

1. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

En este capítulo se determinan las corrientes de los cortocircuitos 3F, 2FT, 2F, y 1F según el método “completo”, Este procedimiento realiza cortocircuitos en base a la red real del sistema en estudio, es decir, no contempla aportes al cortocircuito de todas las centrales del sistema ni tampoco de los cierres de paralelismos si los hubiera. Este método se aplica para la coordinación de protecciones y para estudios de malla de puesta a tierra. El estudio corresponde al escenario Medio – Seco para el año 2017 y 2018, porque consideramos que el parque fotovoltaico se encontrará en operación y máxima generación en el bloque de demanda media.

También se han determinado los cortocircuitos para generación máxima de ambos años para los bloques de demanda Media Seca.

1.2 Cálculo de Capacidad de Ruptura

1.2.2 Normativa

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

Satisfacer lo requerido en: en la Norma Operativa “Habilitación de Agentes Para Operar en el Mercado Eléctrico Mayorista”, Resolución AE N° 137/2012 numeral 4.3

“Estudios Técnicos que demuestren que la conexión de sus instalaciones no afectará negativamente la calidad y confiabilidad del Sistema Interconectado Nacional (SIN), de acuerdo a lo especificado en la Norma Operativa No 11”

Estudios de Corto Circuito según lo establecido en el artículo 2 inciso b) de la Norma Operativa No 11. “Condiciones Técnicas para la Incorporación de Nuevas Instalaciones al SIN”

Las instalaciones de unidades generadoras que operen interconectadas al SIN y las instalaciones del STI deberán cumplir con la siguiente exigencia mínima y la condición básica:

“Deberán soportar al menos el máximo nivel de corriente de cortocircuito existente en cada punto del SIN”.

Las corrientes de cortocircuito que se evalúan, para los tipos de falla trifásica, trifásica aislada de tierra, bifásica a tierra y monofásica a tierra, considerando el método completo de cálculo son:

- a) Corriente de cortocircuito simétrica inicial: I_{KSS} (r.m.s)
- b) Corriente de cortocircuito máxima instantánea: i_p
- c) Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción: I_b (r.m.s)
- d) Corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción: I_{TH} (r.m.s)

e) Corriente de cortocircuito de régimen permanente: I_{KS} (r.m.s)

1.2.3 Resultados

Se determinan las corrientes en las siguientes barras:

- 33 kV Parque Fotovoltaico (PV-33)
- 230 kV Parque Fotovoltaico.(PV 230)
- 230 kV S/E Uyuni (UYN 230)
- 115 kV S/E Uyuni (UYN 230)
- 230 kV S/E Punutuma (PUN 230)
- 230 KV S/E Sucre (SUC 230)
- 69 kV S/E Aranjuez (ARJ 230)
- 230 kV S/E Las Carreras (LCS 230)
- 230 kV S/E LIT (LIT 230)
- 220kV S/E San Cristóbal (SCR 230)
- 230 kV S/E THU (THU 230)
- 230 kV S/E Santivañez (SAN 230)

En la tabla Nº 1, se muestran los resultados de las corrientes de cortocircuito 3F para el año 2017

CORTO CIRCUITO TRIFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal kV	Barra	I_{kss}	I_{ks}	I_p	I_b	I_{th}
1	230	PV	1387.8	1297.4	3808.4	1304.8	1496.6
2	230	UYU	1405.9	1313.2	3863.1	1320.8	1520.9
3	115	UYU	1523.0	1467.7	4307.7	1472.3	1523.1
4	230	LIT	1300.3	1216.5	3577.4	1223.4	1411.2
5	230	SCR	1264.8	1185.3	3478.0	1191.9	1371.1
6	230	PUN	1826.9	1882.6	5009.7	1694.4	1966.7
7	230	LCA	1877.3	1672.2	5309.9	1689.1	1877.3
8	230	THU	1471.6	1351.3	4076.5	1361.2	1637.1
9	230	SUC	1994.8	1896.6	5444.7	1904.7	2127.8
10	69	ARJ	3026.0	2973.9	7923.9	2935.9	3118.8
11	230	SAN	5905.9	4964.3	14447	5557.1	5905.8
12	33	PV	4247.5	4111.7	12013.7	4122.8	4247.5

Tabla Nº 1: Resultados de corrientes de cortocircuito 3F en barras.

