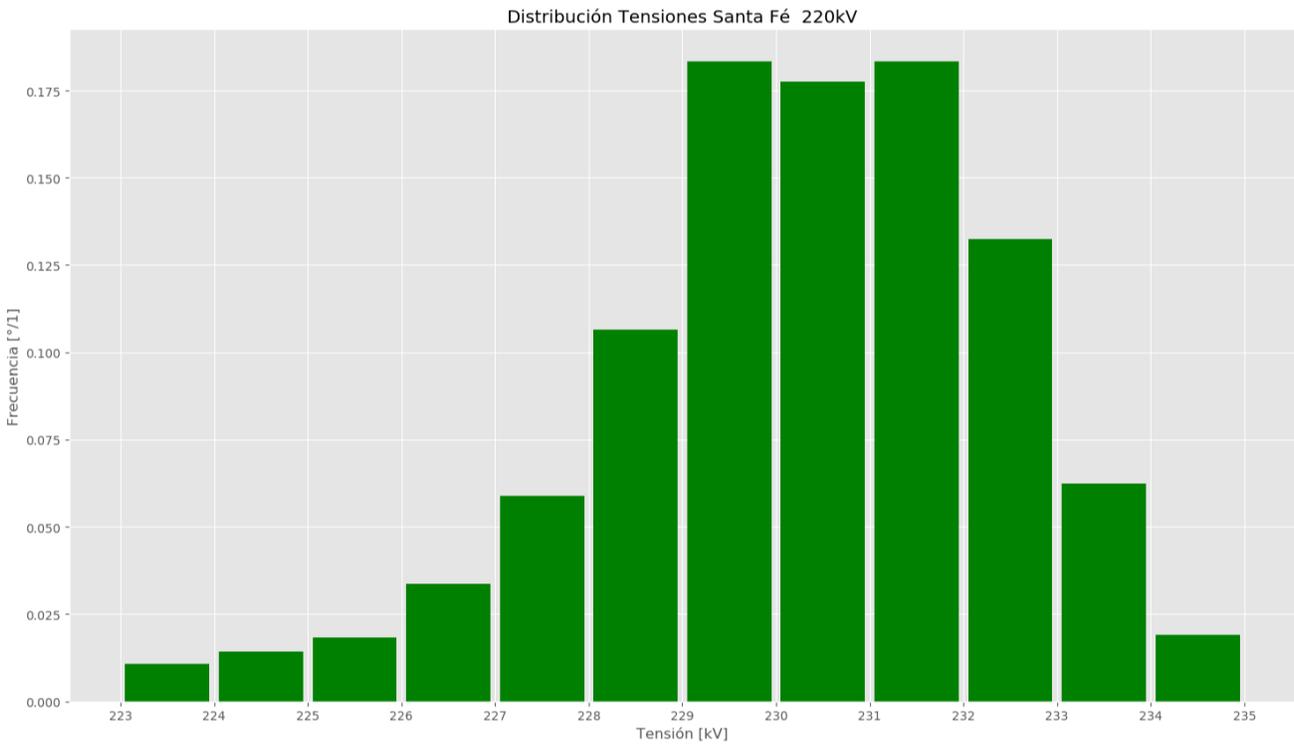
**n) Hualpén**



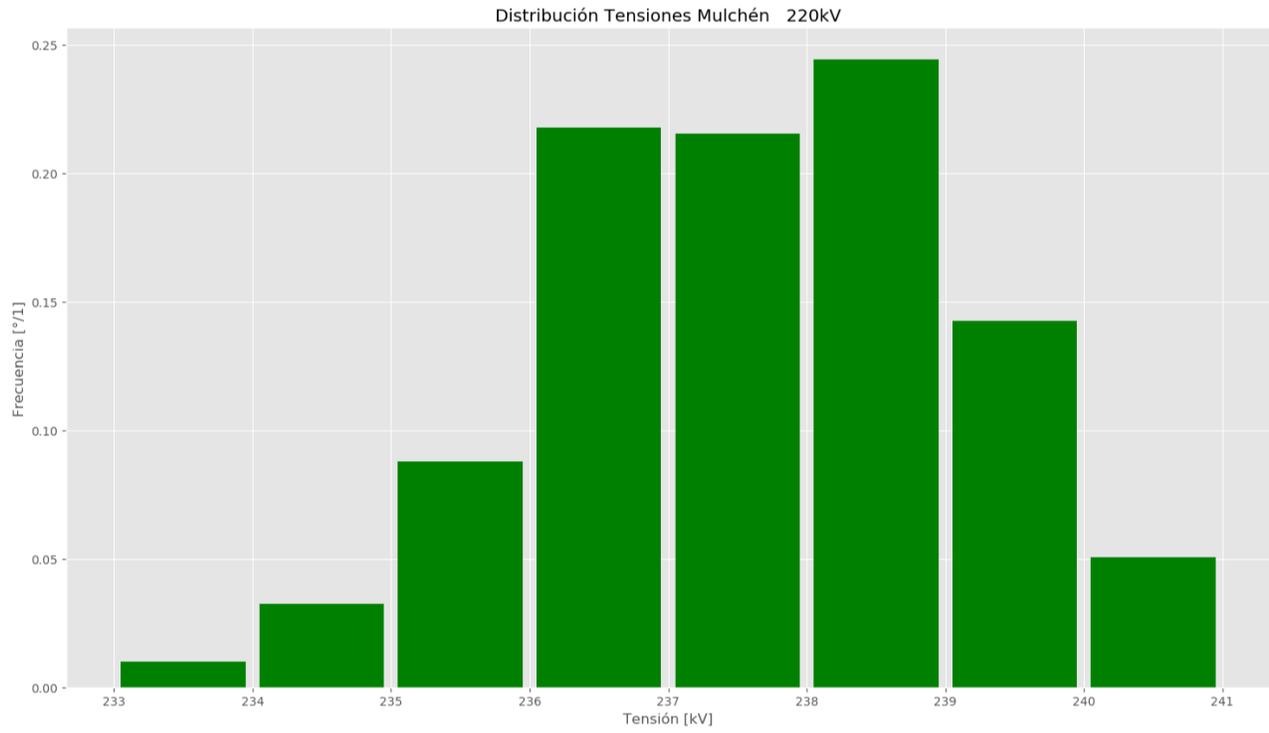
