

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA  
CIUDAD DE PUERTO MALDONADO EN MEDIA TENSIÓN”**

**PRESENTADO POR:**

**Br. NATHALY MARY ESPINOZA SURCO y**

**Br. JUAN JOSE BELTRÁN PALOMINO**

Para optar al título Profesional de Ingeniero Electricista

**ASESOR:**

**Ing. DONATO MAMANI PARI**

**TESIS AUSPICIADA POR EL CONSEJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNSAAC**

**Cusco – Perú**

**2016**

## PRESENTACIÓN

*Señor Decano de la Facultad de Ingeniería: Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con la finalidad de optar al Título Profesional de Ingeniero Electricista, presentamos ante usted la tesis intitulada **“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO EN MEDIA TENSIÓN”**, trabajo de investigación en el cual se muestra que en la actualidad el sistema eléctrico de Puerto Maldonado presenta problemas generados por caídas de tensión y sobrecarga en los transformadores, en este sentido se realizó el **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PUERTO MALDONADO EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS”** con la finalidad de encontrar una o varias alternativas de solución a la problemática antes mencionada. Es así que la presente tesis contribuirá en futuros estudios para las empresas involucradas, como también para nuevos trabajos de investigación.*

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica.....**LA VOLUNTAD.***

*En los momentos de crisis, sola la imaginación es más importante que el conocimiento.*

*Locura es hacer la misma cosa una y otra vez esperando obtener diferentes resultados*

***Albert Einstein***

## DEDICATORIA

*Al mi hijo Joaquín el regalo maravilloso que Dios me dió, por convertirme en madre y por ser mi fortaleza para seguir adelante.*

*Nathaly Mary Espinoza Surco*

*Ala persona más fuerte, luchadora y valiente del mundo, una bendición un apoyo y protectora incondicional que Dios puso en mi vida, mi mamá.*

*Juan José Beltrán Palomino*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por haberme creado y regalarme cada día de mi vida, por ser mi refugio y luz en tiempos difíciles porque sin su gran bondad y amor no podría continuar.*

*A mis padre Jorge y Mary Luz, por brindarme su amor y apoyo incondicional, por su esfuerzo y sacrificio constante en pro de mi bienestar, por los valores que me inculcaron desde muy niña.*

*A mi único hermano Alvaro por ser mi compañero de juegos travesuras y riñas.*

*Al Ing. Yurin Palomino Cusipaucar, por sus valiosos consejos, porque siempre tuvo tiempo para darme palabras de aliento y guiarme en mi vida profesional.*

*A todos mis amigos que estuvieron presentes en los momentos inolvidables que viví en la Universidad..*

*Nathaly Mary Espinoza Surco*

*A Dios por haberme creado y regalarme cada día de mi vida.*

*A mis padre Juan y Cesaria, por brindarme su amor y apoyo incondicional, por su esfuerzo y sacrificio constante en pro de mi bienestar, por los valores que me inculcaron desde muy niño.*

*A mis hermanos Romel, Julio, Walter y Vicky por ser mis compañeros en esta vida que me tocó vivir de juegos, travesuras y riñas.*

*A mi familia en general una familia tan unida, mi tía Rosa, mi tía Dominga, mis cuñadas, mis sobrinos, mis tíos, tías, primos y primas, por todo el apoyo que me dieron durante mi formación.*

*A mi primo Efrain que nos dejó a muy temprana edad y que ahora nos cuida desde el cielo, prometo ser alguien de bien.*

*A todos mis amigos que estuvieron presentes en los momentos inolvidables que viví en la Universidad.*

*Juan Jose Beltran Palomino*

## PRESENTACIÓN

El desarrollo tecnológico se desenvuelve en una época en que los progresos se realizan cada vez más rápido y perceptible a los problemas de la humanidad. Ahora bien, en las industrias y empresas del sector eléctrico, se busca optimizar los procesos y servicios en pro de una excelente calidad de energía tendiendo a suministrar un mejor servicio. El término "*calidad de energía eléctrica*" se emplea para describir la variación de la tensión, corriente, y frecuencia en el sistema eléctrico.

En los últimos años la importancia dada a la calidad de la energía ha ido en aumento, debido a que cada día las cargas son más sensitivas a las variaciones de ciertos parámetros del suministro de energía eléctrica. En la actualidad se encuentran cargas tanto industriales, comerciales como residenciales, las cuales hacen uso intensivo de controladores basados en microprocesadores. Además de esto, cada día hay una presencia mayor de la electrónica de potencia, que se usa en distintas aplicaciones. Históricamente, la mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros. Sin embargo, en los últimos veinte años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos, no tan tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente.

En estos últimos años la ciudad de Puerto Maldonado, conectado a las redes de Electro Sur Este S.A.A. en un nivel de tensión de 138/10 kV., está recibiendo un incremento considerable de la demanda de energía eléctrica, pero en lo que respecta a ser confiable, suficiente y oportuno, el problema sigue existiendo.

Así mismo los sistemas eléctricos han sufrido un cambio cualitativo debido al desarrollo tecnológico y los programas de conservación y uso eficiente de la energía con el incremento de cargas no lineales contaminan los sistemas eléctricos con armónicos, produciendo una serie de problemas en la calidad de energía eléctrica suministrada, los que podemos identificar como:

1. Calentamiento adicional en las máquinas rotativas.
2. Parpadeo perceptible en los display de los equipos de cómputo y televisores.
3. Radiointerferencia en los sistemas de comunicación.

Por otro lado la incidencia energética en el desarrollo la ciudad de Puerto Maldonado se realiza con la finalidad de mejorar la calidad de servicio energético que brinda la empresa concesionaria, en este criterio se debe tener muy en cuenta el límite de cargabilidad de los alimentadores y sub estaciones.

***Los Autores***

## **RESUMEN**

Para una mejor comprensión de lo desarrollado en el presente trabajo, este se ha formulado cinco partes las que describimos a continuación.

En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, la formulación del mismo, hipótesis y los objetivos tanto generales como específicos que derivan del planteamiento del problema.

En el capítulo II, se desarrolla el fundamento teórico, en este capítulo se definen los conceptos teóricos, conceptos necesarios así como una breve descripción del Software utilizado como herramienta de cálculo para las proyecciones a futuro.

En el capítulo III, se realiza el diagnóstico actual del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado, identificando las características técnicas y operativas.

En el capítulo IV, en este capítulo se evalúa y analiza cómo es el comportamiento del sistema eléctrico en media tensión del Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado en sus niveles de tensión de 10.0 y 22.9 KV. (La evaluación será solo para los alimentadores de dichas barras) año a año desde el 2014 hasta el 2023, considerando las pérdidas y la demanda en diferentes periodos; tomando en cuenta la proyección de la demanda realizada por la Empresa Electro Sur este S.A.A. y con el empleo del Software DIGSILENT POWER FACTORY 15.1.6.

