

# ESTUDIOS DE FLUJOS DE POTENCIA

## PROYECTO PARQUE FOTOVOLTAICO UYUNI

### 1. INTRODUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Guaracachi, tiene contemplado como proyecto futuro la construcción de un Parque Fotovoltaico de 30 MW en las cercanías de la ciudad de Uyuni ubicada en el Departamento de Potosí. En la siguiente figura se muestra el STI y la ubicación aproximada del proyecto.



Fig No 1

### 2. ANTECEDENTES

En la realización de los estudios se considera la siguiente información:

- Base de datos en formato DiGSILENT del Sistema Interconectado Nacional (SIN,) emitida por el CNDC de abril de 2015 (CNDC\_PMPMAY15\_ABR19\_07052105). Esta

base ya contiene incorporados los parámetros de líneas, transformadores y generadores existentes en el SIN, así como la topología actual del sistema de transmisión. En ella se incorporan la modelación de las nuevas instalaciones del proyecto del Parque Fotovoltaico Uyuni.

- Diagrama Unifilar P080UYU320C100
- Diagrama Unifilar P080UYU320C101
- Nuevas Condiciones de Desempeño Mínimo del SIN, Resolución AE No 110/2011
- Habilitación de Agentes Para Operar en el Mercado Eléctrico Mayorista, Resolución AE No 137/2012
- Requisitos Técnicos Mínimos para Proyectos de Generación y Transmisión, Resolución AE 572/2013

### 3. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

- CDC : Centro de Despacho y Control del CNDC
- AE : Autoridad de Electricidad
- SIN : Sistema Interconectado Nacional
- STI : Sistema Troncal Interconectado
- CNDC : Comité Nacional de Despacho de Carga

### 4. OBJETIVOS

Los objetivos de los estudios desarrollados son:

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 Flujo de Potencia (Norma Operativa No 11)*

a)

*“Determinar el estado del sistema eléctrico con las nuevas instalaciones, en especial en las áreas de influencia de las nuevas instalaciones y relacionadas con la potencia, regulación de tensión, pérdidas etc, en el Sistema Troncal de Interconexión (STI)*

## 5. DESCRIPCION DEL PROYECTO

### 5.1 Descripción

La Empresa Guaracachi tiene, tiene contemplado como proyecto futuro la construcción de un Parque Solar Fotovoltaico de 30 MW en las cercanías de la ciudad de Uyuni.

La Planta fotovoltaica considera la instalación de 14 centros de transformación de 2200 kVA, 36/0.4 kV, un switchgear de 36 kV de cuatro celdas para:

- Una celda para la llegada de la generación de los centros de transformación 1-7
- Una celda para la llegada de la generación de los centros de transformación 8-14
- Una celda de salida hacia el transformador de potencia
- Una celda para el transformador de SSAA

El switchgear de 33 kV se conectará mediante cable subterráneo al transformador de potencia de 45/55 MVA ONAN/ONAF, 230/33 kV, finalmente la planta fotovoltaica se conectará al SIN en la S/E Uyuni mediante una línea de transmisión en 230 kV de 5 km de longitud aproximadamente.

En una segunda etapa se tiene prevista la ampliación del PV a 50 MW, por lo que en la simulación se considerará un transformador de 45/55 MVA ONAN/ONAF

Por la altura geográfica de la instalación se considera para la simulación un conductor ACAR 1200 MCM.

## 5.2 Parámetros del Sistema

Los parámetros eléctricos considerados para la simulación de la conexión del Parque Fotovoltaico son los siguientes:

Conductor ACAR 1200 MCM

Diámetro  $\varnothing$ : 32.02 mm

$R_{DC} = 0.0510 \, \Omega/\text{km}$  a 20 °C

$X_l = 0.2421 \, \Omega/\text{km}$

Impedancia de secuencia positiva y cero del Transformador:

$X_T = 12\%$  valor típico

$X_0 = 10.8 \%$  valor típico

## 5.3 Diagrama Unilineal

En la figura No 1 se muestra el diagrama unilineal de la ubicación del proyecto. En la figura No 2 se muestra el diagrama unilineal implementado en implementado en DigSilent.

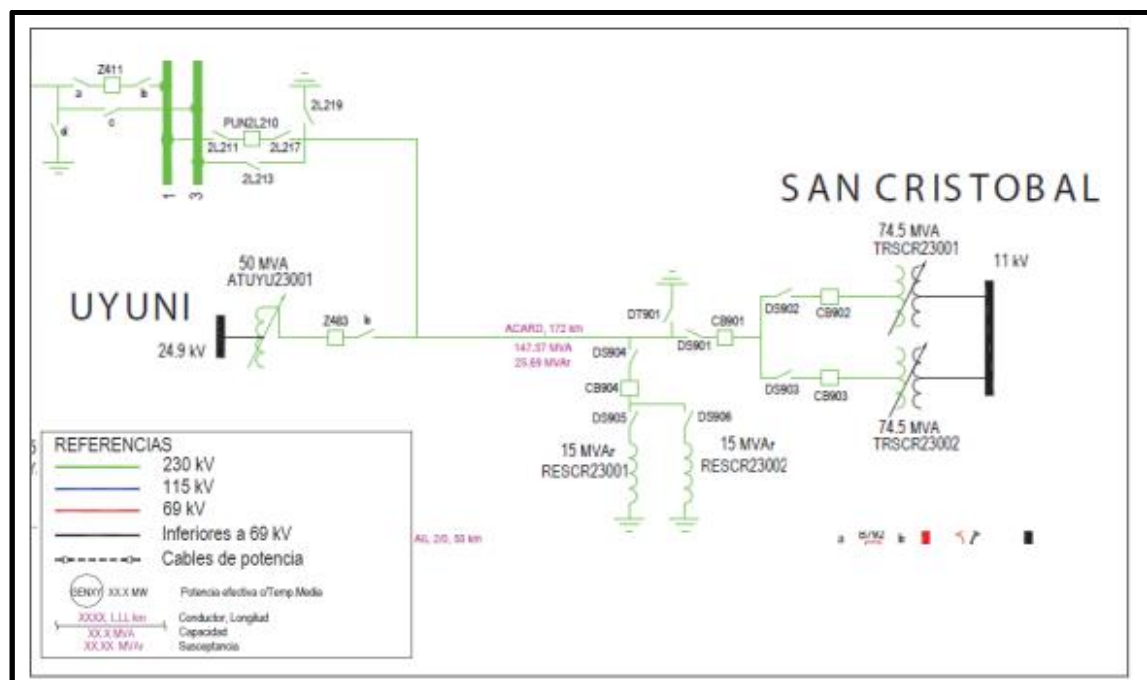


Fig No 2

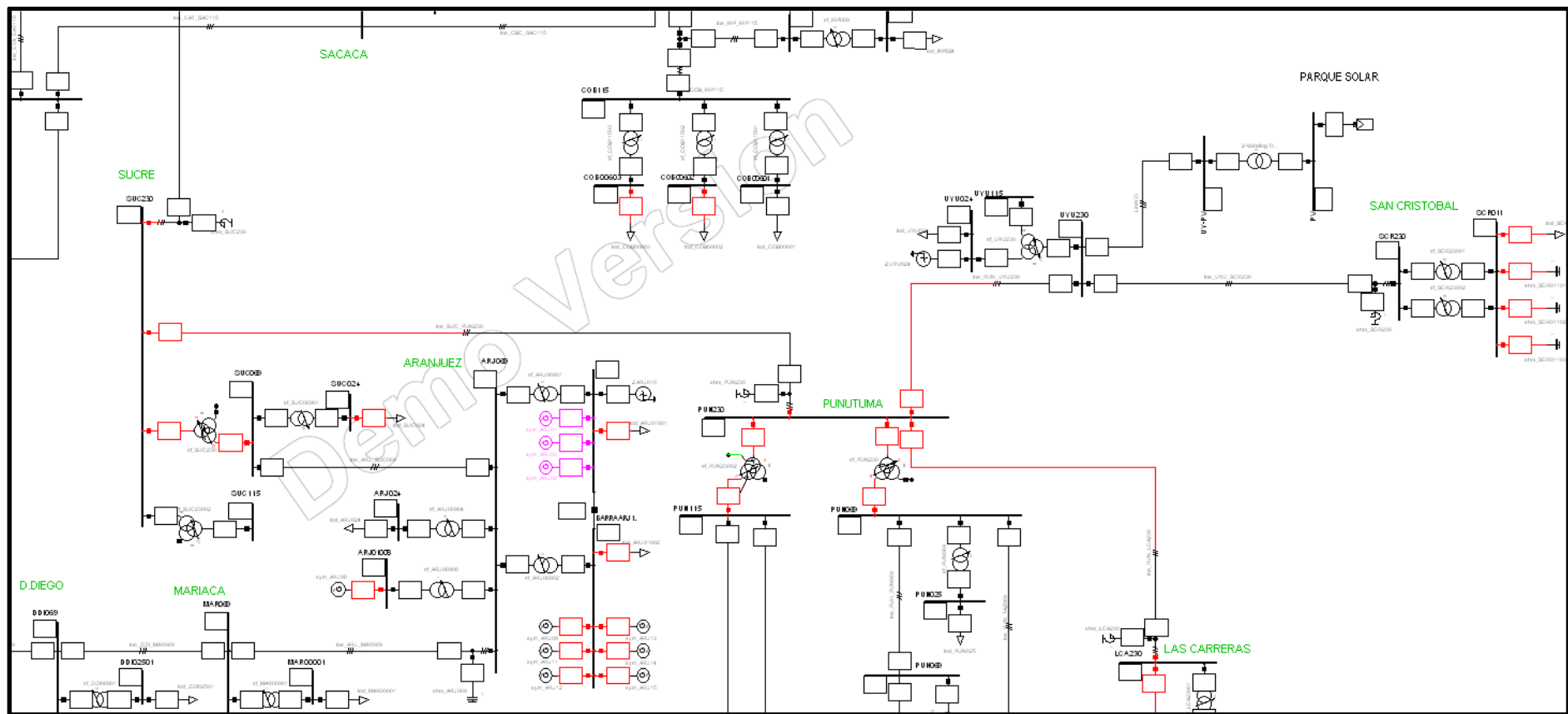


Fig 3

Diagrama Unifilar del SIN 2015

## 6. ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA

El estudio de flujo de potencia persigue determinar las condiciones operativas de régimen permanente de la zona de estudio, es decir, transferencias de potencia por las líneas y transformadores, tensiones de barra y estado de los generadores de la zona, bajo diferentes condiciones operacionales, tanto de demanda de la zona como de generación local y global del sistema. Estas evaluaciones son realizadas para condiciones normales de operación y para contingencias simples en el Sistema Interconectado Nacional. El desarrollo del presente estudio de flujo de potencia se ha realizado con la aplicación del programa DigSILENT Power Factory versión 15.2.