**o) Lagunillas**



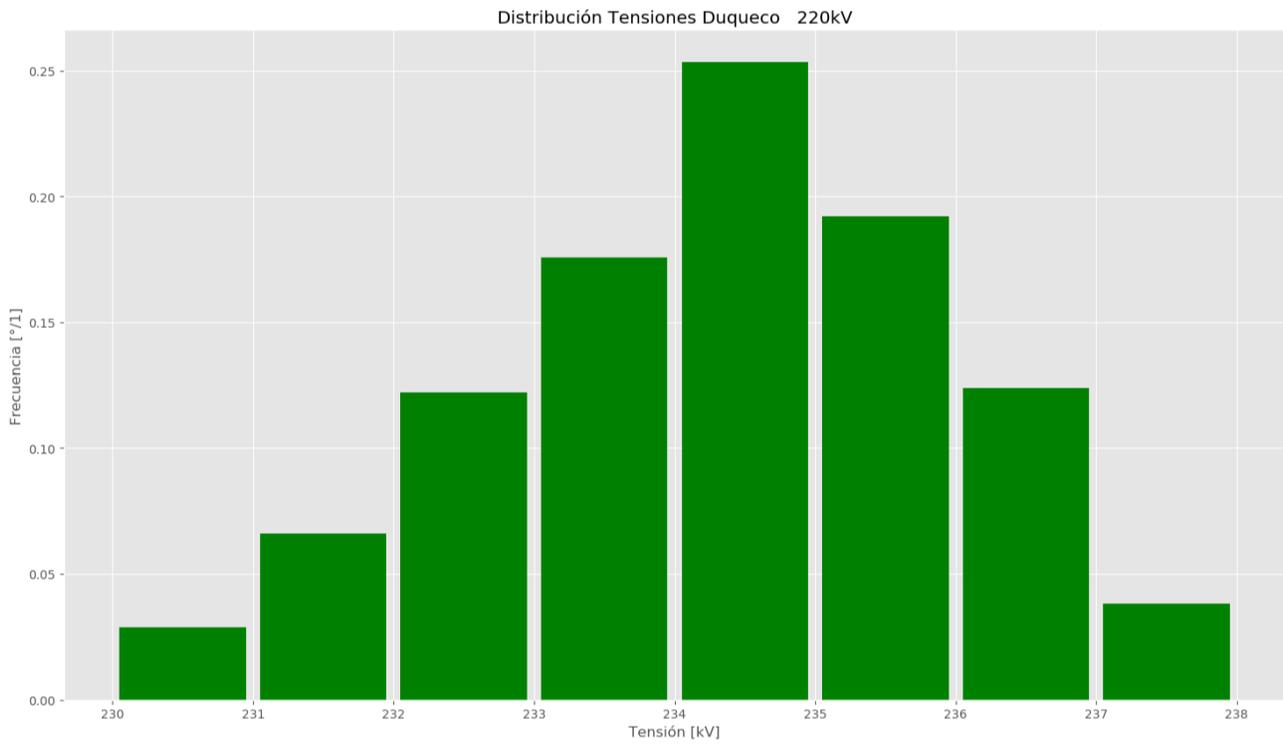
**p) Santa Fe**