En el capítulo V, en este capítulo se hace un análisis de alternativas de solución y medidas a implementar, las cuales deben mejorar la Operación de Sistema Eléctrico Puerto Maldonado.

Finalmente, se da a conocer las conclusiones y recomendaciones, así como bibliografía utilizada y anexos

***Los Autores***

## INDICE

<b>LISTADO DE TABLAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. AMBITO GEOGRÁFICO.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	2
1.2.2 ACCESIBILIDAD .....	3
1.2.3 CARACTERISTICAS DE LOS ALIMENTADORES PM01, PM02, PM03, PM06 Y PM07. ....	3
<b>1.3. EL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
<b>1.4. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	5
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....</b>	<b>6</b>
<b>1.6. ALCANCES .....</b>	<b>6</b>
<b>1.7. LIMITACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>1.8. MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.9. MARCO CONTEXTUAL .....</b>	<b>7</b>
1.9.1 INTRODUCCION .....	7
1.9.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	7
1.9.3 DEFINICIONES BÁSICAS.....	10
<b>1.10. HIPOTESIS .....</b>	<b>11</b>
1.10.1 HIPOTESIS GENERAL .....	11
1.10.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS.....	11
<b>1.11. VARIABLES E INDICADORES.....</b>	<b>11</b>
<b>1.12. METODOLOGIA .....</b>	<b>11</b>
<b>1.13. POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>12</b>

<b>1.14.</b>	<b>TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.15.</b>	<b>PROCESAMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.16.</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>13</b>
<b>1.17.</b>	<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>13</b>
 <b>CAPITULO II.....</b>		 <b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>CONCEPTOS BASICOS.....</b>	<b>16</b>
2.1.1	DEFINICIONES .....	16
2.1.2	CALIDAD DE LA ENERGIA .....	17
2.1.2.1	CALIDAD .....	17
2.1.2.2	CALIDAD DEL PRODUCTO.....	18
2.1.3	TENSIÓN ELÉCTRICA.....	19
2.1.3.1	La Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos (setiembre 2010) - Título 5to, Calidad de Producto .....	21
2.1.4	FRECUENCIA.....	21
2.1.4.1	La Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos (setiembre 2010) - Título 5to, Calidad de Producto .....	22
2.1.5	PERTURBACIONES ELÉCTRICAS (Víctor Sánchez Huerta).....	23
2.1.5.1	TIPOS DE PERTURBACIONES .....	24
2.1.5.2	DESCRIPCIÓN DE LAS PERTURBACIONES .....	25
2.1.6	CALIDAD DE SUMINISTRO.....	30
2.1.7	INTERRUPCIONES EN EL SUMINISTRO .....	33
2.1.8	LINEA DE TRANSMISIÓN .....	35
2.1.8.1	PARAMETROS ELECTRICOS DE UN LINEA DE TRANSMISIÓN .....	35
2.1.9	RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	35
2.1.10	INDUCTANCIA .....	36
2.1.11	CAPACITANCIA .....	37
2.1.12	REPRESENTACIÓN DE LINEA .....	38
2.1.12.1	LINEAS DE TRANSMISIÓN CORTAS.....	39
2.1.12.2	LINEAS DE TRANSMISIÓN MEDIAS.....	39
2.1.13	TRANSFORMADOR.....	41
2.1.13.1	CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES .....	41
2.1.13.2	RENDIMIENTO DE UN TRANSFORMADOR .....	42
2.1.13.3	PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES.....	43
2.1.14	SISTEMAS FLEXIBLES DE TRANSMISION DE CORRIENTE ALTERNA (FACTS) .....	43
2.1.14.1	CLASIFICACIÓN DE LOS FACTS.....	44
2.1.14.2	COMPENSACIÓN SERIE .....	45
2.1.14.3	COMPENSACIÓN SHUNT O EN PARALELO .....	45
2.1.14.4	COMPENSACIÓN CAPACITIVA.....	46
2.1.14.5	COMPENSADOR ESTÁTICO DE REACTIVOS (SVS) .....	47
2.1.14.6	COMPENSADOR ESTÁTICO SINCRONO (STATCOM).....	48

<b>CAPITULO III.....</b>	<b>49</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	50
3.2 UBICACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....	50
3.3 CONFIGURACIÓN EXISTENTE DEL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONDO .....	52
3.3.1 CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA EN ESTUDIO.....	53
3.3.2 SUBESTACION ELÉCTRICAS COMPRENDIDA EN EL SISTEMA ELECTRICO .....	53
3.3.2.1 SUBESTACIÓN DE SUBTRANSMISION- “PUERTO MALDONADO” .....	54
3.1.1.1.1. BAHIAS DE LA SUBESTACIÓN DE PUERTO MALDONADO .....	55
3.1.1.1.2. SALIDAS DE LA SUBESTACIÓN DE PUERTO MALDONADO .....	56
3.1.1.1.2.1. SALIDA PM-01 .....	56
3.1.1.1.2.2. Salida PM-02 .....	57
3.1.1.1.2.3. SALIDA PM- 03 .....	58
3.1.1.1.2.4. SALIDA PM- 06 .....	59
3.1.1.1.2.5. SALIDA PM- 07 .....	59
3.1.2. LINEAS DE TRANSMISIÓN COMPRENDIDAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.....	60
3.1.2.1. LÍNEA DE TRANSMISIÓN SAN GABAN - MAZUKO – 138 kV.....	60
3.1.2.2. LÍNEA DE TRANSMISIÓN MAZUKO – PUERTO MALDONADO – 138 kV.....	61
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>63</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	64
4.2 CÁLCULO DE LA MÁXIMA DEMANDA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO .....	65
4.3 Proyección de la Máxima Demanda del SSE Puerto Maldonado periodo 2014 - 2022. ....	68
4.4 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2014. ....	69
4.5 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2015. ....	71
4.6 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2016. ....	73
4.7 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2017. ....	74
4.8 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2018. ....	76
4.9 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2019. ....	78
4.10 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2020. ....	81
4.10.1 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2020 compensado con banco de capacitores .....	83
4.10.2 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2020 compensado con SVS. ....	86