Con motivo a lo señalado, se presenta a continuación los resultados del análisis realizado en cuanto al estudio de flujos de potencia para dos escenarios:

1. MED\_SECO\_11 (Hidrología Seca).
2. MIN\_HUM\_04 (Hidrología Húmeda)
3. Demanda Maxima

En estos dos escenarios se analiza el comportamiento del sistema ante las siguientes contingencias:

a) Contingencias simples que afectan al flujo de potencia y las tensiones:

- Salida de la Central de Generación Rio Yura
- Desconexión de una línea entra las SE Tarija y La SE Las Carreas
- Desconexión de la línea THU-LIT 230 kV

Para estas contingencias, se determinan las tensiones y caídas de tensiones en las siguientes barras:

- 230 kV S/E Santivañez
- 230 kV S/E Sucre
- 230 kV S/E Punutuma
- 230 kV S/E San Cristobal
- 230 kV S/E Uyuni
- 115 kV S/E Aranjuez
- 69 KV S/E Aranjuez
- 115 kV S/E Uyuni
- 24 kV SE Uyuni
- 11 kV S/E San Cristobal
- 

De igual forma para estas mismas contingencias, se determinan los flujos de potencia en las siguientes líneas:

- Uyuni – San Cristóbal 230 kV.

- Uyuni – Punutuma 230 kV.
- Punutuma - Sucre 230 kV.
- Sucre – Santivañez 230 kV.
- Punutuma –Las Carreras 230 kV.

### 6.1 Cumplimiento Estándar Norma Técnica

Los criterios de aceptación para la operación del sistema eléctrico, empleados en los resultados de los estudios de flujos de potencia y contenidos en la Norma Operativa AE N° 110/2011 son los siguientes:

#### Artículo 2.2 Tensión en Barras

Las Instalaciones de Clientes Libres deberán presentar un factor de potencia calculado en intervalos integrados de 15 minutos, en cualquier condición de carga, medido en sus respectivas Instalaciones de Conexión conectadas a los Puntos de Control del Cliente, según nivel de tensión como se indica a continuación:

Tensión Nominal	Estado Normal	Estado de Emergencia	
		Inmediatamente Posterior a la Contingencia	Posterior a la Contingencia
<b>230 kV</b>	De 0.95 a 1.05 p.u.	De 0.85 a 1.10 p.u.	De 0.90 a 1.065 p.u.
<b>115 kV</b>	De 0.95 a 1.05 p.u.	De 0.85 a 1.10 p.u.	De 0.90 a 1.070 p.u.
<b>69 kV</b>	De 0.95 a 1.05 p.u.	De 0.85 a 1.10 p.u.	De 0.90 a 1.050 p.u.

Cuadro A

#### Artículo 3.1 Carga Máxima de Componentes

Estado Normal	Estado de Emergencia	
100% de la capacidad nominal	Sobrecarga para periodos inferiores a 15 minutos informado por el Agente	Sobrecarga para periodos superiores a 15 minutos informado por el Agente

Cuadro B

### 6.2 Escenario Demanda Máxima 2015

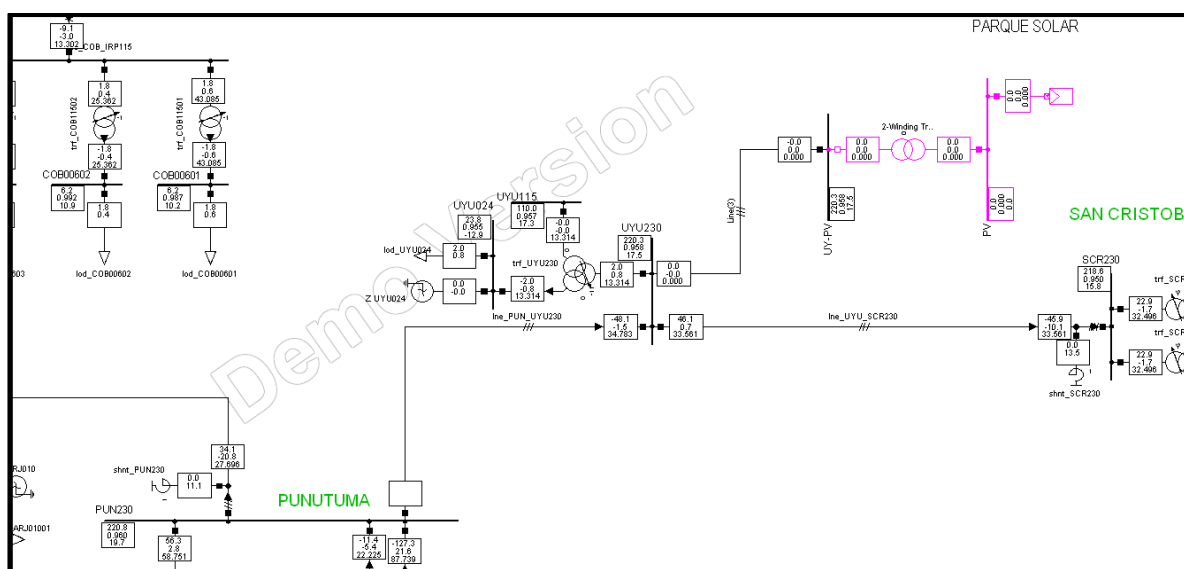
La simulación de los flujos de carga para el escenario de Máxima Demanda en el SIN es realizado solamente para tener la información de su estado actual de operación

La topología actual del SIN (2015) se muestra en la figura No 3. Los resultados de los flujos de carga para los diferentes escenarios son los siguientes:

En el cuadro No 1, se muestran los valores de las tensiones y regulación de tensión para las barras que se encuentran en la zona del proyecto sin considerar el parque fotovoltaico.

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	227.4	0.989	- 1.13
2	Sucre	Central	230	222.2	0.968	-3.39
3	Punutuma	Central	230	220.8	0.966	-4.0
4	San Cristóbal	Sur	230	218.6	0.950	-4.95
5	Uyuni	Sur	230	220.3	0.958	-4.21
6	Uyuni	Sur	115	110.0	0.957	-4.34
7	Aranjuez	Central	69	68.2	0.988	-1.15

*Cuadro No 1*  
*Tensiones en Barras, Demanda Máxima, Año 2015*



*Fig 4*  
*Flujo de carga para Demanda Máxima Año 2015*

Los resultados de este flujo de carga muestran que los valores de tensión en todas las barras relacionadas con el proyecto futuro se encuentran operando con valores muy cercanos al límite inferior de tensión.



### 6.3 Escenario Demanda Máxima 2016

Como se mencionó en el punto anterior, el Parque Fotovoltaico Uyuni iniciará sus operaciones a principios del año 2017, por lo que la simulación de este escenario es solo con fines comparativos posteriore

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	225.2	0.979	- 2.09
2	Sucre	Central	230	222.9	0.9689	-3.08
3	Punutuma	Central	230	221.7	0.964	-3.61
4	San Cristóbal	Sur	230	219.0	0.952	-4.78
5	Uyuni	Sur	230	221.0	0.959	-3.91
6	Uyuni	Sur	115	110.3	0.959	-4.08
7	Aranjuez	Central	69	68.1	0.988	-1.30

*Cuadro No 2*

*Tensiones en Barras, Demanda Máxima, Año 2016*

### 6.4 Escenario Demanda Máxima 2017

En el año 2017 se considera la segunda línea entre la Se Tarija y la S/E las Carreras y la línea de transmisión en 230 kV entre SE LCA 230 y la SE la SE LIT 230 a través de la SE THU 230 kV.

En las figuras N<sup>os</sup> 5 y 6 se muestra el diagrama unifilar del SIN para el año 2017. La figura 5 muestra el área que comprende a la Central Termoeléctrica del Sur, las subestaciones Tarija (TAJ 230) , Las Carreras (LCA 230) y la nueva subestación Tupiza 230 kV (THU 230)

El resultado del flujo de carga para este escenario sin considerar el Parque Fotovoltaico es el siguiente:

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.1	1.009	0.009
2	Sucre	Central	230	230.0	1.000	0.0
3	Punutuma	Central	230	232.5	1.011	0.010
4	San Cristóbal	Sur	230	231.4	1.006	0.006
5	Uyuni	Sur	230	232.8	1.012	0.012
6	Uyuni	Sur	115	116.2	1.011	0.010
7	Aranjuez	Central	69	69.2	1.002	0.002
8	LIT	Sur	230	231.4	1.006	0.006
9	Las Carreras	Tarija	230	233.1	1.014	0.013
10	Tupiza	Sur	230	234.0	1.018	0.017