CORTO CIRCUITO MONOFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	I_{kss}	I_{ks}	I_p	I_b	I_{th}
1	230	PV	1701	1653.8	4736.8		
2	230	UYU	1719.7	1671.5	4793.5		
3	115	UYU	1982.5	1950.6	5607.3		
4	230	LIT	1285.3	1256.7	3466.7		
5	230	SCR	1225.8	1198.9	3293.5		
6	230	PUN	2104.8	2037.6	5782.8		
7	230	LCA	1870.2	1889.0	53.88.9		
8	230	THU	1525.1	1479.5	4182.8		
9	230	SUC	2044.1	2008.9	5595.9		

10	69	ARJ	3912.9	3857.5	10344.7		
11	230	SAN	6213.1	6066.8	16994.0		
12	33	PV					

Tabla N°2: Resultados de corrientes de cortocircuito 1F en barras

En la tabla N° 3, se muestran los resultados de las corrientes de cortocircuito 2F y en la tabla No 4 los resultados de cortocircuitos 2F-T:

CORTO CIRCUITO BIFASICO (kA)					
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	Ikss B	Iks B	ip B
1	230	PV	1005.4	1164.5	3306.4
2	230	UYU	1221.0	1179.0	3353.5
3	115	UYU	1323.7	1299,1	3744.1
4	230	LIT	1129.1	1091.2	3106.0
5	230	SCR	1098.2	1062.4	3019.8
6	230	PUN	1582,2	1516.8	4333.2
7	230	LCA	1629.4	1534.9	4608.8
8	230	THU	1277.2	1222.5	3540.8
9	230	SUC	1723.8	1680.2	4691.0
10	69	ARJ	2600.9	2558.3	6798.9
11	230	SAN	5115.2	4944.6	14252.5
12	33	PV	3698.8	3627.6	10461.8

Tabla N° 3: Resultados de corrientes de cortocircuito 2F, en barras.

CORTO CIRCUITO BIFASICO A TIERRA (kA)								
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	Ikss B	Iks B	ip B	Ikss C	Iks C	Ip C
1	230	PV	1547.4	1469.7	4302.0	1693.0	1607.9	4707.1
2	230	UYU	1563.9	1484.5	4352.0	1658.0	1678.0	4890.0
3	115	UYU	1880.5	1825.2	53.19	1973.2	1915.1	5581.2
4	230	LIT	1265.6	1206.5	3437.4	1323.2	1265.4	3605.3
5	230	SCR	1217.3	1166.0	3316.7	1273.9	1220.1	3466.7
6	230	PUN	1933.3	1819.9	5310.7	2082.8	1960.9	5722
7	230	LCA	1923.2	1774.2	5339.7	1931.8	1782.2	5363.8
8	230	THU	1464.1	1380.6	4033.7	1533.8	1446.4	4225,9
9	230	SUC	1946.2	1881.2	5323.7	2090.2	2019.8	5715.6
10	69	ARJ	3708.7	3611.5	9833.6	3979.6	3875.3	10552.0
11	230	SAN	5944.7	5177.4	16580.0	6198.7	5920.1	17289.0
12	33	PV	3698.8	3637.6	10461.0	3698.8	3637.6	10461.0

Tabla N° 4: Resultados de corrientes de cortocircuito 2F –T, en barras.

1.2.4 Fallas Monofásicas en el lado de Baja Tensión

Debido a que el transformador de potencia tiene conexión Yd1 y los transformadores unitarios elevadores de 36/0.4 kV tienen conexión Δy , se debe instalar un transformador Zig-Zag en la barra de 36 kV para detectar las corrientes de falla. En las figuras 1 y 2 se muestra, la detección de corrientes de falla para cortocircuitos monofásicos en el lado de 36 kV, empleando el transformador Zig-Zag.