4.11	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2021. ....	88
4.11.1	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado Compensación Capacitiva para el año 2021.....	90
4.11.2	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado Compensación SVS para el año 2021. ....	92
4.12	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2022. ....	94
4.12.1	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación capacitiva para el año 2022. ....	96
4.12.2	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación SVS. para el año 2022. ....	98
4.13	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2023. ....	101
4.13.1	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación capacitiva para el año 2023. ....	103
4.13.2	Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación SVS para el año 2023. ....	105
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>108</b>
5.1	INTRODUCCIÓN .....	109
5.2	Propuestas de Alternativas de Solución para las Líneas del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado. ....	110
5.2.1	COMPENSACIÓN EN LA SET PUERTO MALDONADO. ....	110
5.2.1.1	COMPENSACIÓN CAPACITIVA. ....	110
5.2.1.2	COMPENSACIÓN ESTÁTICA DE REACTIVOS (SVS). ....	112
5.2.2	COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION. ....	115
5.2.3	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA. ....	117
5.3	RESULTADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPENSADORES Y DE NUEVOS TRANSFORMADORES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO. ....	118
5.3.1	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS. ....	118
5.3.1.1	RESULTADOS DEL FLUJO PARA LOS TRANSFORMADORES. ....	118
5.3.1.2	RESULTADOS DE CAIDAS DE TENSIÓN. ....	118
5.4	ALCANCE DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LOS DISPOSITIVOS FACTS EN EL SUB-SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO. ....	119
5.4.1	ECONÓMICO .....	119
5.4.2	TÉCNICOS .....	121
5.4.3	PUNTO DE INSTALACION .....	122

5.4.4 ALCANCE DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LOS TRANSFORMADORES EN EL SUBSISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.....	122
5.5 EVALUACION DE CAMBIO DE CONDUCTORES.....	122
CONCLUSIONES.....	123
RECOMENDACIONES.....	124
BIBLIOGRAFIA.....	125
ANEXOS.....	126

## LISTADO DE TABLAS

### CAPITULO I

TABLA N°1. 1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.....	3
TABLA N°1. 2: VARIABLES E INDICADORES.....	11

### CAPITULO II

TABLA N°2. 1: FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS TRANSFORMADORES .....	41
TABLA N°2. 2: CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.....	42

### CAPITULO III

TABLA N°3. 1: CARACTERÍSTICAS DE LA SALIDA EN MEDIA TENSIÓN PM 01 .....	57
TABLA N°3. 2: CARACTERÍSTICAS DE LA SALIDA EN MEDIA TENSIÓN PM 02 .....	57
TABLA N°3. 3: CARACTERÍSTICAS DE LA SALIDA EN MEDIA TENSIÓN PM 03 .....	58
TABLA N°3. 4: CARACTERÍSTICAS DE LA SALIDA EN MEDIA TENSIÓN PM 06 .....	59
TABLA N°3. 5: CARACTERÍSTICAS DE LA SALIDA EN MEDIA TENSIÓN PM 07 .....	59

### CAPITULO IV

TABLA N°4. 1: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2013- SEP- PUERTO MALDONADO 10.0 – 22.9 KV .....	66
TABLA N°4. 2: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS DEL SUB SISTEMA ELÉCTRICO (SSE).....	66
TABLA N°4. 3: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA PROYECTADA PARA ALIMENTADORES DEL MERCADO REGULADO - PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. 2012-2230 .....	68
TABLA N°4. 4: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2014 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	70
TABLA N°4. 5 PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	70
TABLA N°4. 6: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2015 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	72
TABLA N°4. 7: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	72
TABLA N°4. 8: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2016 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	74
TABLA N°4. 9: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	74
TABLA N°4. 10: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2017 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	76
TABLA N°4. 11: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	76
TABLA N°4. 12: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2018 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	78
TABLA N°4. 13: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	78
TABLA N°4. 14: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2019 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	80
TABLA N°4. 15: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	80
TABLA N°4. 16: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2020 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	82
TABLA N°4. 17: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	82
TABLA N°4. 18: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2020 CON BANCO DE CAPACITORES - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV .....	85
TABLA N°4. 19: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES.....	85

TABLA N°4. 20: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2020 CON BANCO DE CAPACITORES - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P].....	85
TABLA N°4. 21: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2020 CON COMPENSACIÓN SVS - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV .....	87
TABLA N°4. 22: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	87
TABLA N°4. 23: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2020 CON COMPENSACIÓN SVS - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P] .....	87
TABLA N°4. 24: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2021 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	89
TABLA N°4. 25: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	89
TABLA N°4. 26: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2021 COMPENSACIÓN CAPACITIVA - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV .....	91
TABLA N°4. 27: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	91
TABLA N°4. 28: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2021 CON BANCO DE CAPACITORES - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P].V .....	91
TABLA N°4. 29: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2021 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	93
TABLA N°4. 30: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2021 CON COMPENSACIÓN SVS - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P] .....	93
TABLA N°4. 31: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2022 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	95
TABLA N°4. 32: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	95
TABLA N°4. 33: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2022 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	97
TABLA N°4. 34: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	97
TABLA N°4. 35: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2022 CON BANCO DE CAPACITORES - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P].....	97
TABLA N°4. 36: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2022 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	99
TABLA N°4. 37: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	99
TABLA N°4. 38: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2022 CON COMPENSACIÓN SVS - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P] .....	100
TABLA N°4. 39: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2023 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	102
TABLA N°4. 40: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	102
TABLA N°4. 41: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2023 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	104
TABLA N°4. 42: PERFIL DE TENSIONES EN LAS BARRAS.....	104
TABLA N°4. 43: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2022 CON BANCO DE CAPACITORES - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P].....	104
TABLA N°4. 44: MÁXIMA DEMANDA DE POTENCIA POR ALIMENTADORES AÑO 2023 - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV.....	106
TABLA N°4. 45: TENSIONES EN LAS BARRAS.....	106
TABLA N°4. 46: COMPARATIVO DE CAÍDA DE TENSIONES POR ALIMENTADORES AÑO 2022 CON COMPENSACIÓN SVS - SEP-PUERTO MALDONADO 10.0 -22.9 KV. [E.P] .....	106

## **CAPITULO V**

TABLA N°5. 1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO EN EL HORIZONTE DE ESTUDIO.....	109
TABLA N°5. 2: CAIDA DE TENSIÓN CON COMPENSACIÓN CAPACITIVA. 2020.....	112
TABLA N°5. 3: CAIDA DE TENSIÓN CON COMPENSACIÓN ESTÁTICO DE REACTIVOS. 2022 PERFIL DE TENSIÓN CON SVS 2020 .....	115
TABLA N°5. 4: CUADRO COMPARATIVO DE COMPENSACION CAPACITIVA Y SVS DEL 2020 AL 2023 PERFIL DE TENSIONES 2020 .....	116
TABLA N°5. 5: CUADRO COMPARATIVO DE COMPENSACION CAPATIVA Y SVS DEL 2023 AL 2023 .....	116
TABLA N°5. 6: COMPARACION DE LOS FACTS .....	117
TABLA N°5. 7: : RESULTADOS DE FLUJO DE POTENCIA PARA TRANSFORMADORES 2023 .....	118
TABLA N°5. 8: PERFILES DE TENSION DEL SISTEMA PUERTO MALDONADO .....	119
TABLA N°5. 9: COSTOS DE LOS TRANSFORMADORES A IMPLEMENTAR .....	122