*Cuadro No 3*

*Tensiones en Barras, Demanda Máxima, Año 2017*  
*Sin Parque Fotovoltaico*

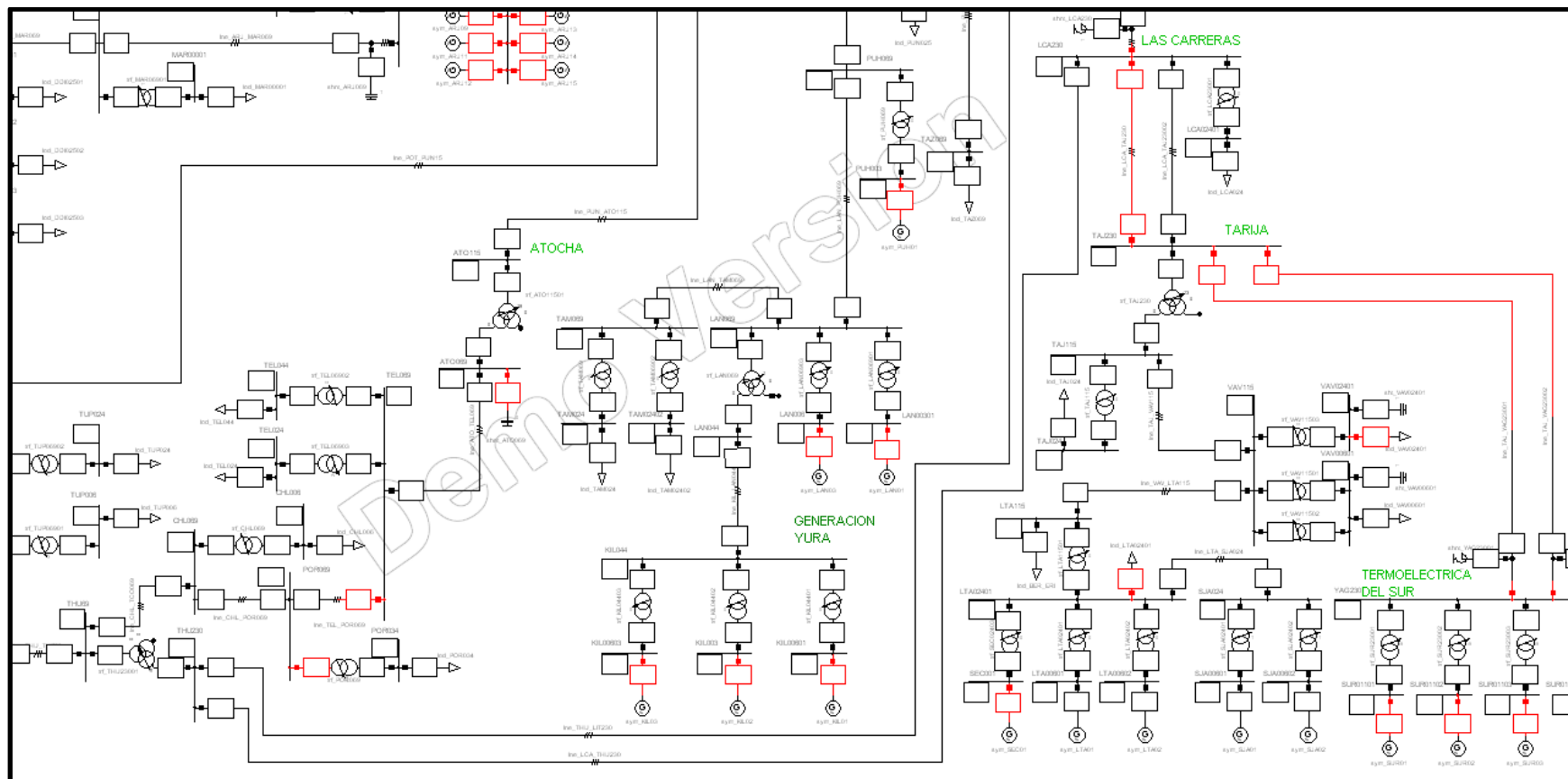


Fig No 5

Diagrama Unifilar del SIN Año 2017

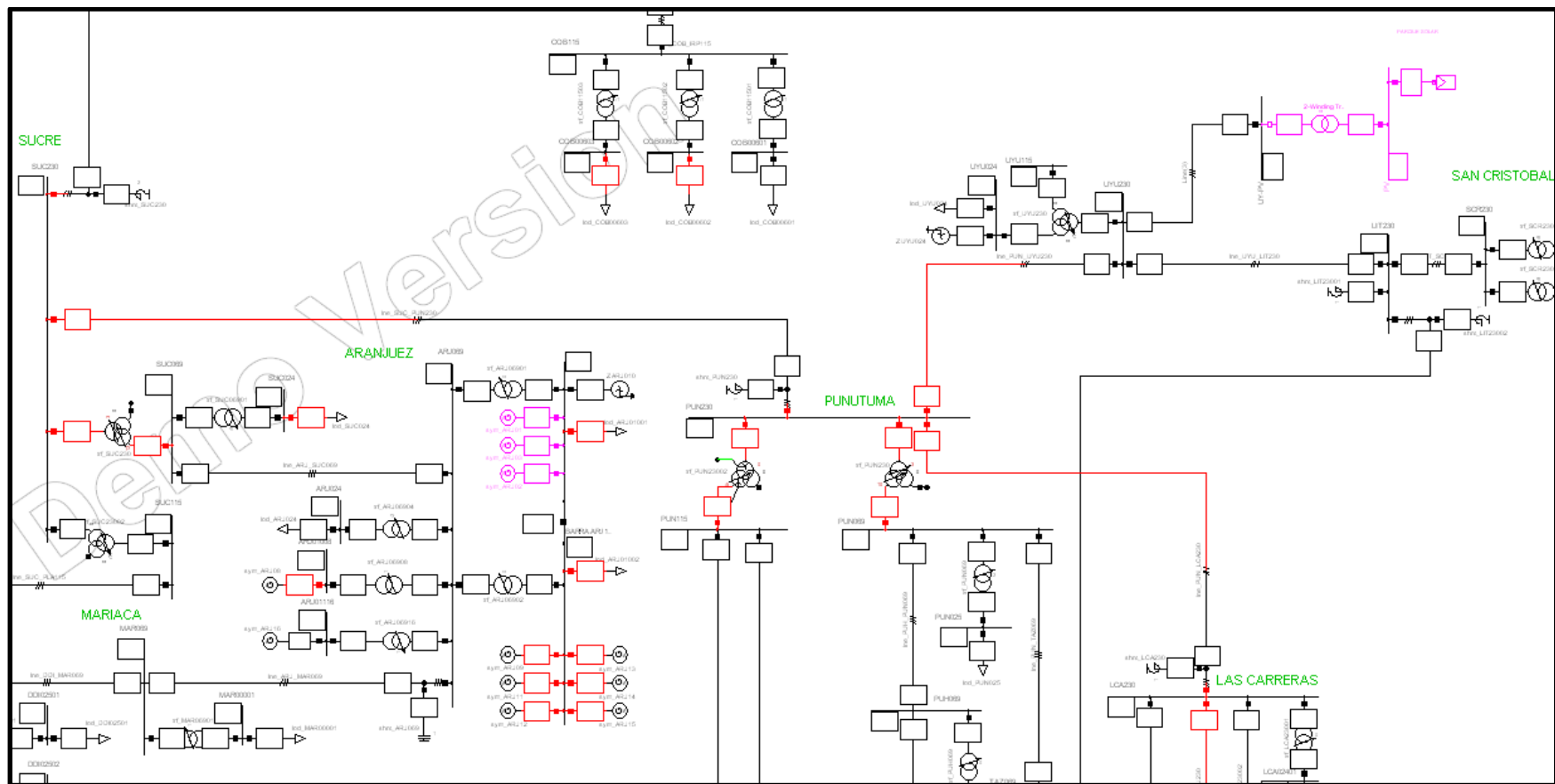


Fig No 6

Diagrama unifilar del SIN Año 2017



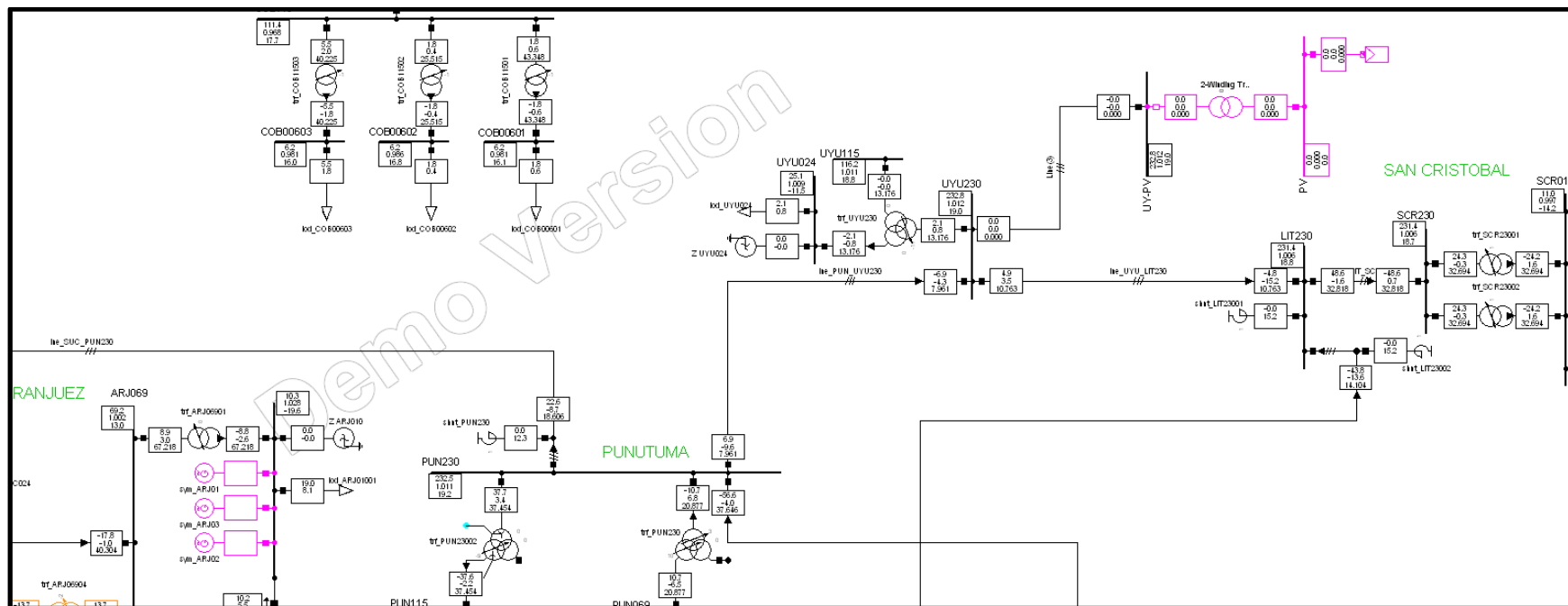


Fig No 7

Resultado del Flujo de Carga Escenario Demanda Máxima Año 2017

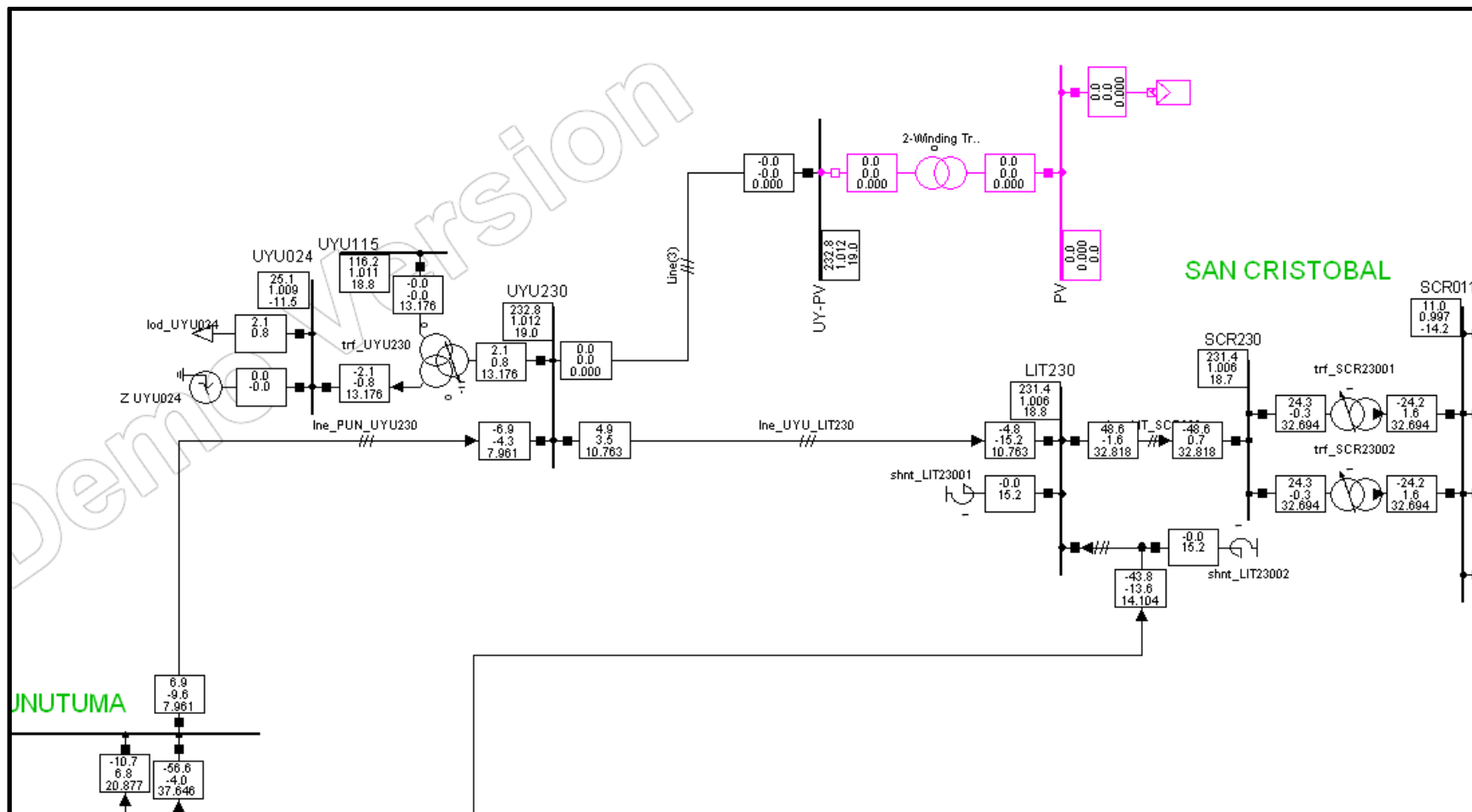


Fig 8

Resultado del Fulo de Carga, Escenario de Máxima Demanda Año 2017  
Sin Parque Fotovoltaico

Considerando el Parque Fotovoltaico en operación para este escenario se tienen los siguientes resultados:

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.1	1.009	0.009
2	Sucre	Central	230	229.1	0.996	-0.391
3	Punutuma	Central	230	231.1	1.007	0.004
4	San Cristóbal	Sur	230	230.7	1.003	0.003
5	Uyuni	Sur	230	232.0	1.009	0.008
6	Uyuni	Sur	115	115.8	1.007	0.006
7	Aranjuez	Central	69	69.0	1.000	0.0
8	LIT	Sur	230	230.8	1.003	0.003
9	Las Carreras	Tarija	230	232.7	1.012	0.011
10	Tupiza	Sur	230	233.6	1.015	0.015

*Cuadro No 4*

*Tensiones en Barras, Demanda Máxima, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico*