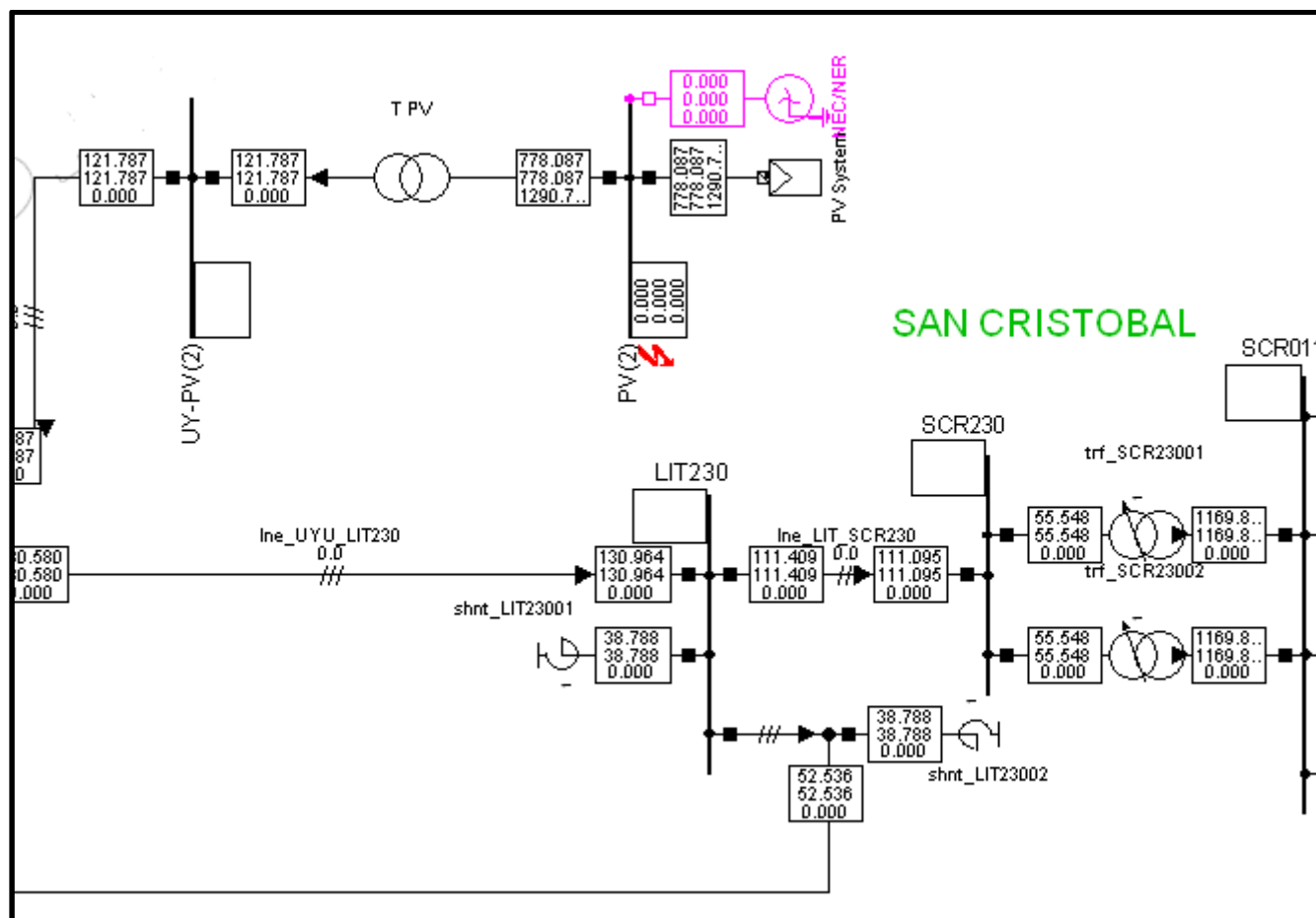


Fig 1. Sin Transformador Zig Zag

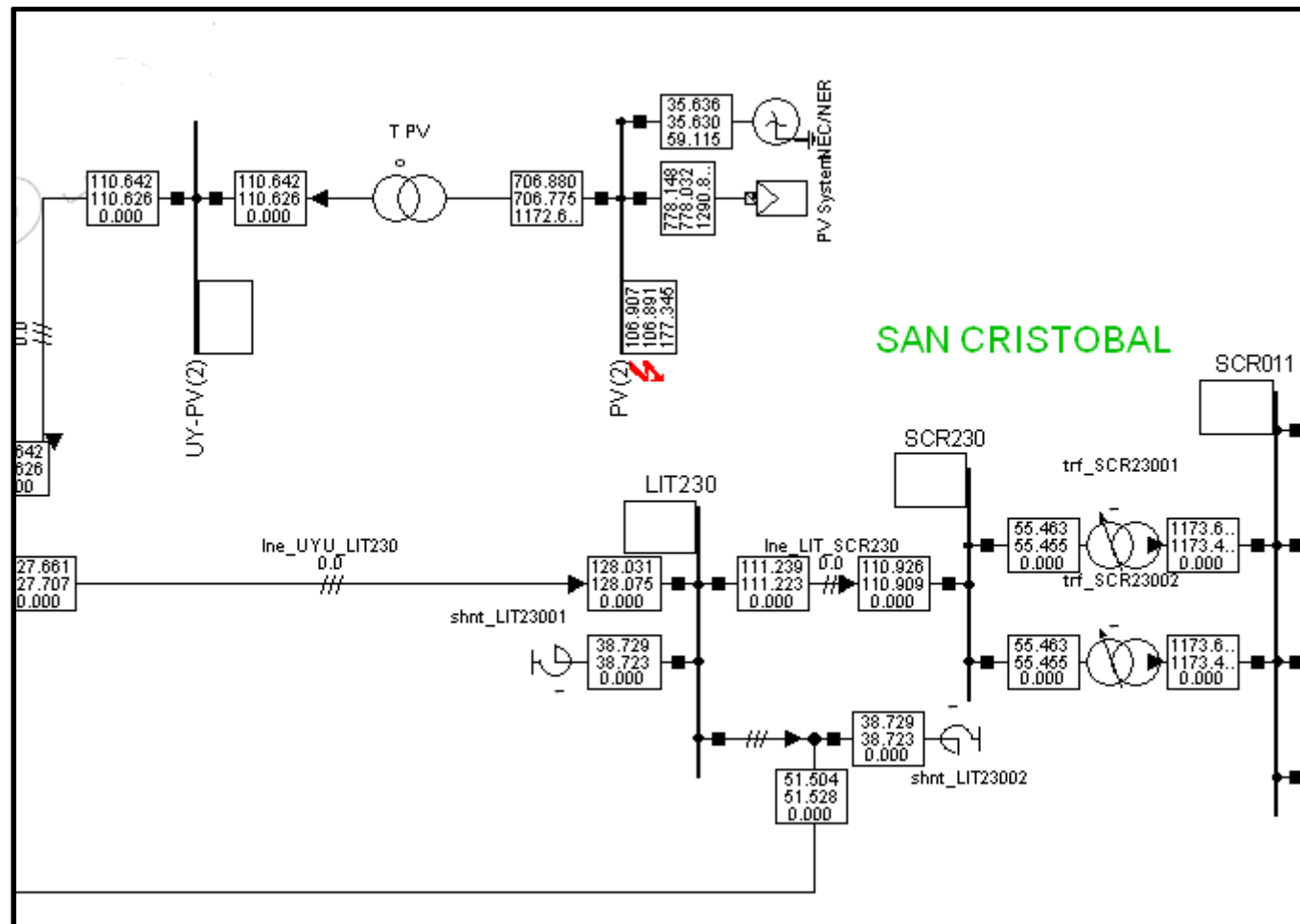


Fig No 2 Con transformador Zig Za2. 2.

2. CÁLCULO DE CORTO CIRCUITOS PARA EL AÑO 2018

Los resultados del cálculo de CC para el escenario de Demanda Media – Seca en el año 2018 son los siguientes:

CORTO CIRCUITO TRIFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal kV	Barra	Ikss	Iks	Ip	Ib	Ith
1	230	PV	1508.4	1423.9	4112.7	1430.9	1606.1
2	230	UYU	1530.6	1443.8	4178.8	1470.9	1633.4
3	115	UYU	1576.9	1530.6	4460.2	1534.4	1576.9
4	230	LIT	1415.3	1337.8	3861.4	1344.2	1514.2
5	230	SCR	1373.1	1300.1	3753.0	1306.1	1468.3
6	230	PUN	2046.6	1901.2	5566.6	1913.18	1171.1
7	230	LCA	2202.9	1982.8	6190.7	2000.9	2882.2
8	230	THU	1643.4	1526.5	4518.8	1536.2	1781.1
9	230	SUC	2218.3	2104.7	6051.5	2123.2	2364.1
10	69	ARJ	3832.3	3588.6	10360.0	3608.6	4034.2
11	230	SAN	6513.2	6161.8	18412.5	6190.7	6513.1
12	33	PV	4497.9	4386.4	12722.2	4395.5	4497.9

Tabla Nº 5: Resultados de corrientes de cortocircuito 3F en barras.