## LISTADO DE FIGURAS

### CAPITULO I

FIGURA N°1. 1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA S.E. PUERTO MALDONADO .....	3
FIGURA N°1. 2: DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PUERTO MALDONADO .....	5
FIGURA N°1. 3: PROCESO DE INVESTIGACIÓN.....	12

### CAPITULO II

FIGURA N°2. 1 DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DE LA RED ELÉCTRICA Y LA CONEXIÓN CON USUARIOS.....	24
FIGURA N°2. 2: (A) RUIDO ELÉCTRICO PRESENTE EN LA SEÑAL SENOIDAL PROPORCIONADA POR LA RED ELÉCTRICA, (B) IMPULSO ELÉCTRICO. ....	26
FIGURA N°2. 3: A). VARIACIÓN LENTA DE TENSIÓN .....	26
FIGURA N°2. 4: B) VARIACIÓN RÁPIDA DE TENSIÓN .....	27
FIGURA N°2. 5: VARIACIÓN RÁPIDA DE TENSIÓN.....	27
FIGURA N°2. 6: MICROCORTE DE TENSIÓN. ....	28
FIGURA N°2. 7: CORTE LARGO DE TENSIÓN. ....	29
FIGURA N°2. 8: FORMA DE ONDA DE TENSIÓN CON GRAN DISTORSIÓN ARMÓNICA.....	29
FIGURA N°2. 9: FORMA DE ONDA DE TENSIÓN CON VARIACIÓN DE FRECUENCIA.....	30
FIGURA N°2. 10: REPRESENTACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA .....	39
FIGURA N°2. 11: CIRCUITO II NOMINAL.....	40
FIGURA N°2. 12: CIRCUITO T NOMINAL .....	40
FIGURA N°2. 13: TIPOS DE FACTS .....	44
FIGURA N°2. 14: TIPOS DE COMPENSADORES SHUNT .....	45
FIGURA N°2. 15: TRIANGULO DE POTENCIAS.....	46
FIGURA N°2. 16: COMPENSADOR SVS .....	47
FIGURA N°2. 17: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE STATCOM .....	48

### CAPITULO III

FIGURA N°3. 1: UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	51
FIGURA N°3. 2: UBICACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.....	52
FIGURA N°3. 3: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.....	53
FIGURA N°3. 4: SALIDAS DE LA SUBESTACIÓN DE PUERTO MALDONADO .....	54
FIGURA N°3. 5: VISTA PANORÁMICA SUB ESTACIÓN PUERTO MALDONADO .....	56

### CAPITULO IV

FIGURA N°4. 1: DESCRIPCIÓN DE CUADROS UTILIZADOS.....	65
FIGURA N°4. 2: SISTEMA ELÉCTRICO DE PUERTO MALDONADO.....	67
FIGURA N°4. 3: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2014 .....	69
FIGURA N°4. 4: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2015 .....	71
FIGURA N°4. 5: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2016 .....	73
FIGURA N°4. 6: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2017 .....	75
FIGURA N°4. 7: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2018 .....	77
FIGURA N°4. 8: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2019 .....	79
FIGURA N°4. 9: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020 .....	81
FIGURA N°4. 10: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES.....	84

FIGURA N°4. 11: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON SVS.....	86
FIGURA N°4. 12: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2021 .....	88
FIGURA N°4. 13: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2021 COMPENSACIÓN CAPACITIVA. ....	90
FIGURA N°4. 14: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2021 COMPENSACIÓN SVS.....	92
FIGURA N°4. 15: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2022 .....	94
FIGURA N°4. 16: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO COMPENSACIÓN CAPACITIVA AÑO 2022 .....	96
FIGURA N°4. 17: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO COMPENSACIÓN SVS AÑO 2022.....	98
FIGURA N°4. 18: FIGURA N°4.: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2023 .....	101
FIGURA N°4. 19: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2023 COMPENSACIÓN CAPACITIVA .....	103
FIGURA N°4. 20: SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO COMPENSACIÓN SVS AÑO 2023.....	105

## CAPITULO V

FIGURA N°5. 1: IMPLEMENTACIÓN DE COMPENSACIÓN CAPACITIVA.....	111
FIGURA N°5. 2: IMPLEMENTACIÓN DE COMPENSACIÓN ESTÁTICO DE REACTIVOS (SVS) .....	114
FIGURA N°5. 3: COSTO DE INVERSIÓN TÍPICO GLOBAL PARA UN SVS Y STATCOM.....	120
FIGURA N°5. 4: COSTO DE INVERSIÓN TÍPICO GLOBAL PARA UN CAPACITIVO.....	121

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

A	:	Amperio
AAAC	:	Conductor de Aleación de Aluminio
BT	:	Baja tensión
CA	:	Corriente Alterna
CD	:	Corriente Directa
DGE	:	Dirección General de Electricidad
DM	:	Demanda Máxima
EGEMSA	:	Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.
ELSE	:	Electro Sur Este S.A.A.
F	:	Frecuencia
FP, fdp	:	Factor de potencia
kV	:	Kilo Voltios
kW	:	Kilo Watt
kVA	:	Kilo Voltios□Amperios
kVAR	:	Kilo Volt Amperio Reactivo
Load	:	Cargabilidad
L.T.	:	Línea de Transmisión
PI	:	Potencia Instalada
MT	:	Media tensión
MVA	:	Mega volt Amperios
MVAR	:	Mega volt Amperios Reactivos
MW	:	Mega Watt
ONAN	:	Oil Natural Air Natural - Aceite y aire no forzados
ONAF	:	Oil Natural Air Forced - Aceite no forzado y aire forzado
m.s.n.m	:	Metros sobre el nivel del mar
RV	:	Regulador de tensión
SE	:	Sub Estación
SED	:	Subestación de distribución
SET	:	Subestación de Transformación

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

## 1.1. GENERALIDADES

El sistema eléctrico de Puerto Maldonado localizado en el Departamento de Madre de Dios, abastece a la ciudad del mismo nombre, desde su implementación e inicio de operaciones desde el año 2008, ha sido reemplazo de la generación térmica al sistema interconectado siendo la línea de transmisión San Gabán - Mazuko - Puerto Maldonado en 138 kV. Para luego llegar a la sub Estación de Puerto Maldonado 138/22.9/10 kV.

El Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado está constituido por dos subestaciones transformadoras las cuales se encuentran en diferentes lugares dentro de la ciudad de Puerto Maldonado, suministrando energía con tensiones de 10 y 22.9 kV. Las cuales son repartidas para el sector urbano y para el sector rural respectivamente, actualmente existe un crecimiento de demanda eléctrica, las cuales se encuentran distribuidas en toda la jurisdicción de Puerto Maldonado, en ese entender y con intención de analizar el comportamiento de las redes en cuanto al crecimiento de demanda hacia el año 2022 se realiza este trabajo intitulado “MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO EN MEDIA TENSION”. Una vez obtenido el estudio del caso se podrá proponer alternativas de solución para mejorar la calidad en el suministro de energía.