En la fig No 9 se muestran los resultados del flujo de carga para este escenario, en las instalaciones de la zona de influencia del Parque Fotovoltaico

## 6.5 Escenario Medio – Seco, con Parque Fotovoltaico, Año 2017

Las tensiones en las barras de la zona de influencia del proyecto se muestran en el cuadro No 5. Los resultados del flujo de carga se muestran en la figura No 10

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	234.9	1.021	0.021
2	Sucre	Central	230	230.1	1.001	0.0
3	Punutuma	Central	230	231.4	1.006	0.006
4	San Cristóbal	Sur	230	231.3	1.006	0.006
5	Uyuni	Sur	230	232.4	1.010	0.018
6	Uyuni	Sur	115	116.1	1.010	0.009
7	Aranjuez	Central	69	69.6	1.009	0.008
8	LIT	Sur	230	231.4	1.006	0.006
9	Las Carreras	Tarija	230	235.5	1.019	0.023
10	Tupiza	Sur	230	234.4	1.009	0.019

*Cuadro No 5*

*Tensiones en Barras, Medio- Seco, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico*



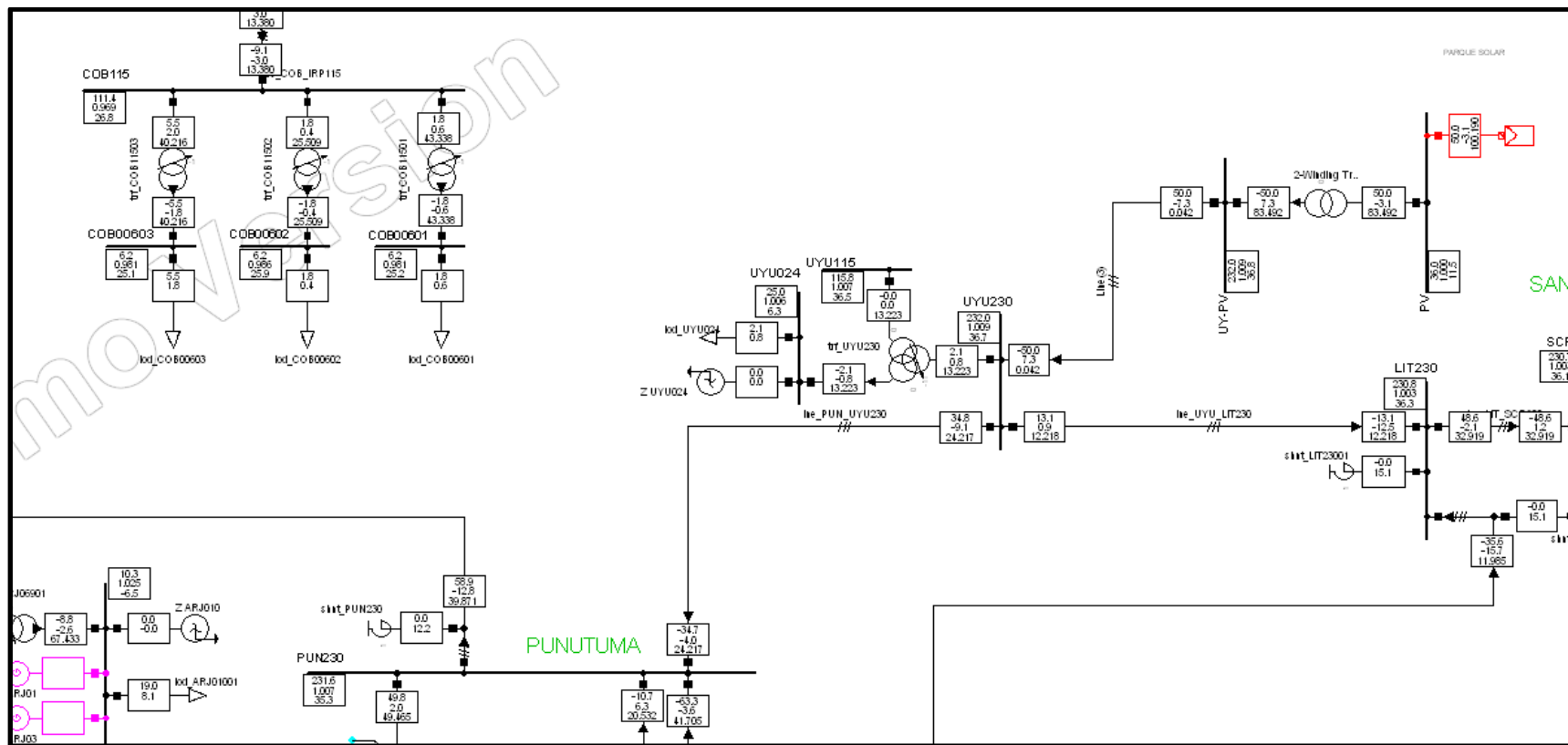


Fig 9  
 Resultado del Fulo de Carga, Escenario de Máxima Demanda Año 2017  
 Con Parque Fotovoltaico

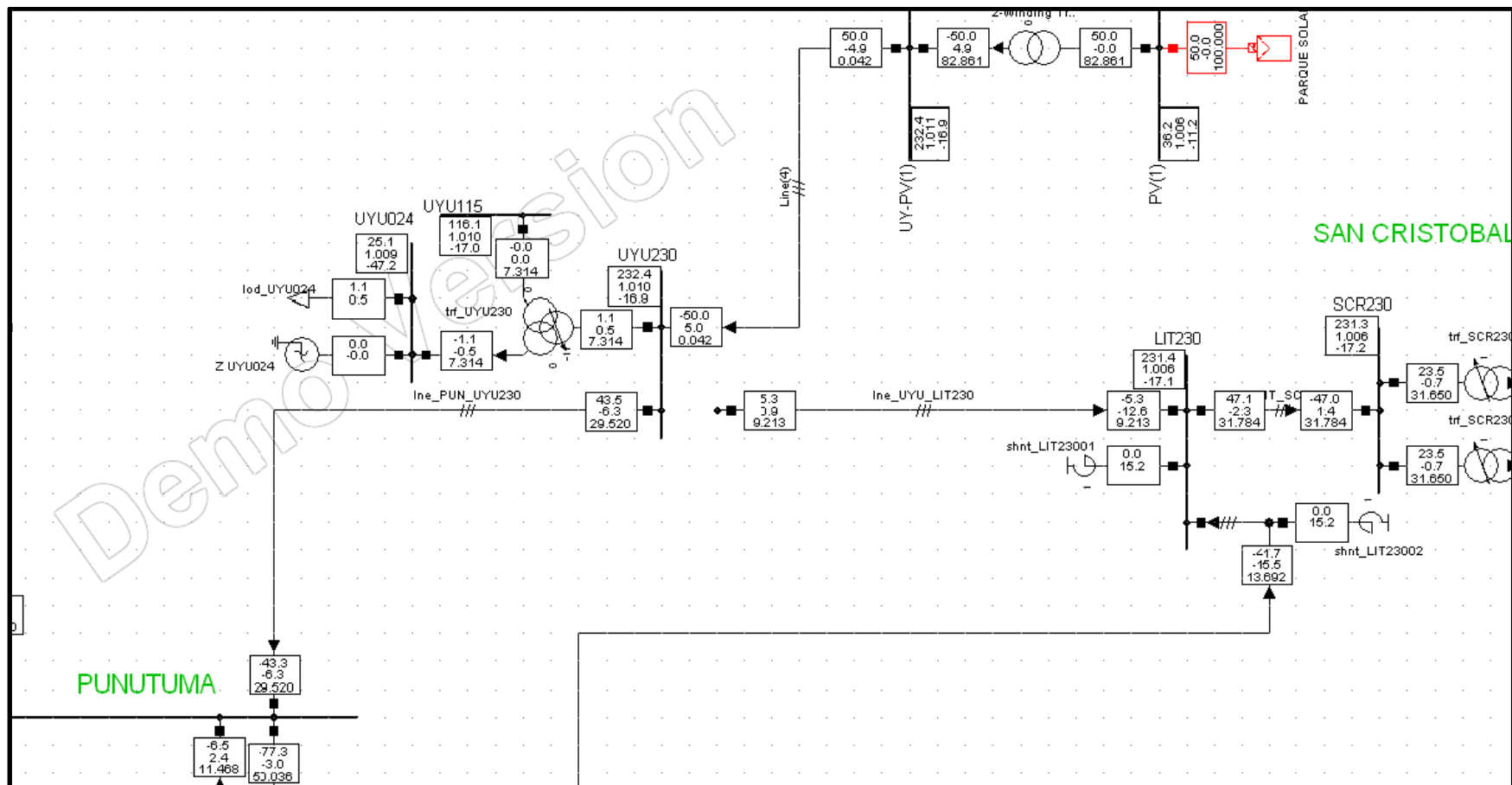


Fig 10  
 Resultado del Fulo de Carga, Escenario Medio- Seco, Año 2017  
 Con Parque Fotovoltaico