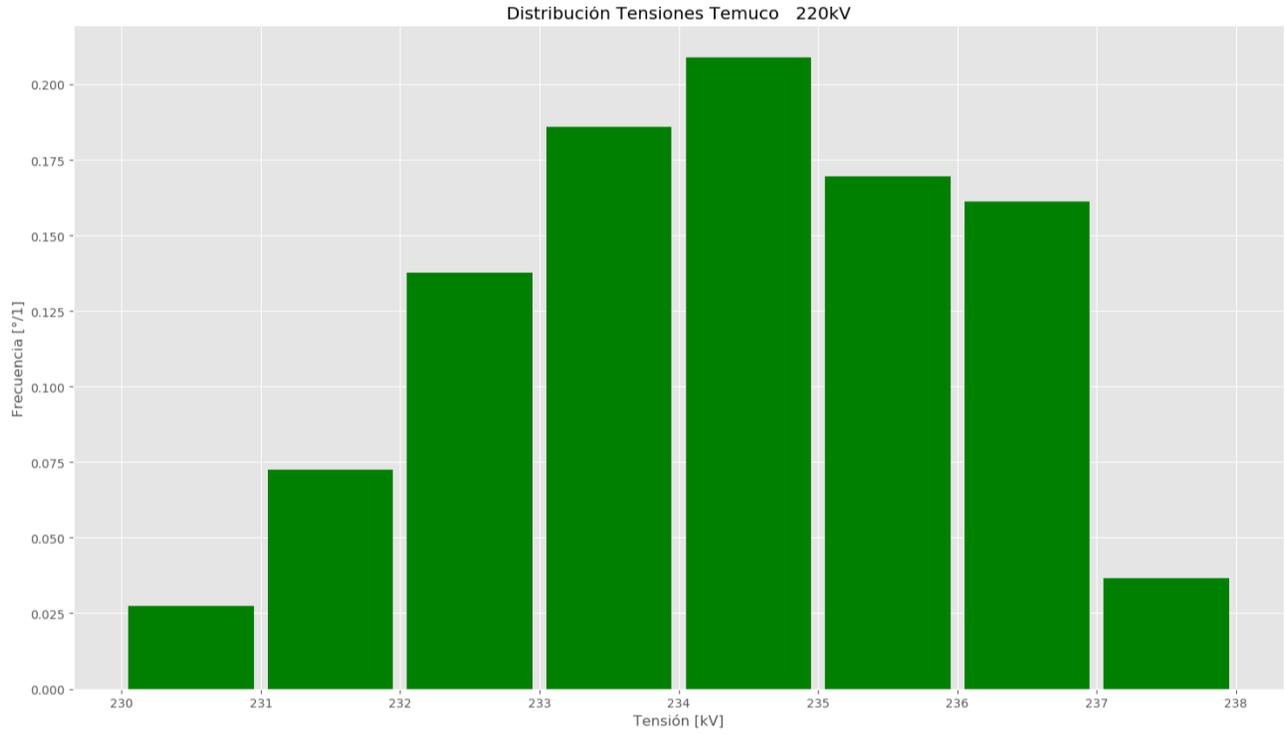
**q) Mulchén**



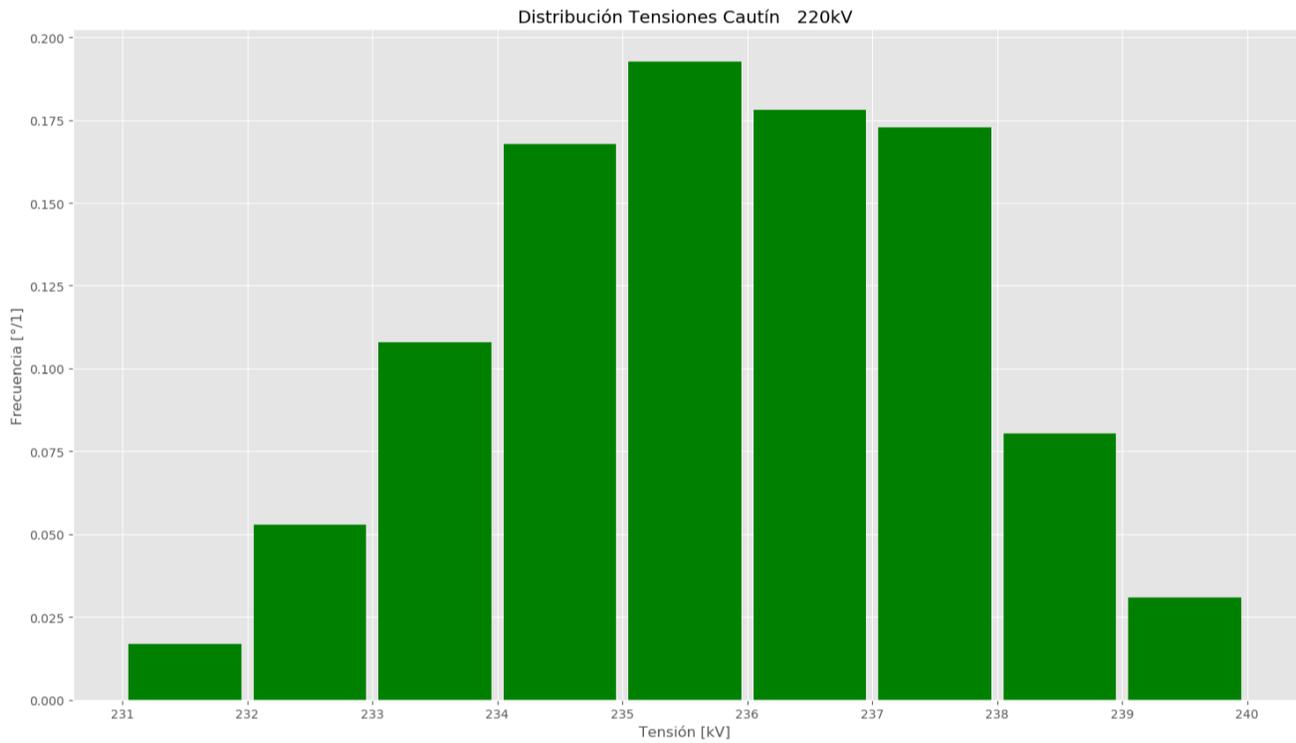