## 1.2. AMBITO GEOGRÁFICO

El estudio del presente trabajo se desarrolla en los alimentadores PM01 hasta PM07, los cuales están ubicados en la ciudad de Puerto Maldonado dentro de la zona de concesión de Electro Sur Este S.A.A.

### 1.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio se ubica dentro de las coordenadas

- Departamento : Madre de Dios
- Temperatura promedio : 28 (°C)
- Altitud : 139.00 msnm.
- Latitud Sur : 12.587417°
- Longitud Oeste : 69.218822°

**Figura N°1. 1 Ubicación Geográfica de la S.E. Puerto Maldonado**



Fuente: Google Maps. [E.P.]

### 1.2.2 ACCESIBILIDAD

El acceso a la zona de estudio se realiza por la carretera interoceánica, tramo Cusco - Puerto Maldonado, por vía aérea y pluvial a través del río Madre de Dios.

### 1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ALIMENTADORES PM01, PM02, PM03, PM06 Y PM07.

Entre las características técnicas de la red podemos mostrar las extraídas según el SIEG (Sistema de Información Eléctrico Geo referenciada):

**Tabla N°1. 1 Características del Sistema**

CODIGO TEC -	CODIGO ALIMENTADOR	CODIGO TECNICO MT	NOMBRE ALIMENTADOR MT	CODIGO SISTEMA ELÉCTRICO	CODIGO SECTOR TIPO	NOMBRE SISTEMA ELECT	TENSION MT- kv
PM	ESE200AMT00C	PM01	PM01	SE0034	2	PUERTO MALDONADO	10
PM	ESE200AMT00C	PM02	ALAMEDA 02	SE0034	2	PUERTO MALDONADO	10
PM	ESE200AMT00C	PM03	PM03	SE0034	2	PUERTO MALDONADO	10
PM	ESE200AMT00C	PM06	Maldonado - Florida Alta	SE0034	2	PUERTO MALDONADO	22.9
PM	ESE200AMT00C	PM07	Maldonado - Villarocio	SE0034	2	PUERTO MALDONADO	22.9

Fuente: Electro Sur Este S.A.A. [E.P.]

### 1.3. EL PROBLEMA

#### 1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Proporcionar alternativas tecnológicas que permitan mejorar los niveles de Calidad de Servicio minimizando las inversiones asociadas a los sistemas de transmisión y distribución es siempre una buena decisión. En términos generales, al implementar proyectos lo que se busca es mejorar la calidad de energía (contar de forma ininterrumpida con energía eléctrica de adecuados valores de voltaje, corriente y frecuencia, entre otros). Es por este motivo disponer de una herramienta de programación que permita determinar la localización y optimizar la capacidad y tecnología a ser implementada en un proyecto de instalación de una red de distribución, resulta de gran provecho a la hora de ofrecer soluciones eficientes a los problemas de confiabilidad en la prestación del servicio eléctrico.

Son numerosos los trabajos que reseñan los efectos de la Calidad de Servicio de los sistemas de distribución; sin embargo, resulta de vital importancia determinar de manera óptima la localización, capacidad y tecnología a ser instalada ya que de estos factores dependerá el monto de la inversión que deberá acometerse.

Por otro lado el constante incremento de demanda, en los últimos años, debido a la expansión o crecimiento demográfico ha hecho que la empresa concesionaria tenga muchos inconvenientes en cuanto a la calidad de servicio eléctrico por los constantes cortes e interrupciones debido al incremento de la demanda residencial, comercial e industrial.

En consecuencia es necesario diagnosticar y evaluar las redes en media tensión para proponer alternativas de solución y dotar de mejor calidad de energía eléctrica a la ciudad de Puerto Maldonado

#### 1.3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

***¿La calidad del producto y del suministro en los alimentadores de la ciudad de Puerto Maldonado no satisface a las exigencias de la normativa del sector previéndose en el futuro mayores deficiencias con el incremento del consumo de energía?***

## 1.4. OBJETIVOS

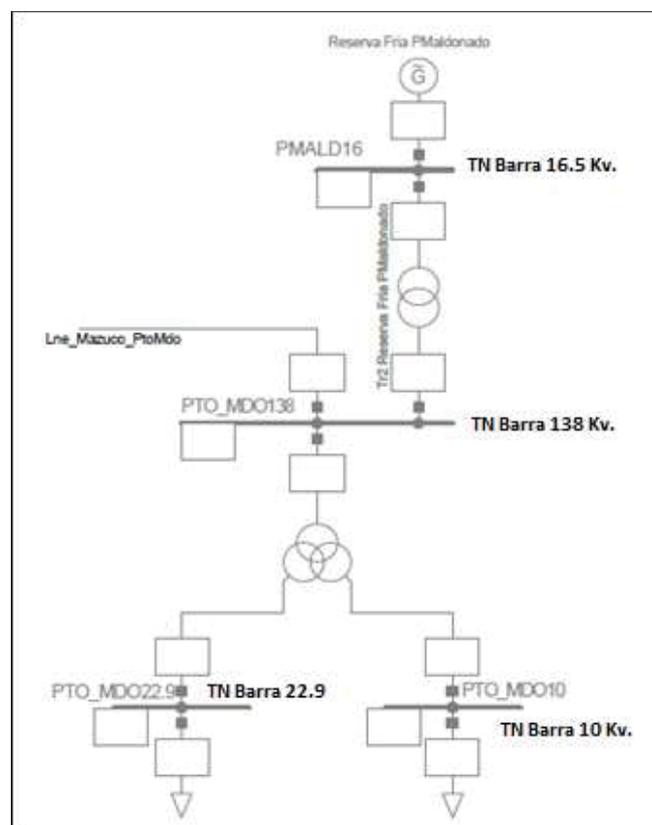
### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diagnóstico de calidad de energía, de los niveles de tensión en la subestación alimentadora de la ciudad de Puerto Maldonado de acuerdo al crecimiento de las futuras demandas eléctricas, adecuado a la Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos.

### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar la operación de los alimentadores PM01- PM02- PM03- PM06- PM07.
- Proponer alternativas de solución para mejorar los indicadores de calidad de tensión en las redes de Puerto Maldonado.
- Formular una propuesta para el mejoramiento del suministro de energía en los alimentadores PM01- PM02- PM03- PM06- PM07 seleccionando la alternativa técnico – económica más conveniente.