## 6.7 Escenario Mínimo Húmedo, con Parque Fotovoltaico, año 2017

Los resultados para las tensiones de barra en el área de influencia del proyecto, para este escenario, se muestran en el siguiente cuadro:

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	234.9	1.021	0.021
2	Sucre	Central	230	232.1	1.009	0.009
3	Punutuma	Central	230	237.1	1.031	0.030
4	San Cristóbal	Sur	230	236.9	1.030	0.030
5	Uyuni	Sur	230	238.0	1.035	0.034
6	Uyuni	Sur	115	118.9	1.034	0.033
7	Aranjuez	Central	69	69.4	1.006	0.005
8	LIT	Sur	230	236.9	1.030	0.030
9	Las Carreras	Tarija	230	237.9	1.035	0.034
10	Tupiza	Sur	230	238.9	1.038	0.038

*Cuadro No 6,*

*Tensiones en Barras-Escenario Mínima – Húmeda, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico*

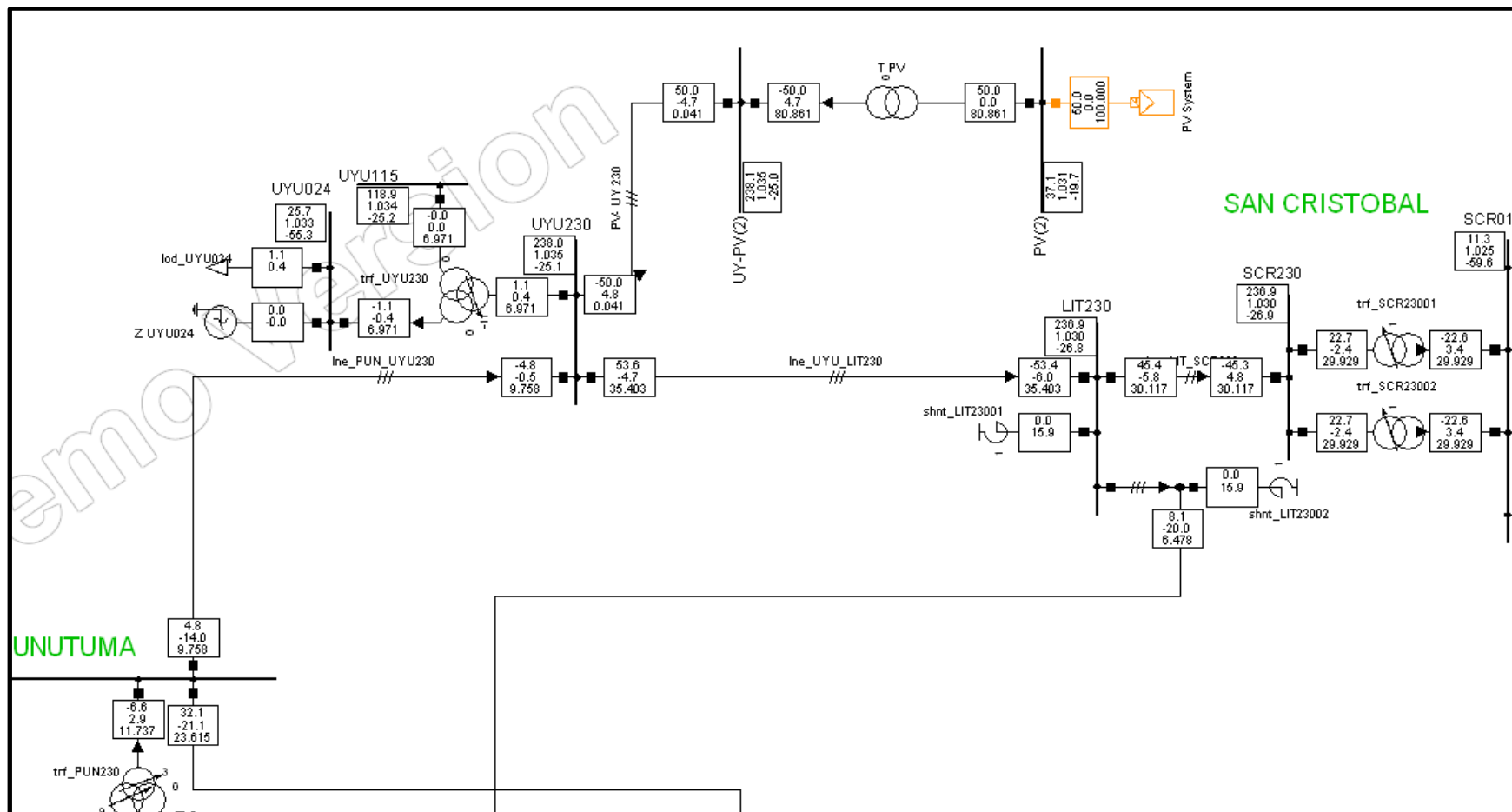


Fig 11

Resultado del Flujo de Carga, Escenario Mínimo - Humedo, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico

## 7. CONTINGENCIAS SIMPLES

Como se mencionó en el punto 6, se verificará el comportamiento del SIN, en el área de influencia del Proyecto del Parque Fotovoltaico considerando las siguientes contingencias:

- Desconexión de una línea Tarija – Las Carreras
- Desconexión del Sistema de Generación Rio Yura
- Desconexión de la línea THU-LIT 230 kV

### 7.1 Desconexión de una línea Tarija - Las Carreras

Para analizar esta contingencia, se ha utilizado el escenario más desfavorable, que corresponde a la Demanda Media con hidrología Seca.

Con la desconexión de una línea entre las subestaciones Tarija - Las Carreras, la tensión en las barras del área de influencia del parque fotovoltaico, se mantiene muy cerca de los valores nominales, por lo que esta contingencia no afecta al sistema. El siguiente cuadro muestra que las tensiones en las barras se mantienen dentro de las especificaciones de la norma.

Ítem	Barra	Zona	Tensión			delta V
			Nominal	Operación	Operación	
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.1	1.001	0.009
2	Sucre	Central	230	227.8	0.991	-0.956
3	Punutuma	Central	230	230.1	1.000	0.0
4	San Cristóbal	Sur	230	231.1	1.005	0.004
5	Uyuni	Sur	230	231.6	1.007	0.006
6	Uyuni	Sur	115	115.6	1.007	0.005
7	Aranjuez	Central	69	67.6	0.979	-2.028
8	LIT	Sur	230	231.0	1.004	0.004
9	Las Carreras	Tarija	230	230.7	1.003	0.003
10	Tupiza	Sur	230	232.4	1.010	0.010

*Cuadro No 7*

*Tensiones en Barras-Escenario Medio – Seco, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico,  
Contingencia Simple, Desconexión de una línea Tarija-Las Carreras*

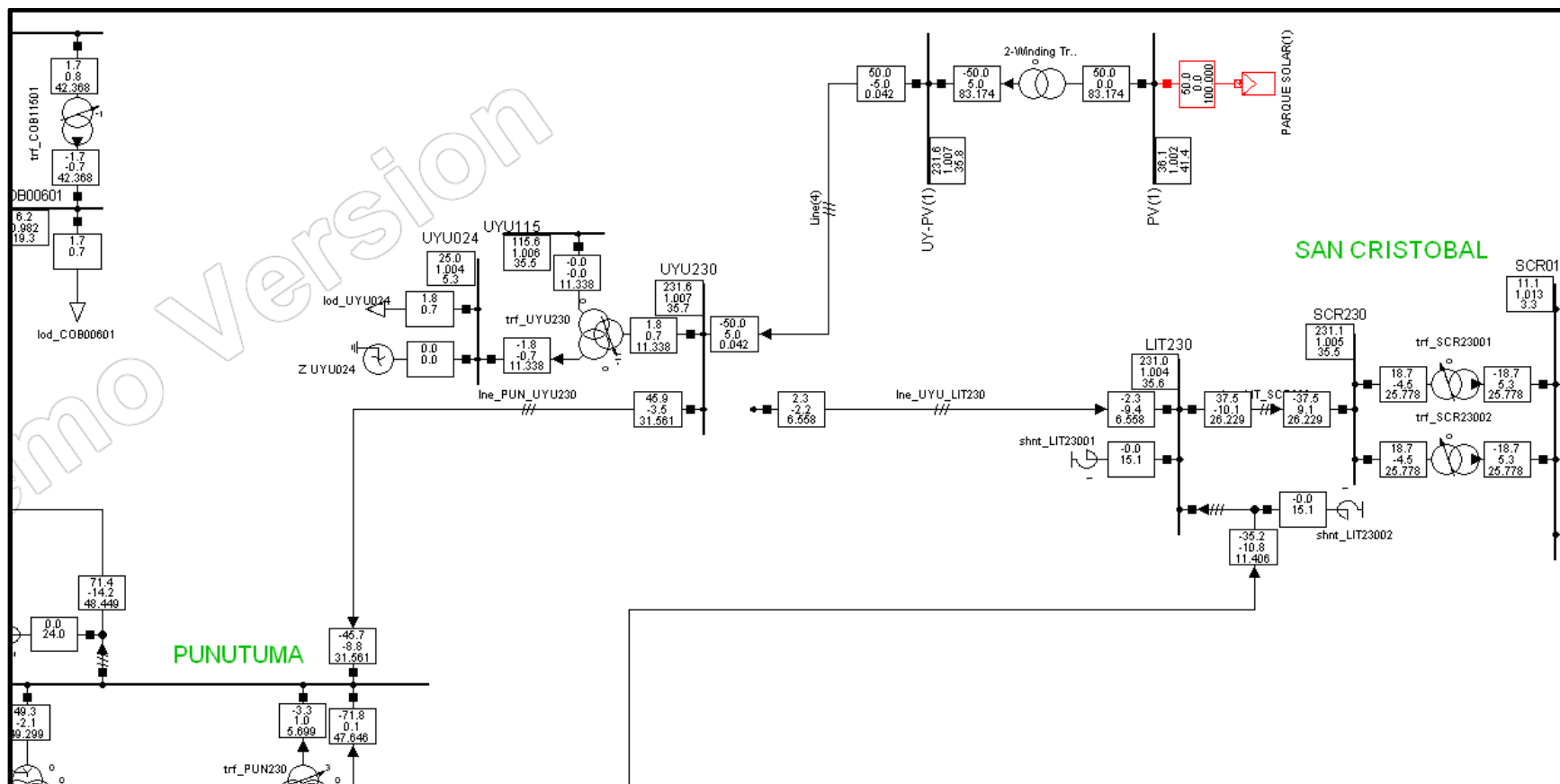


Fig 12  
 Resultado del Flujo de Carga, Contingencia Simple, Desconexión línea Tarina Las Carreas  
 Con Parque Fotovoltaico