**r) Duqueco**



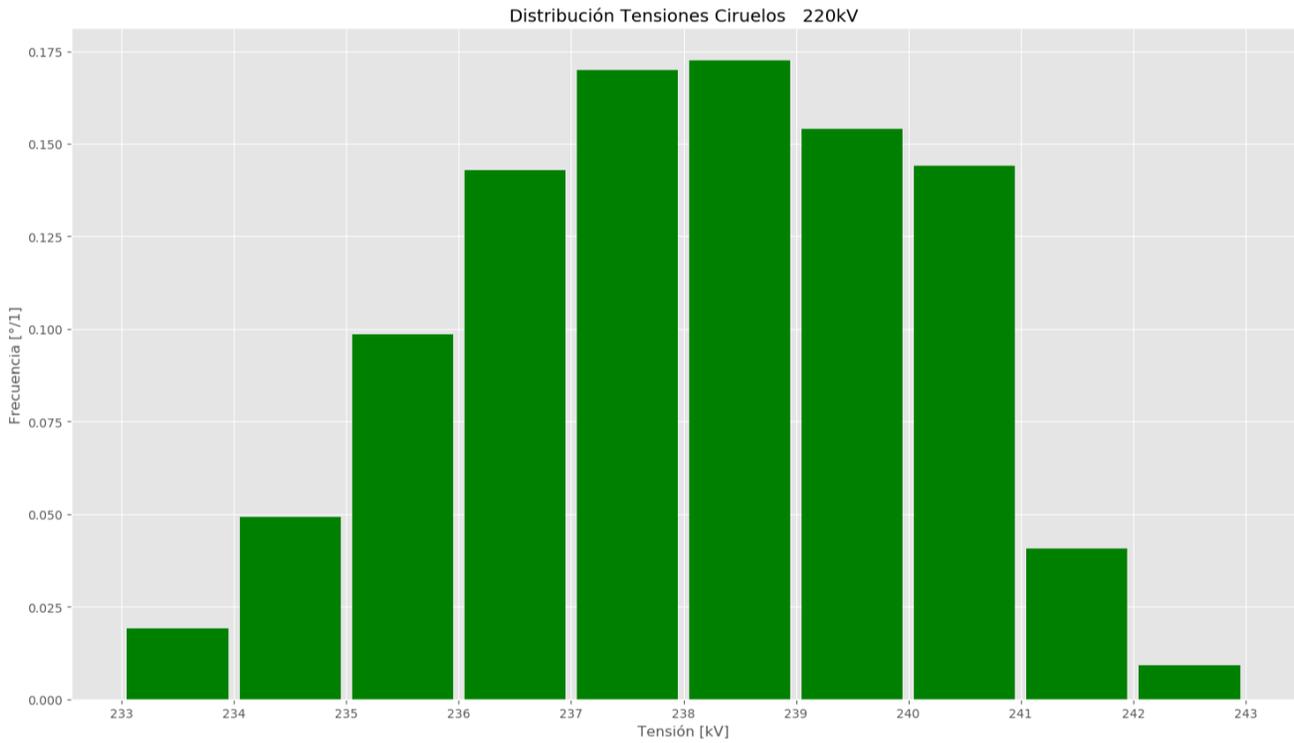
s) **Temuco**



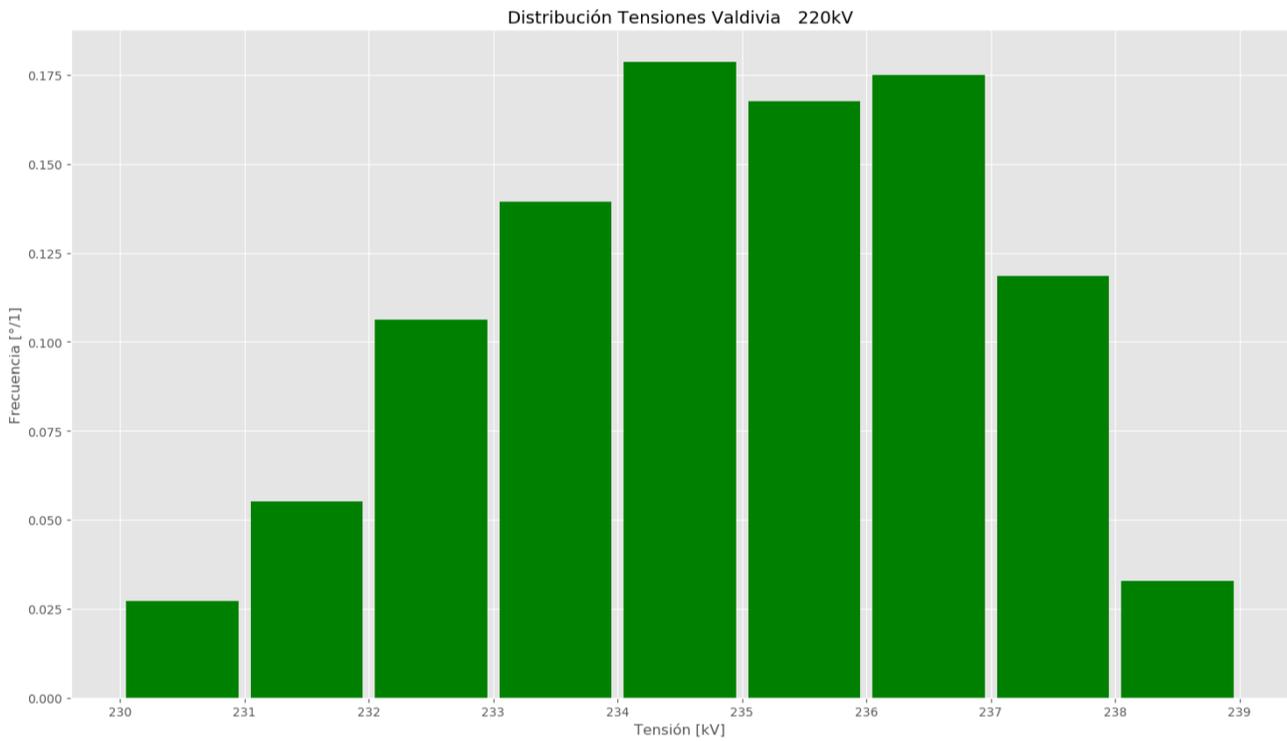