**Figura N°1. 2: Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado**



Fuente: COES. [<http://www.coes.org.pe/>]

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.**

La ley de concesiones eléctricas decreto ley N° 25844 promulgada en el mes de noviembre de 1992 y su reglamento aprobado en el mes de febrero de 1993, establecieron que una empresa concesionaria no podía desarrollar más de una actividad eléctrica, salvo los casos en que la misma ley lo permitiese; de esta forma se inauguró una nueva concepción en el negocio de la industria eléctrica peruana, cada concesionario al ser titular sólo de una actividad obtendría mejores resultados. Con este marco normativo se impulsó en el país una real promoción de las inversiones en el sector de transmisión, distribución y generación eléctrica peruana, propiciando que las inversiones den un nuevo impulso a la competitividad.

La realización del presente estudio se sustenta en el criterio de ofrecer un mejor suministro de energía de los alimentadores de la SS.EE de Puerto Maldonado, para un escenario actual y futuro cumpliendo con La Norma Técnica De Calidad De Servicios Eléctricos (NTCSE) y el Código Nacional De Electricidad (CNE) en lo referente a las perturbaciones permisibles en la forma de onda de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica.

### **1.6. ALCANCES**

El Programa de Obras del COES considera una proyección de la demanda, en obras de generación y transmisión del año 2010 al 2016, la empresa concesionaria ELSE S.A.A. tiene que ir reportando mensualmente al COES las variaciones de incremento de carga, para poder mantener el nivel de energía requerido bajo consideraciones de la norma técnica de calidad de servicios eléctrico.

Por tanto el estudio abarca la evaluación de los alimentadores de la ciudad de Puerto Maldonado mediante procesos de simulación para poder determinar su condición y comportamiento en una proyección de demanda futura la cual asegure la continuidad de servicio y calidad de energía eléctrica.

### **1.7. LIMITACIONES**

La presente tesis de investigación enfoca el diagnóstico de la calidad de suministro en la región Madre de Dios en las tres barras de distribución de la subestación de Puerto Maldonado (PTO\_MDO138, PTO\_MDO22.9 y PTO\_MDO10).

Sabiendo, que un análisis de la calidad de suministro de energía eléctrica contempla diversos aspectos a ser analizados como son: transitorios, interrupciones, bajada de tensión (subtensión), aumento de tensión (sobretensión), distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de frecuencia. De esta forma el presente trabajo se enfoca en el diagnóstico de la calidad de tensión, así dentro de la calidad de tensión serán analizados las transgresiones a la Norma Técnica de Calidad De Los Servicios Eléctricos y su Reglamento [4].

## **1.8. MARCO NORMATIVO**

Normas Eléctricas Internacionales y Nacionales y que se encuentre sustentado según el caso:

- ANSI American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) ANSI c84.1-2011.
- ASTM American Society for Testing Materials
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
- NEMA National Electrical Manufacturers Association (ANSI c84.1-2011).
- CNE Código Nacional de Electricidad del Perú.

## **1.9. MARCO CONTEXTUAL**

### **1.9.1 INTRODUCCION**

La calidad de producto eléctrico, a veces llamada también calidad de la tensión abarca una variedad de perturbaciones en un sistema de potencia y está determinada principalmente por la calidad de la onda de tensión.

Los fenómenos eléctricos o perturbaciones que afectan la calidad de la tensión son: variaciones en la frecuencia, las fluctuaciones en la magnitud de voltaje, variaciones de tensión de corta-duración (huecos, incrementos cortos e interrupciones cortas), variaciones de tensión de larga duración (sub o sobre tensiones), transitorios (sobretensiones transitorias), distorsión de la forma de onda (armónicos), etc.

### **1.9.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

Para lograr realizar un estudio que permita proyectar una simulación a futuras demandas se tuvo que trabajar en base a las experiencias de los trabajos de tesis formulados anteriormente en la carrera profesional siendo estas:

- **TITULO: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO APURÍMAC EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS.”**

**Autores** : Br. Jimmy Guerrero Garcés  
Br. Fredy Quispe Huillcas

**Fecha** : 2012

**Objetivos generales:**

Analizar y evaluar el Sistema Eléctrico Apurímac para determinar su situación operativa en cuanto a las caídas de tensión en las líneas y sobrecarga de transformadores para luego seleccionar la alternativa solución en un horizonte de 10 años.

**Conclusiones:**

Analizar y evaluar el Sistema Eléctrico Apurímac para determinar su situación operativa en cuanto a las caídas de tensión en las líneas y sobrecarga de transformadores para luego seleccionar la alternativa solución en un horizonte de 10 años.

- **TITULO: “CONFIABILIDAD DE REDES DE DISTRIBUCION PRIMARIA - APLICADO A LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA RED DE DISTRIBUCION PRIMARIA DE LA CIUDAD DEL CUSCO.”**

**Autor** : Br. GLORIA MERCEDES MONROY VILLA

**Fecha** : 2009

**Objetivos generales:**

Realizar un estudio de Confiabilidad de los alimentadores primarios de la Red de Distribución Primaria del Sub Sistema de Distribución Primaria de la Ciudad del Cusco utilizando el método probabilístico de simulación de Montecarlo para calcular índices de Confiabilidad

**Conclusiones:**

Se recomienda realizar estudios e implementar modelos de confiabilidad basados en análisis de modos y efectos de fallas, los cuales serán más específicos para un sistema de distribución.

De los resultados obtenidos de la simulación, se recomienda realizar estudios de rediseño de redes en los alimentadores DO-07, QU-01, QU-05 ya que estos poseen los más altos índices de indisponibilidad.

Para una mejor evaluación de confiabilidad por el método de simulación Montecarlo se recomienda realizar trabajos futuros modelando el sistema a nivel de componente de esa manera se obtendrá mayor certeza de la indisponibilidad y disponibilidad de los elementos en un sistema eléctrico de distribución.

- **TITULO: “METODOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO DE OPERACIÓN EN REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION APOYADOS DE: SISTEMA INTEGRADO GEOREFERENCIADO (GIS), ADQUISICION DE DATOS (SCADA) Y CALCULOS ELECTRICOS (NEPLAN)”**

**Autores** :Br. MARXLEMAO WILFREDO MESCCO PUMASUPA  
Br. MARCO MARIN CHALLCO

**Fecha** : 2008

**Objetivos Generales:**

Plantear un método de análisis para el mejoramiento de operaciones en redes eléctricas de distribución, con el apoyo de herramientas informáticas tales como los Sistemas Geográficos de Información (GIS), cálculos eléctricos (NEPLAN) y herramientas de Telecomunicaciones (SCADA) usados para la adquisición de datos en tiempo real.

Las redes eléctricas serán modeladas a partir de los datos adquiridos del SCADA y la configuración topológica en el GIS, después ser calculadas por el NEPLAN.