CORTO CIRCUITO MONOFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	Ikss	Iks	Ip	Ib	Ith
1	230	PV	1805.6	1763.9	5009.4		
2	230	UYU	1827.5	1784.76	5075.2		
3	115	UYU	2038.5	2012.3	5765.9		
4	230	LIT	1343.5	1314.3	3607.3		
5	230	SCR	1276.2	1254.4	3416.2		
6	230	PUN	2282.8	2219.8	6239.5		
7	230	LCA	2190.8	2112.9	5940.1		
8	230	THU	1634.7	1594.3	4459.1		
9	230	SUC	2197.3	2102.7	6024.6		
10	69	ARJ	4766.1	4636.6	12985.9		
11	230	SAN	6638.7	6512.8	18110.1		
12	33	PV	285.4	85.33	473.4		

Tabla Nº6: Resultados de corrientes de cortocircuito 1F en barras

En la tabla Nº 7, se muestran los resultados de las corrientes de cortocircuito 2F y en la tabla No 8 los resultados de cortocircuitos 2F-T:

CORTO CIRCUITO BIFASICO (kA)					
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	Ikss B	Iks B	ip B
1	230	PV	1318.0	1279.5	3593.9
2	230	UYU	1337.1	1297.5	3650.9
3	115	UYU	1374.6	1353.9	3888.1
4	230	LIT	1233.8	1198.7	3374.7
5	230	SCR	1196.91	1163.89	3272.7
6	230	PUN	1778.8	1712.8	4836.1
7	230	LCA	1912.8	1811.8	5387.6
8	230	THU	1438.7	1375.7	3933.3
9	230	SUC	1916.9	1871.1	5219.8
10	69	ARJ	3267.3	3161.5	8821.3
11	230	SAN	5641.1	5488.1	15701.6
12	33	PV	3975.98	3229.2	11245.8

Tabla Nº 7: Resultados de corrientes de cortocircuito 2F, en barras.

CORTO CIRCUITO BIFASICO A TIERRA (kA)								
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	Ikss B	Iks B	ip B	Ikss C	Iks C	Ip C
1	230	PV	1620.2	1551.9	4479.3	1794.6	1719.1	4961.7
2	230	UYU	1639.7	1569.9	4537.7	1816.4	1739.5	5028.1
3	115	UYU	1917.9	1872.7	5924.7	2016.79	1969.3	5704.4
4	230	LIT	1341.9	1293.2	3639.2	1423.3	1371.6	3859.1
5	230	SCR	1293.2	1248.1	3503.3	1368.5	1320.7	3707.4
6	230	PUN	2091.3	1989.1	5707.3	2278.1	2162.1	6219.3
7	230	LCA	2187.0	2036.6	6036.5	2207.1	2055.3	6095.9
8	230	THU	1594.8	1517.6	6036.5	2207.1	2055.3	6095.9
9	230	SUC	2121.4	2055.1	5802.4	2288.4	2216.7	6259.1
10	69	ARJ	4454.9	4232.3	12153.8	4835.3	4593.6	13191.5
11	230	SAN	6210.9	6106.1	17567.2	6715.1	6464.3	18661.7
12	33	PV	4049.9	3996.9	11454.8	3009.7	3858.6	11058.4

Tabla Nº 8: Resultados de corrientes de cortocircuito 2F –T, en barras

3.- INCREMENTO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

El incremento de la Corriente de CC entre los años 2017 y 2018 para fallas 3Ø que son las más importantes en magnitud, corrientes que deben ser soportadas por los interruptores de poder muestra en los cuadros 9 y 10.

De estos resultados se observa que el mayor incremento de la corriente de CC tiene lugar en la barra de Aranjuez 69 kV, lo que se deberá verificar la capacidad de apertura de los interruptores instalados actualmente en esta subestación. Si bien el incremento en porcentaje puede ser considerable, la magnitud de la corriente de CC en esta subestación se encuentra por debajo de los 10 KA, el cual es un valor bajo para este tipo de instalaciones.