## 7.1 Desconexión de las centrales del Río Yura

En este escenario se muestra la influencia de la desconexión de la generación del Sistema del Río Yura. Se observa que los valores de tensión se mantienen dentro los márgenes establecidos por la normativa vigente

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.3	1.010	0.010
2	Sucre	Central	230	229.0	0.996	-0.434
3	Punutuma	Central	230	231.7	1.014	0.007
4	San Cristóbal	Sur	230	232.8	1.012	0.012
5	Uyuni	Sur	230	233.3	1.014	0.014
6	Uyuni	Sur	115	116.5	1.013	0.013
7	Aranjuez	Central	69	67.9	0.985	-1.59
8	LIT	Sur	230	232.8	1.012	0.012
9	Las Carreras	Tarija	230	232.4	1.010	0.014
10	Tupiza	Sur	230	234.1	1.018	0.017

*Cuadro No 8*

*Tensiones en Barras-Escenario Medio – Seco, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico,  
Contingencia Simple, Desconexión del Sistema Yura*





## 7.2 Desconexión de la línea THU – LIT 230 kV

Por último se ha simulado la apertura de la línea de 230 kV entre las Subestaciones THU y LIT con el Parque Fotovoltaico conectado. La salida de s línea tiene mayores efectos negativos en las tensiones de barra respecto de los anteriores escenarios. En el cuadro siguiente se muestra los valores de tensiones en las diferentes barras consideradas

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	231.1	1.007	0.004
2	Sucre	Central	230	225.1	0.981	-2.126
3	Punutuma	Central	230	226.5	0.985	-1.521
4	San Cristóbal	Sur	230	229.9	1.000	-0.043
5	Uyuni	Sur	230	229.3	0.997	-0.304
6	Uyuni	Sur	115	114.5	0.994	-0.434
7	Aranjuez	Central	69	66.9	0.969	-3.043
8	LIT	Sur	230	229.9	1.000	0.0
9	Las Carreras	Tarija	230	225.9	0.982	-1.782
10	Tupiza	Sur	230	215.6	0.937	-6.26

*Cuadro No 9*

*Tensiones en Barras-Escenario Medio – Seco, Año 2017  
Con Parque Fotovoltaico,  
Contingencia Simple, Desconexión línea THU-LIT 230 kV*

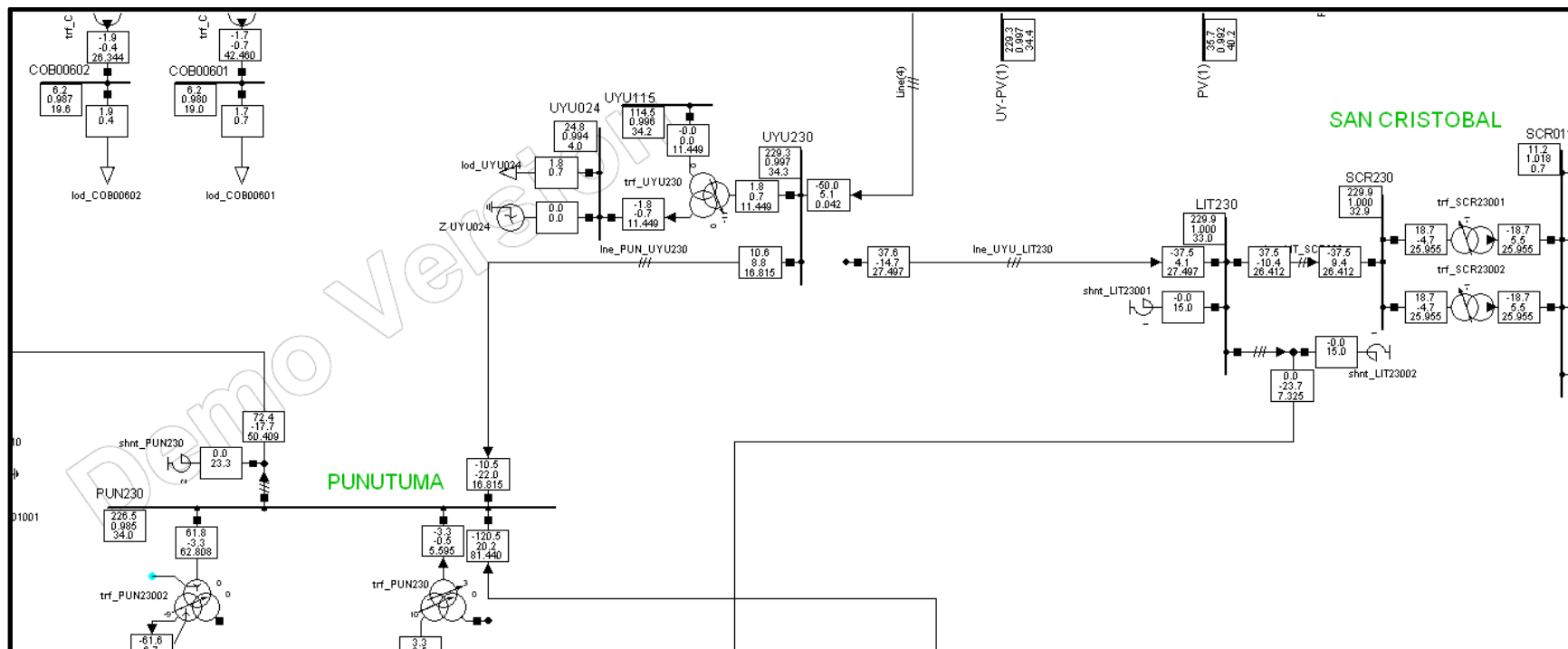


Fig 14

Resultado del Flujo de Carga, Contingencia Simple, Desconexión Línea 230 kV THU-LIT  
Con Parque Fotovoltaico

## 8. FLUJOS DE CARGA PARA EL AÑO 2018

### 8.1 Escenario de Demanda Máxima con Parque Fotovoltaico año 2018

Los resultados del flujo de carga para el escenario de Máxima Demanda del año 2108 se muestran en el siguiente cuadro:

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	229.6	0.998	-0.17
2	Sucre	Central	230	220.8	0.960	-4.0
3	Punutuma	Central	230	225.5	0.980	-1.95
4	San Cristóbal	Sur	230	225.8	0.982	-1.82
5	Uyuni	Sur	230	227.2	0.998	-1.21
6	Uyuni	Sur	115	113.4	0.986	-1.39
7	Aranjuez	Central	69	68.8	0.997	-0.28
8	LIT	Sur	230	225.9	0.982	-1.78
9	Las Carreras	Tarija	230	228.9	0.995	-0.47
10	Tupiza	Sur	230	229.2	0.996	-0.34

*Cuadro No 10,*

*Tensiones en Barras, Demanda Máxima, Año 2018  
Con Parque Fotovoltaico*

En la fig No 15 se muestran los resultados del flujo de carga para este escenario, en las instalaciones de la zona de influencia del Parque Fotovoltaico. Como se puede apreciar, los voltajes de las barras analizadas cumplen las condiciones establecidas en la Norma operativa AE No 110/2011 mostradas en el cuadro A, es decir todos los voltajes están comprendidos en el rango  $\pm 5\%$

### 8.2 Escenario Medio – Seco, con Parque Fotovoltaico, Año 2018

Las tensiones en las barras de la zona de influencia del proyecto se muestran en el cuadro No 5. Los resultados del flujo de carga se muestran en la figura No 16

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.4	1.010	1.04
2	Sucre	Central	230	229.2	0.996	-0.35
3	Punutuma	Central	230	232.4	1.010	1.04
4	San Cristóbal	Sur	230	233.9	1.017	1.69
5	Uyuni	Sur	230	233.8	1.016	1.65
6	Uyuni	Sur	115	116.7	1.015	1.47
7	Aranjuez	Central	69	68.9	0.998	-0.14
8	LIT	Sur	230	233.9	1.017	1.69
9	Las Carreras	Tarija	230	236.2	1.027	2.69
10	Tupiza	Sur	230	236.9	1.03	3.00

*Cuadro No 11*

*Tensiones en Barras, Medio- Seco, Año 2018  
Con Parque Fotovoltaico*

Las magnitudes de los voltajes de las barras analizadas, cumplen las condiciones establecidas en la Norma operativa AE No 110/2011 mostradas en el cuadro A, es decir todos los voltajes están comprendidos en el rango  $\pm 5\%$