**Conclusiones:**

1. La metodología de integración de datos GIS SCADA y Cálculos Eléctricos Neplan logra mejorar la operación de las redes de distribución eléctrica, en el tiempo más rápido posible en condiciones normales de operación y en contingencia monitoreándose así de acuerdo al comportamiento actual del Sistema Eléctrico.
2. Luego del modelamiento exacto de las Redes equivalentes, Líneas, Transformadores de cada uno de los elementos se demuestra la importancia que tienen para obtener resultados de flujo de potencia reales.
3. En el modelamiento y cálculo de las cargas se demostró que la potencia en máxima demanda por subestación está en función del consumo de energía promedio por

Subestación, tal es así que la potencia activa y reactiva se calculan a partir del Factor de Carga y Factor de potencia.

### 1.9.3 DEFINICIONES BÁSICAS

**Sistema Eléctrico.-** Circuito o conjunto de circuitos eléctricos interconectados constituido para atender a un determinado objetivo.

**Sistema Eléctrico de Potencia .-** Conjunto ordenado de elementos y medios físicos que comprendan la generación, transmisión y/o distribución de energía eléctrica, y que conectados y operados como una unidad integral bajo un solo control o supervisión, permiten la prestación del servicio eléctrico.

**Red.-** Todas las instalaciones y plantas cuya finalidad sea generar, transmitir, y distribuir la electricidad.

**Red de Energía Eléctrica.-** Instalaciones, subestaciones, líneas o cables para la transmisión, y distribución de la electricidad.

**Sub Sistema de Transmisión.-** Es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada a altas tensiones por un sistema de generación, generalmente a grandes distancias, hasta su entrega a un subsistema de Subtransmisión, sistema de distribución y/o a uno o más usuarios, abarca tanto las redes como las subestaciones intermedias y/o finales de transformación.

**Sub Sistema de Subtransmisión.-** Es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada por un sistema de generación y eventualmente un subsistema de transmisión a un sistema de distribución y/o a uno o más usuarios y abarca tanto las redes como las subestaciones intermedias y/o finales de transformación.

**Carga.-** Cantidad de potencia dada o recibida en un punto sobre un intervalo de tiempo. Este puede aplicarse a un sistema, parte del sistema, consumidor individual o conjunto de consumidores.

**Carga Conectada.-** La suma de la medida continua de potencia eléctrica consumida por los aparatos conectados a un sistema, parte de un sistema o consumidores.

**Carga Contratada.-** Valor convenido entre el suscriptor y la empresa con respecto a la potencia que debe suministrar esta.

**Curva de Carga.-** Es la representación gráfica de la variación de la carga en un periodo de tiempo determinado (día, mes, año).

**Sub Estación Eléctrica.-** Parte de una red eléctrica, limitada a un área dada, incluyendo principalmente terminales de las líneas de transmisión o distribución (equipos de maniobra y control), edificaciones y transformadores. Una estación generalmente incluye dispositivos de seguridad y control (por ejemplo, protección).

## 1.10. HIPOTESIS

### 1.10.1 HIPOTESIS GENERAL

El mejoramiento de la calidad de la energía de los niveles de tensión en los alimentadores de la ciudad de Puerto Maldonado, según exigencia normativa de la calidad si contribuirá a la satisfacción de los clientes de la empresa concesionaria.

### 1.10.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- Con el diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico de la ciudad de Puerto Maldonado, se podrá formular una propuesta de mejora de la calidad de la energía.
- Las alternativas para la mejora de la calidad la energía son viables y contribuirán en el mejoramiento de nivel y calidad de vida

## 1.11. VARIABLES E INDICADORES

**Tabla N°1. 2: Variables e Indicadores**

VARIABLES	INDICADORES
• Demanda de energía (Kw)	Índice de consumo
	Proyección de la demanda
• Calidad del producto	Calidad de la onda de tensión.

[E.P.]

## 1.12. METODOLOGIA

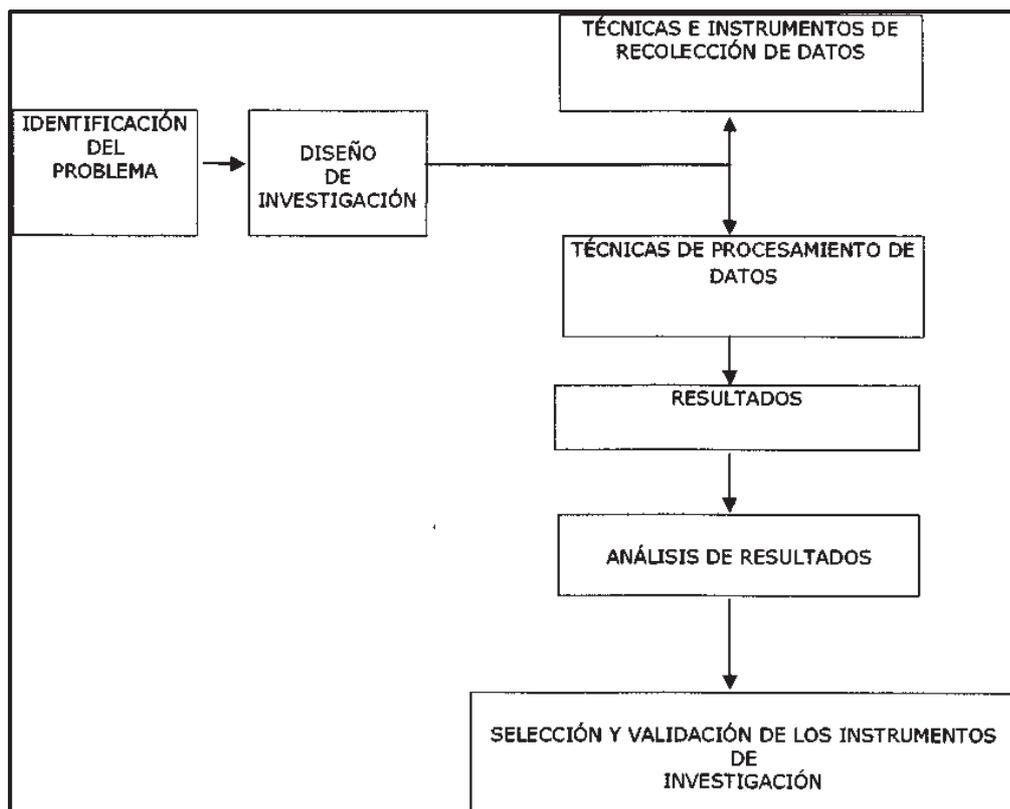
El método optado para dicho estudio será una: investigación descriptiva, **DESCRIPTIVA:** Su preocupación primordial radica en describir algunas

características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento.

### TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de investigación es el cuantitativo, del tipo descriptivo, en el que se aplica el método experimental porque se evaluarán diversas alternativas lo cual significa operacionalizar las variables mediante la simulación, de corte transversal ya que se circunscribe a un periodo de tiempo definido, porque se orienta a resolver problemas y hechos reales, en tal sentido, está orientada a describir una realidad, en el que se aplican principios y leyes generales que permiten validar una teoría científica.