t) **Cautín**



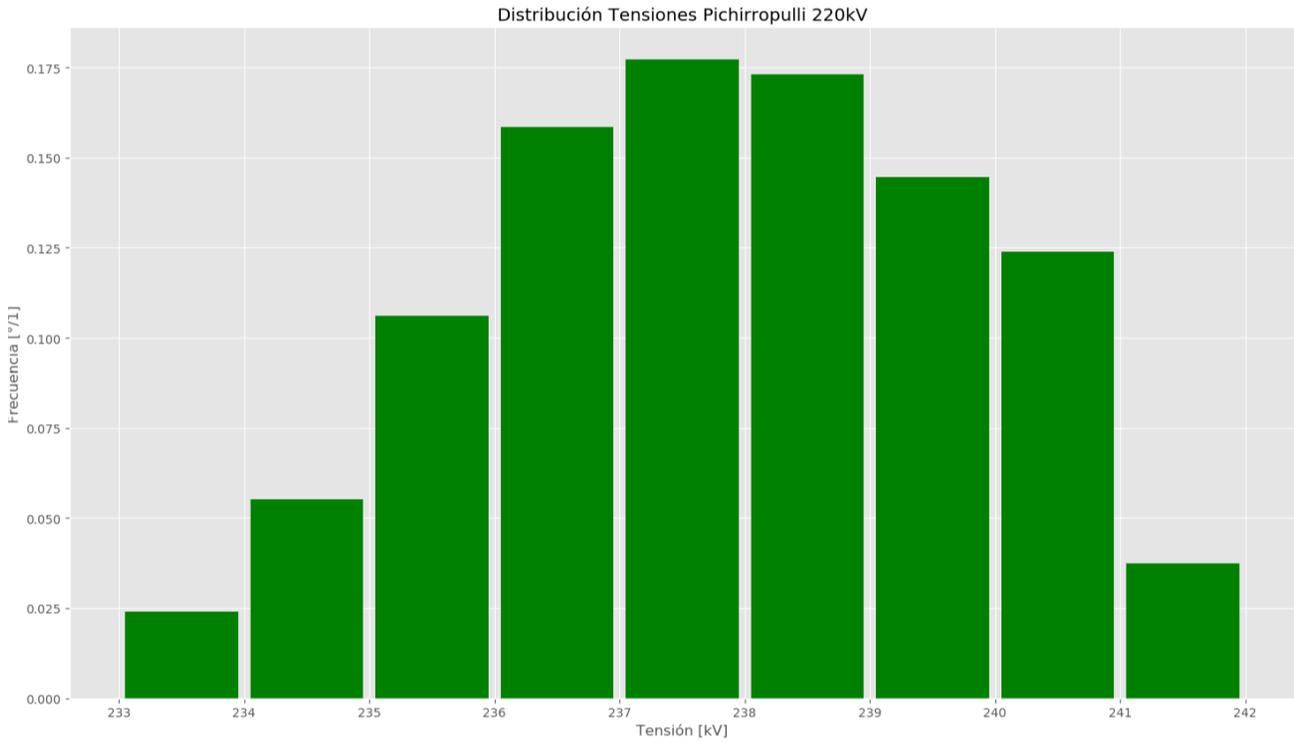
**u) Ciruelos**