CORTO CIRCUITO TRIFASICO (kA)						
Tensión Nominal kV	Barra	I _{kss}	I _{ks}	I _p	I _b	I _{th}
230	PV	9%	10%	8%	10%	7%
230	UYU	9%	10%	8%	11%	7%
115	UYU	4%	4%	4%	4%	4%
230	LIT	9%	10%	8%	10%	7%
230	SCR	9%	10%	8%	10%	7%
230	PUN	12%	1%	11%	13%	-40%
230	LCA	17%	19%	17%	18%	54%
230	THU	12%	13%	11%	13%	9%
230	SUC	11%	11%	11%	11%	11%
69	ARJ	27%	21%	31%	23%	29%
230	SAN	10%	24%	27%	11%	10%
33	PV	6%	7%	6%	7%	6%

Cuadro No 9

CORTO CIRCUITO MONOFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	I _{kss}	I _{ks}	I _p	I _b	I _{th}
1	230	PV	6%	7%	6%	#DIV/0!	#DIV/0!
2	230	UYU	6%	7%	6%		
3	115	UYU	3%	3%	3%		
4	230	LIT	5%	5%	4%		
5	230	SCR	4%	5%	4%		
6	230	PUN	8%	9%	8%		
7	230	LCA	17%	12%	10%		
8	230	THU	7%	8%	7%		
9	230	SUC	7%	5%	8%		
10	69	ARJ	22%	20%	26%		
11	230	SAN	7%	7%	7%		
12	33	PV					

Cuadro No 10

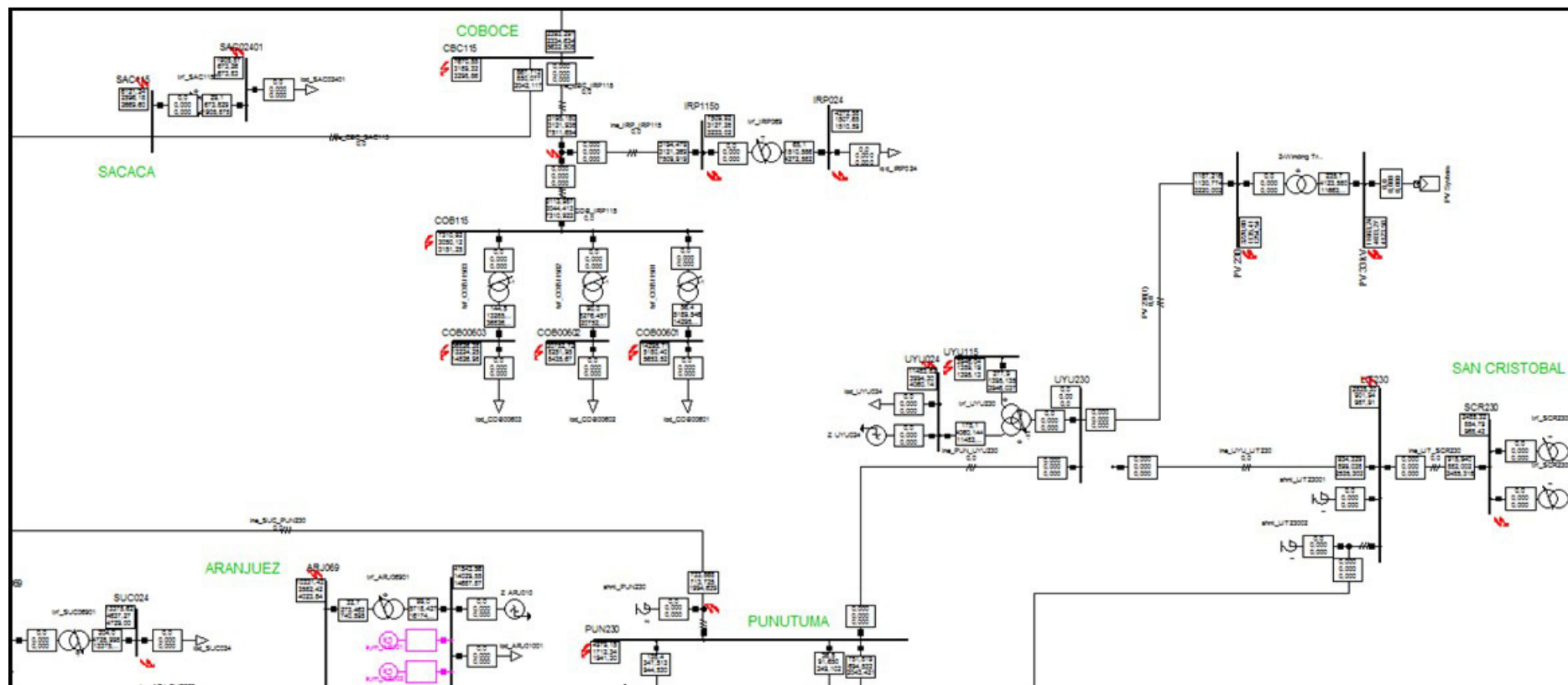


Fig 11 Cálculo de Corto Circuitos año 2018
Escenario Demanda Media Seca

5. CORTO CIRCUITO CON PLANA GENERACIÓN

Con el objetivo de obtener las máximas corrientes de CC del SIN, se ha realizado la simulación para el año 2018 considerando todo el parque generador conectado. Los resultados de esta simulación son los siguientes:

CORTO CIRCUITO TRIFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal kV	Barra	Ikss	Iks	Ip	Ib	Ith
1	230	PV	1886.2		4425.1	1884.7	1908.7
2	230	UYU	1916.8		4502.5	1915.2	1939.8
3	115	UYU	1857.6		4777.2	1857.6	1903.4
4	230	LIT	1741.7		4099.8	1741.3	1762.9
5	230	SCR	1683.9		3964.0	1683.7	1704.9
6	230	PUN	2656.9		6196.8	2641.4	2687.5
7	230	LCA	2938.3		7056.1	2924.1	2978.9
8	230	THU	2083.9		4925.2	2083.6	2109.9
9	230	SUC	2836.3		6654.8	2821.1	2870.1
10	69	ARJ	6097.1		14705	1857.6	1903.4
11	230	SAN	8632.3		19440.1	8718.6	8957.2
12	33	PV	5372.3		14005.8	5372.3	5527.8

Tabla Nº 11: Resultados de corrientes de cortocircuito 3F en barras.

CORTO CIRCUITO MONOFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal (kV)	Barra	Ikss	Iks	Ip	Ib	Ith
1	230	PV	2162.2		5072.3		
2	230	UYU	2190.2		5144.8		
3	115	UYU	2347.0		6035.8		
4	230	LIT	1576.5		3711		
5	230	SCR	1493.73		3516.2		
6	230	PUN	2795		6520.7		
7	230	LCA	2681.9		6440.5		
8	230	THU	1951.8		4612.9		
9	230	SUC	2633.6		6179.4		
10	69	ARJ	6857.8		16540.3		
11	230	SAN	8204.6		19994.6		
12	33	PV	313.4		817.1		

Tabla Nº 12: Resultados de corrientes de cortocircuito 1F en barras.

La diferencia porcentual entre el cortocircuito 3Ø a plena generación respecto al determinado por despacho económico se muestra en el siguiente cuadro

CORTO CIRCUITO TRIFASICO (kA)							
Ítem	Tensión Nominal kV	Barra	Ikss	Iks	Ip	Ib	Ith
1	230	PV	20%		7%	24%	16%
2	230	UYU	20%		7%	23%	16%
3	115	UYU	15%		7%	17%	17%
4	230	LIT	19%		6%	23%	14%
5	230	SCR	18%		5%	22%	14%
6	230	PUN	23%		10%	28%	56%
7	230	LCA	25%		12%	32%	3%
8	230	THU	21%		8%	26%	16%
9	230	SUC	22%		9%	25%	18%
10	69	ARJ	37%		30%	37%	35%
11	230	SAN	22%		5%	29%	27%
12	33	PV	16%		9%	18%	19%

Tabla N° 13: Diferencia Porcentual entre la corriente con generación máxima y el escenario de demanda media seca.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de las simulaciones muestran que los valores de las corrientes de corto circuito en el área de influencia del parque fotovoltaico son menores a los valores máximos que pueden soportar los interruptores, por lo que el Proyecto del parque Fotovoltaico no tiene consecuencias adversas en el SIN.

En este estudio se han realizado estudios de flujos de potencia para el escenario de demanda Media – Seca (1), ya que se considera que el Parque Fotovoltaico está operativo en este período de demanda.

En cuanto al estudio de cortocircuito, basado en el procedimiento establecido en la normativa vigente, Cálculo de nivel máximo de cortocircuito, se obtienen los resultados de tal manera poder dimensionar la capacidad de ruptura de los interruptores.

En cuanto al estudio de cortocircuito, basado en el procedimiento de cortocircuito completo, el cual realiza cortocircuitos en base al sistema real, se obtienen los resultados de tal manera poder realizar coordinación de protecciones y estudios de malla de tierra.

Se ha verificado que los niveles de cortocircuito en el SIN debido a la conexión del parque fotovoltaico Uyuni no comprometen la capacidad de los interruptores actualmente en servicio.