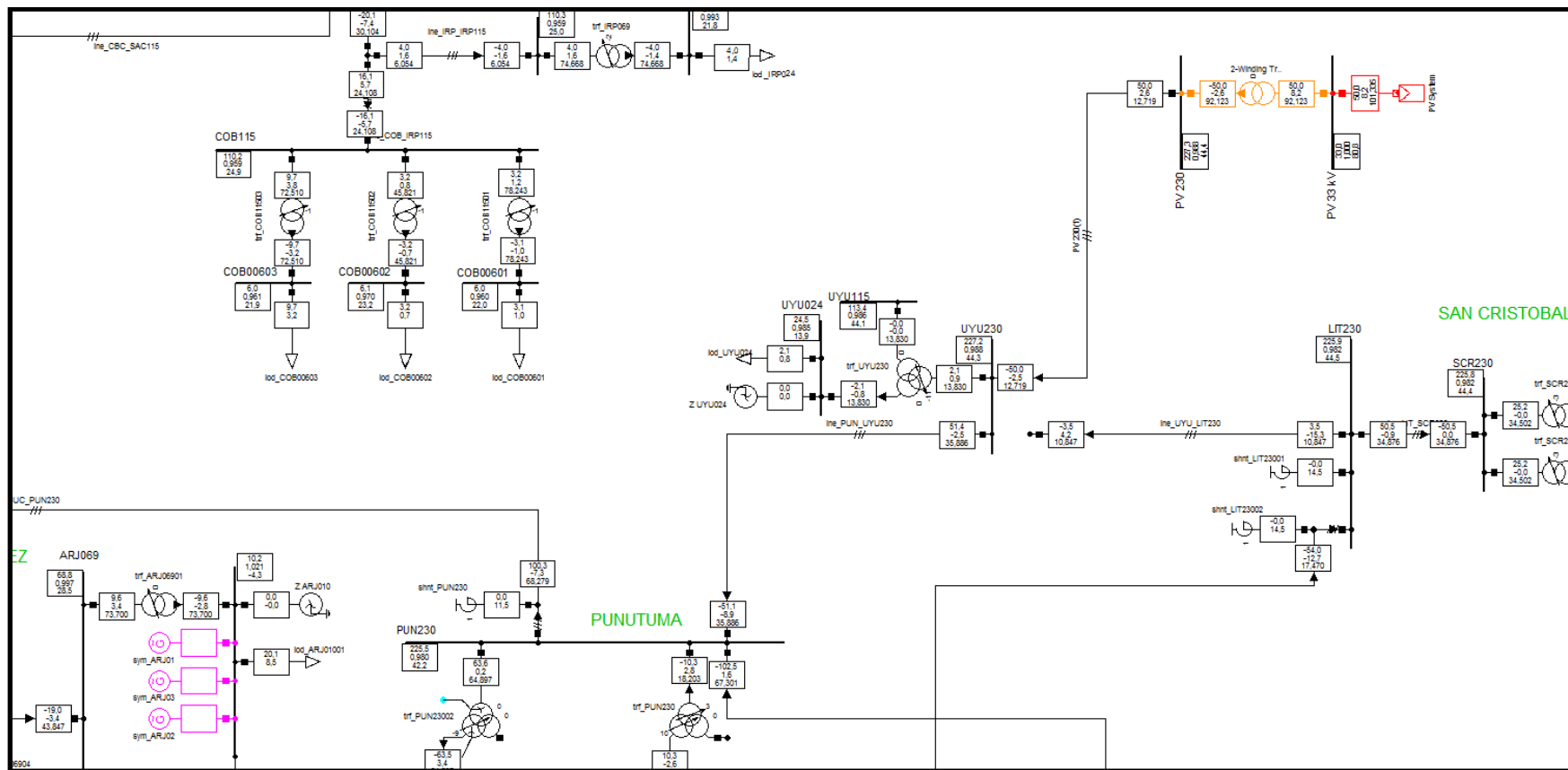


Fig 16  
 Resultado del Fulo de Carga, Escenario Medio- Seco, Año 2018  
 Con Parque Fotovoltaico

### 8.3 Escenario Mínimo Húmedo, con Parque Fotovoltaico, año 2018

Los resultados para las tensiones de barra en el área de influencia del proyecto, para este escenario, se muestran en el cuadro No 12 y Figura No 17

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	233.0	1.013	1.304
2	Sucre	Central	230	222.6	0.968	-3.21
3	Punutuma	Central	230	224.5	0.976	-2.39
4	San Cristóbal	Sur	230	225.8	0.982	-1.83
5	Uyuni	Sur	230	226.8	0.986	-1.39
6	Uyuni	Sur	115	113.3	0.985	-1.47
7	Aranjuez	Central	69	67.6	0.980	-2.02
8	LIT	Sur	230	225.9	0.982	-1.78
9	Las Carreras	Tarija	230	229.2	0.997	-0.34
10	Tupiza	Sur	230	229.4	0.997	-0.26

*Cuadro No 12*

*Tensiones en Barras-Escenario Mínima – Húmeda, , Año 2018  
Con Parque Fotovoltaico*

Las magnitudes de los voltajes de las barras analizadas, cumplen las condiciones establecidas en la Norma operativa AE No 110/2011 mostradas en el cuadro A, es decir todos los voltajes están comprendidos en el rango  $\pm$  5%

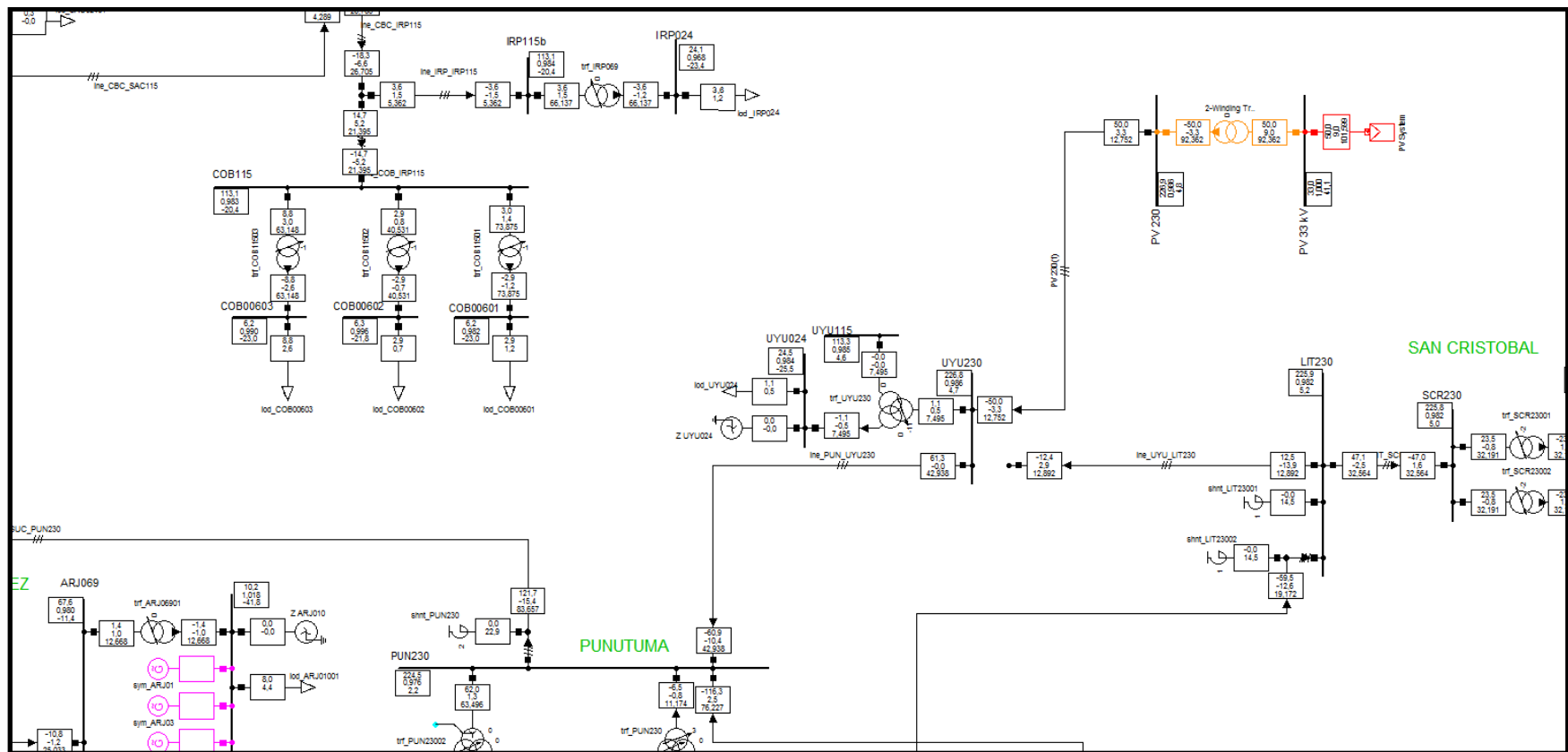


Fig 17 Resultado de Flujo de Carga Escenario Mínimo Húmedo 2018



## 9. CONTINGENCIAS SIMPLES

Como se mencionó en el punto 6, se verificará el comportamiento del SIN en el año 2018, en el área de influencia del Proyecto del Parque Fotovoltaico considerando las siguientes contingencias:

- Desconexión de una línea Tarija – Las Carreras
- Desconexión del Sistema de Generación Rio Yura
- Desconexión de la línea THU-LIT 230 kV

### 9.1 Desconexión de una línea Tarija - Las Carreras

Para analizar esta contingencia, se ha utilizado el escenario más desfavorable, que corresponde a la Demanda Media con hidrología Seca.

Con la desconexión de una línea entre las subestaciones Tarija - Las Carreras, la tensión en las barras del área de influencia del parque fotovoltaico, se mantiene muy cerca de los valores nominales, por lo que esta contingencia no afecta al sistema. El siguiente cuadro muestra que las tensiones en las barras se mantienen dentro de las especificaciones de la norma.

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.3	1.010	1.0
2	Sucre	Central	230	228.4	0.993	-0.69
3	Punutuma	Central	230	231.0	1.005	0.43
4	San Cristóbal	Sur	230	232.4	1.010	1.04
5	Uyuni	Sur	230	232.5	1.011	1.08
6	Uyuni	Sur	115	116.1	1.010	0.95
7	Aranjuez	Central	69	68.7	0.996	-0.43
8	LIT	Sur	230	232.3	1.010	1.00
9	Las Carreras	Tarija	230	233.9	1.017	1.69
10	Tupiza	Sur	230	234.8	1.010	2.08

*Cuadro No 13*

*Tensiones en Barras-Escenario Medio – Seco, Año 2018  
Con Parque Fotovoltaico,  
Contingencia Simple, Desconexión de una línea Tarija-Las Carreras*

Las magnitudes de los voltajes de las barras analizadas, para esta contingencia simple, cumplen las condiciones establecidas en la Norma operativa AE No 110/2011 mostradas en el cuadro A, para el caso de Estado de Emergencia es decir todos los voltajes están comprendidos en el rango  $\pm 10\%$



*Fig 18 Resultado del Flujo de Carga, Contingencia Simple, Desconexión línea Tarija - Las Carreas*

## 9.2 Desconexión de las centrales del Río Yura

En este escenario se muestra la influencia de la desconexión de la generación del Sistema del Río Yura. Se observa que los valores de tensión se mantienen dentro los márgenes establecidos por la normativa vigente. Los resultados son mostrados en el cuadro No 14 y Figura 13.