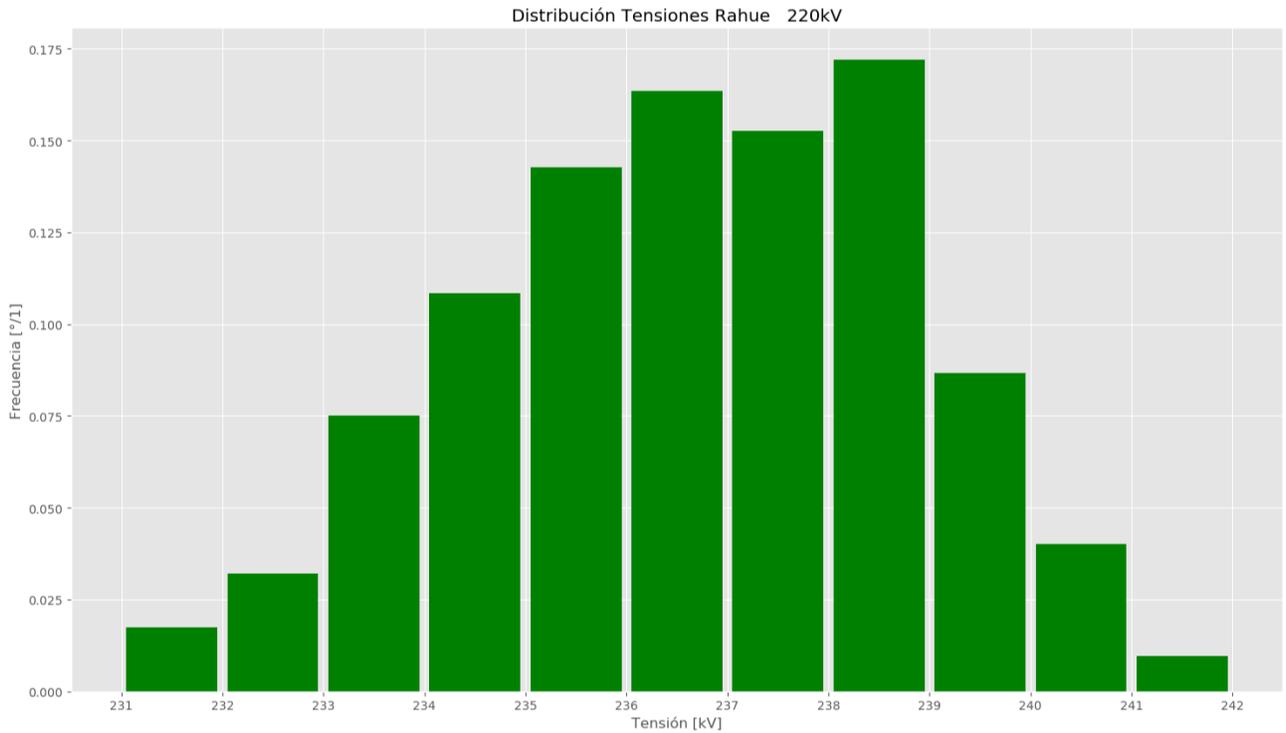
**v) Valdivia**



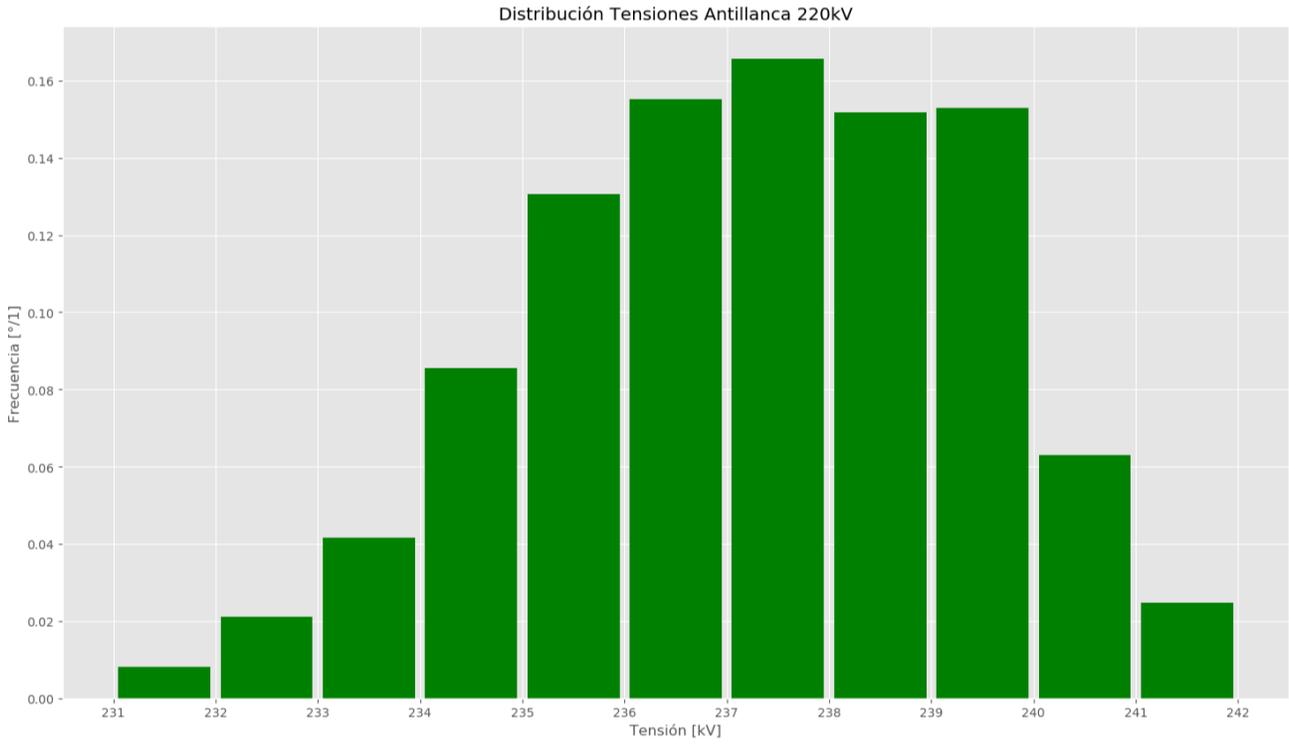
**w) Pichirropulli**



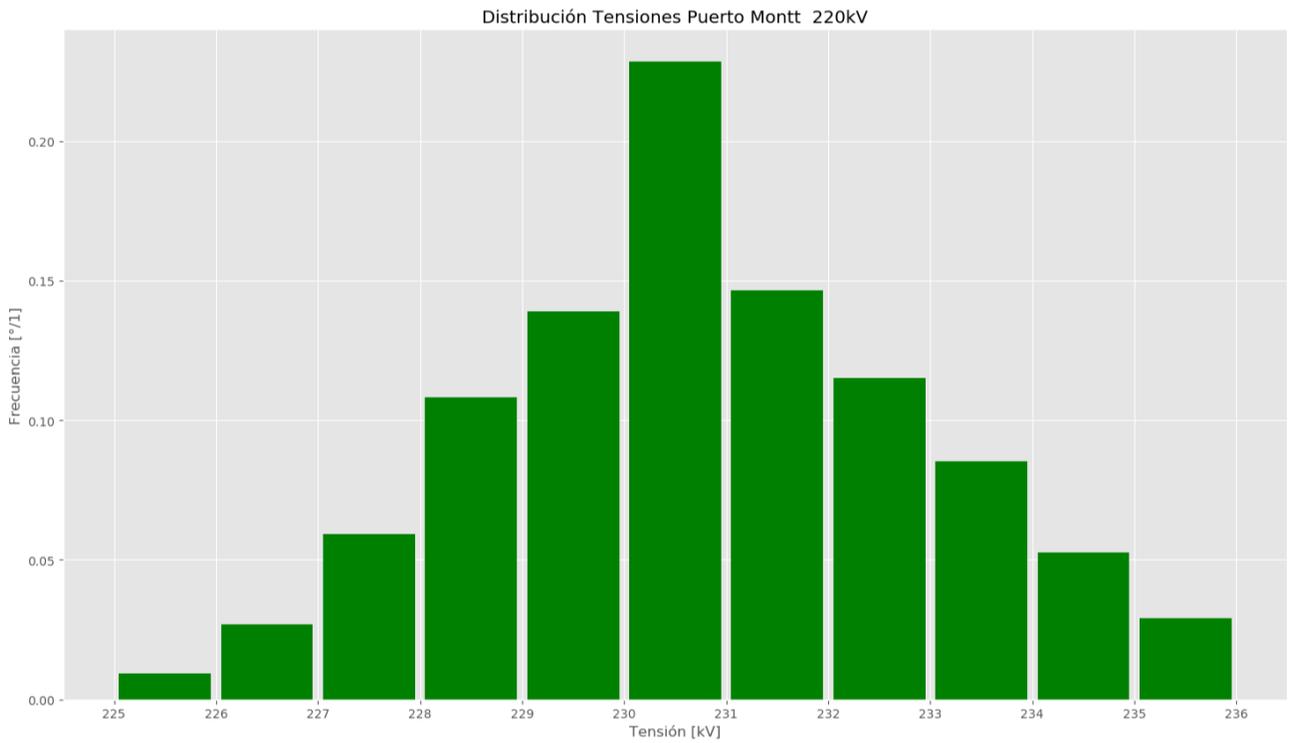
**x) Rahue**



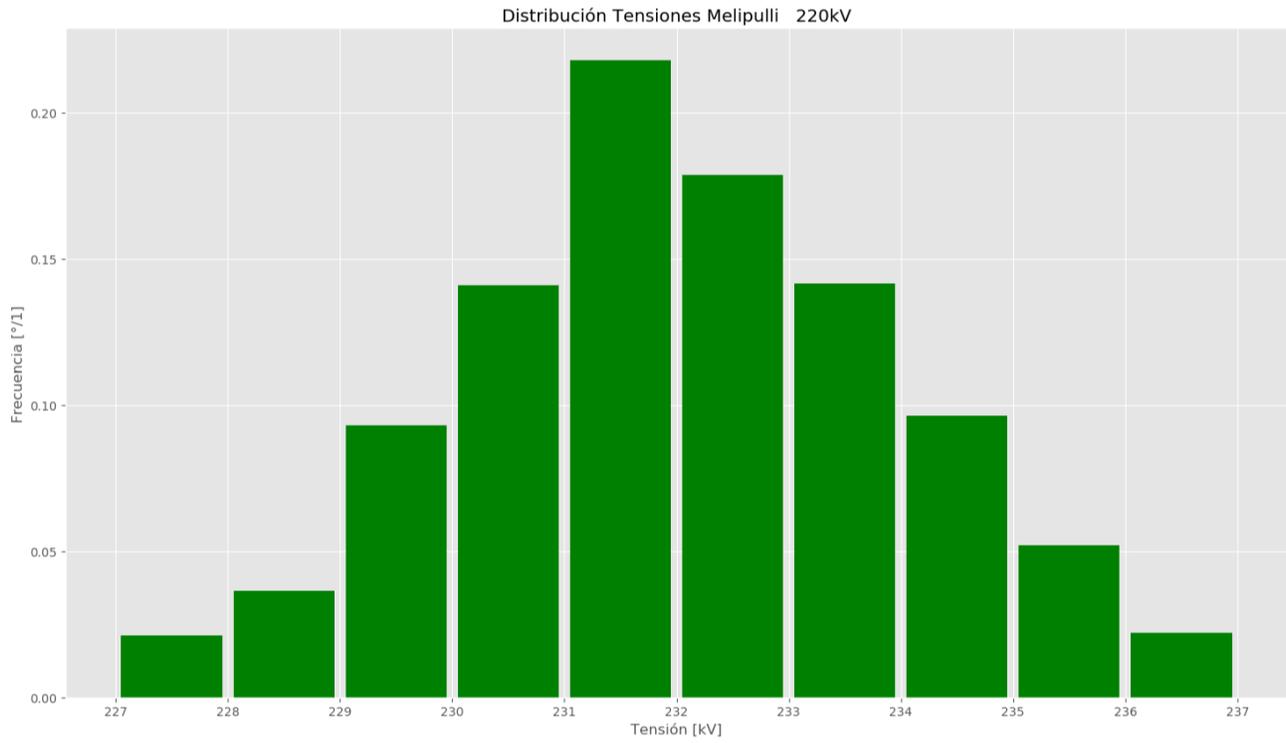
**y) Antillanca**



**z) Puerto Montt**



**aa) Melipulli**



**bb) Canutillar**