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.5	1.011	1.08
2	Sucre	Central	230	229.6	0.998	-0.17
3	Punutuma	Central	230	233.0	1.013	1.30
4	San Cristóbal	Sur	230	234.4	1.019	1.91
5	Uyuni	Sur	230	234.2	1.018	1.82
6	Uyuni	Sur	115	117.0	1.017	1.74
7	Aranjuez	Central	69	69.0	0.999	0.00
8	LIT	Sur	230	234.3	1.019	1.87
9	Las Carreras	Tarija	230	236.5	1.028	2.82
10	Tupiza	Sur	230	237.3	1.032	3.17

*Cuadro No 14*

*Tensiones en Barras-Escenario Medio – Seco, Año 2018  
Con Parque Fotovoltaico,  
Contingencia Simple, Desconexión del Sistema Yura*

Las magnitudes de los voltajes de las barras analizadas, para esta contingencia simple, cumplen las condiciones establecidas en la Norma operativa AE No 110/2011 mostradas en el cuadro A, para el caso de Estado de Emergencia es decir todos los voltajes están comprendidos en el rango  $\pm 10\%$

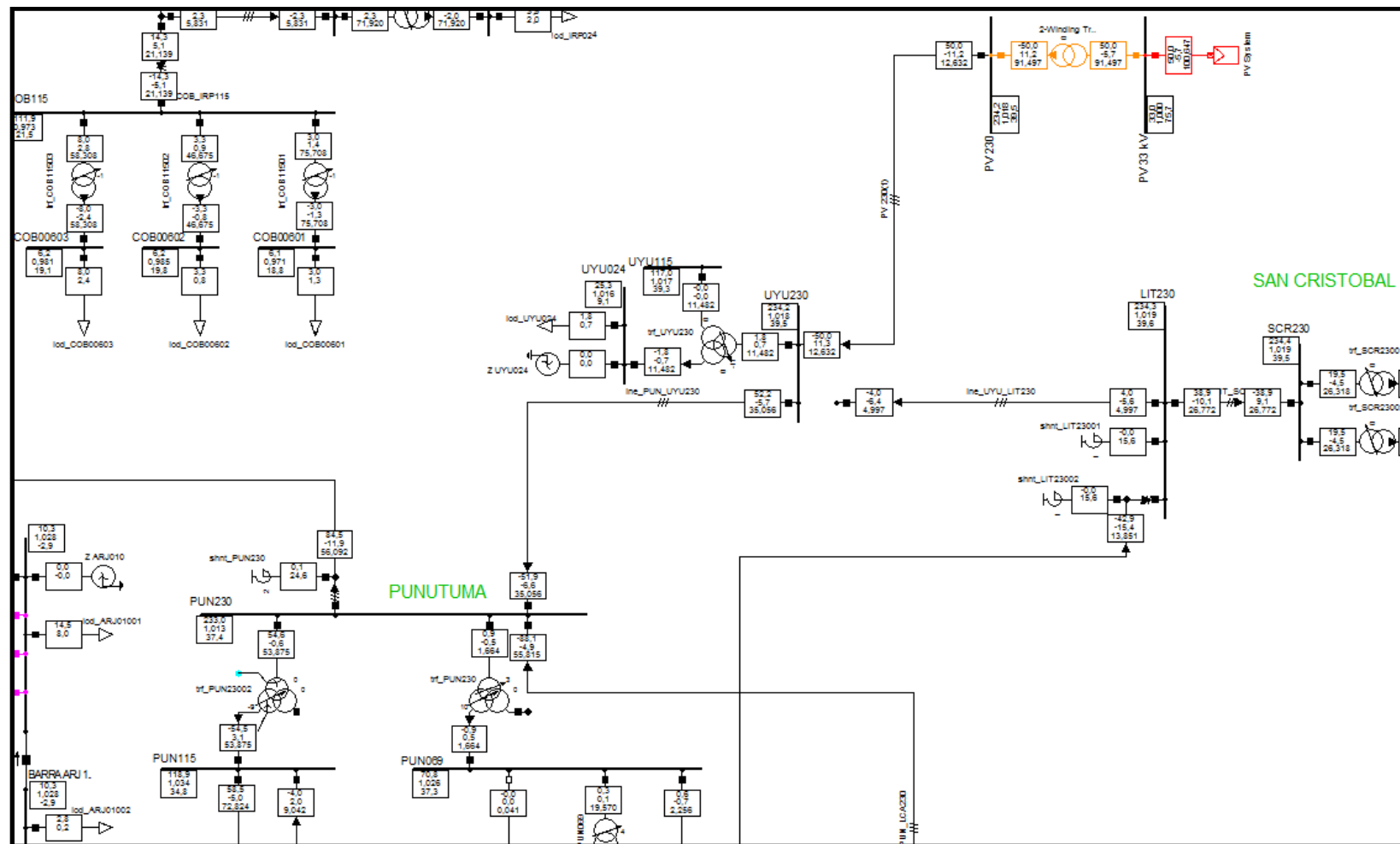


Figura 13, Desconexión del Sistema del Rio Yura

### 9.3 Desconexión de la línea THU – LIT 230 kV

Por último se ha simulado la apertura de la línea de 230 kV entre las Subestaciones THU y LIT con el Parque Fotovoltaico conectado. La salida de s línea tiene mayores efectos negativos en las tensiones de barra respecto de los anteriores escenarios. En el cuadro 15 y figura 14 se muestra los valores de tensiones en las diferentes barras consideradas

Ítem	Barra	Zona	Tensión			
			Nominal	Operación	Operación	delta V
			kV	kV	p.u.	%
1	Santibáñez	Central	230	232.2	1.010	0.95
2	Sucre	Central	230	228.2	0.992	-0.78
3	Punutuma	Central	230	230.8	1.003	0.35
4	San Cristóbal	Sur	230	232.2	1.014	0.95
5	Uyuni	Sur	230	232.8	1.012	0.34
6	Uyuni	Sur	115	116.3	1.011	1.13
7	Aranjuez	Central	69	69.1	1.001	0.14
8	LIT	Sur	230	233.1	1.014	1.35
9	Las Carreras	Tarija	230	234.5	1.020	1.95
10	Tupiza	Sur	230	235.3	1.023	2.30

*Cuadro No 15*

*Tensiones en Barras-Escenario Medio – Seco, Año 2018  
Con Parque Fotovoltaico,  
Contingencia Simple, Desconexión línea THU-LIT 230 kV*

Las magnitudes de los voltajes de las barras analizadas, para esta contingencia simple, cumplen las condiciones establecidas en la Norma operativa AE No 110/2011 mostradas en el cuadro A, para el caso de Estado de Emergencia es decir todos los voltajes están comprendidos en el rango  $\pm 10\%$

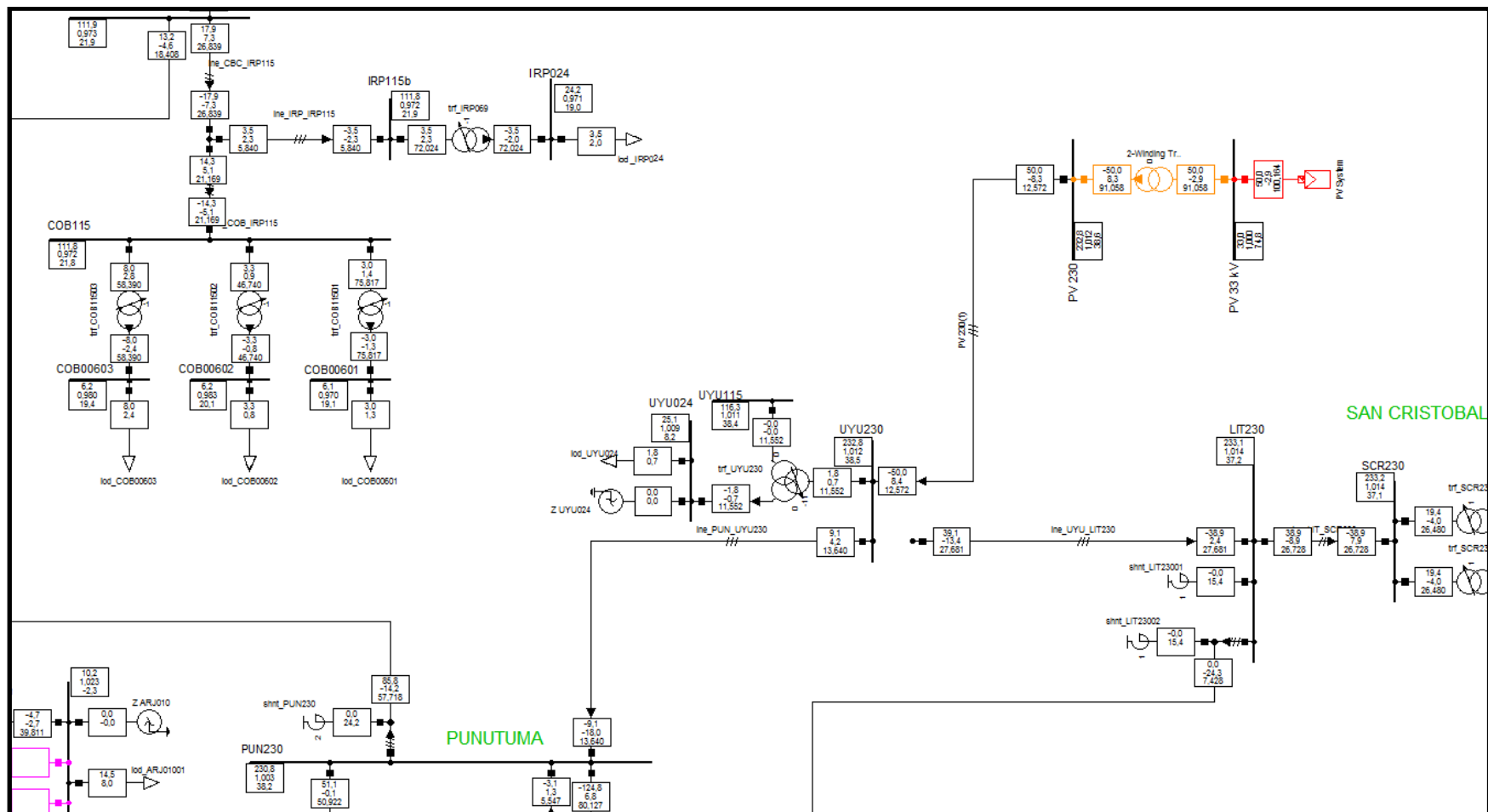


Fig 14

Resultado del Flujo de Carga, Contingencia Simple, Desconexión Línea 230 kV THU-LIT  
Con Parque Fotovoltaico

## 10. CONCLUSIONES

- Se realizaron simulaciones para los años 2017 y 2018, considerando el escenario de Demanda Máxima, Medio Seco y Mínimo Húmedo.
- En todos los casos se ha verificado el cumplimiento de la normativa establecida en la Norma Operativa AE No 110/2011.
- Debido a la incorporación del parque fotovoltaico, se puede apreciar una mejora en los perfiles de voltaje en las barras de su área de influencia.
- El Proyecto no introduce efectos negativos al SIN