**Figura N°1. 3: Proceso de Investigación**



Fuente: Luis Felipe Miranda, Esperanza Medina- Investigando Ingeniería (1998)

### 1.13. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se tomó como datos de referencia las lecturas de los analizadores de redes de cada una de los alimentadores del sistema eléctrico de Puerto Maldonado (**Información**

proporcionada por parte la Empresa Electro Sur Este S.A.A.) y de esta manera hacer el análisis correspondiente para desarrollar el diagnóstico la calidad de la energía de los niveles de tensión eléctrica. Si bien los costos de evaluación de considerar a todo el universo son altos, la naturaleza de la problemática requiere de acciones a corto plazo para obtener resultados satisfactorios en la Sub Estación de Puerto Maldonado.

#### **1.14. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de la información para el análisis de la calidad de la energía de los niveles de tensión eléctrica se realizó mediante el software ALPHASET 28 e ION SETUP.

En esta parte de la investigación, se conseguirá diferentes artículos y publicaciones relacionados al tema de tesis (libros, tesis, estudios de demanda (ELSE SAA), páginas web, etc.) obtenidos a través de analizadores de redes, páginas de internet, entre otros.

#### **1.15. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Se realiza un procesamiento adecuado de la información tanto documental como computarizada de los datos, mediante programas comerciales como:

- Hojas de Cálculo de Microsoft Office Excel.
- Microsoft Office Word.

#### **1.16. ANALISIS DE DATOS**

El enfoque será aprovechar las facilidades que nos proporcionan el avance de la tecnología con respecto al procesamiento de datos.

Los paquetes o software que se utilizaran en esta parte serán:

- Software DIGSILENT 15.0.1
- Arcgis 10.2
- Microsoft office 2013.

#### **1.17. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PLANTEAMIENTO O DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	HIPÓTESIS	METODO	RESULTADOS ESPERADOS	CONCLUSIONES
<p>a. Objetivo general</p> <p>Desarrollar el diagnóstico de calidad de energía, de los niveles de tensión en la subestación alimentadora de la ciudad de Puerto Maldonado de acuerdo al crecimiento de las futuras demandas eléctricas, adecuado a la Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos.</p> <p>b..Objetivo específico</p> <p>✓ Diagnosticar la operación de los alimentadores PM01- PM02- PM03- PM06- PM07.</p> <p>✓ Proponer alternativas de solución para mejorar los indicadores de calidad de tensión en las redes de Puerto Maldonado.</p> <p>✓ Formular una propuesta para el mejoramiento del suministro de energía en los alimentadores PM01- PM02- PM03- PM06- PM07 seleccionando la alternativa técnica – económica más conveniente.</p>	<p>c. Variables Independientes</p> <p>Demanda de energía(Kw)</p> <p>Calidad del producto</p> <p>d. Indicadores</p> <p>Índice de consumo, proyección de la demanda.</p> <p>Calidad de la onda de tensión.</p>	<p>e. Hipótesis general</p> <p>El mejoramiento de la calidad de la energía de los niveles de tensión en los alimentadores de la ciudad de Puerto Maldonado, según exigencia normativa de la calidad si contribuirá a la satisfacción de los clientes de la empresa concesionaria.</p> <p>f. Hipótesis específicas</p> <p>Con el diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico de la ciudad de Puerto Maldonado, se podrá formular una propuesta de mejora de la calidad de la energía.</p> <p>Las alternativas para la mejora de la calidad la energía son viables y contribuirán en el mejoramiento de nivel y calidad de vida</p>	<p>El método optado para dicho estudio será una: investigación descriptiva, DESCRIPTIVA: Su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento.</p>	<p>La realización del estudio de proyecto de investigación es motivado por los siguientes aspectos:</p> <p>El presente trabajo, propone el estudio de los alimentadores PM-01, PM-02, PM-03, PM-05 y PM-07 de la línea Iberia – Puerto Maldonado</p> <p>Cuyo estudio será pronosticado para el escenario de los años 2012-2022</p>	<p>Al proyectar las demandas de consumo en cada barra del Sistema Eléctrico de puerto Maldonado se muestra un incremento en la caída de tensión en los años próximos que superan los parámetros mínimos de caída, visualizando un escenario hasta el año en estudio 2023 se presentan niveles de caída de tensión de un 7% en los alimentadores PM-01, PM-02 Y PM-03 y de un 9% en los alimentadores PM-6 y PM-07, así mismo tienen una caída de 6% , en la barra Pto Maldonado 138 kV.</p> <p>Los medios por los cuales se pueden corregir las caídas de tensión son los bancos de capacitores de 4 Mvar para reducir los niveles de tensión hasta niveles permisibles de caídas de tensión y también sistemas SVS de 2Mvar.</p> <p>Mediante la simulación proyectado al 2023 del Sistema Eléctrico de puerto Maldonado en sus redes de media tensión de acuerdo a los resultados obtenidos, se prevé una caída de tensión en la barra Pto Maldonado 138 kV presenta de 1.5%, en los alimentadores PM-01, PM-02 Y PM-03 una caída tensión de 2% y en los alimentadores PM-6 y PM-07 tienen una caída del orden del 3%.</p> <p>La mejor alternativa para lograr reducir la caída de tensión a niveles permisibles son los bancos de capacitores dados que la inversión económica que necesitaría sería mucho menor a la de sistemas SVS.</p>	

## CAPITULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

## 2.1 INTRODUCCION

Para hacer un Análisis y Evaluación del sistema eléctrico Puerto Maldonado es importante tener una base teórica en: Sistemas eléctricos de potencia, líneas de transmisión, sistemas de distribución, y otras áreas referidas a la calidad de la energía eléctrica.

Las características que adoptan estos proyectos dependen por un lado del tipo de sistema eléctrico que se esté intentando modelar y por otro lado, de la representación que se haga a cada uno de los elementos que lo forman. Estos factores, junto a la necesidad de contar con soluciones lo más factibles posibles, han restringido el tipo de metodologías que pueden ser utilizadas para resolver este tipo de problemas.

## 2.2 CONCEPTOS BASICOS

### 2.1.1 DEFINICIONES

**Sistema Eléctrico.-** Circuito o conjunto de circuitos eléctricos interconectados constituido para atender a un determinado objetivo.

**Sistema Eléctrico de Potencia .-** Conjunto ordenado de elementos y medios físicos que comprendan la generación, transmisión y/o distribución de energía eléctrica, y que conectados y operados como una unidad integral bajo un solo control o supervisión, permiten la prestación del servicio eléctrico.

**Red.-** Todas las instalaciones y plantas cuya finalidad sea generar, transmitir, y distribuir la electricidad.

**Red de Energía Eléctrica.-** Instalaciones, subestaciones, líneas o cables para la transmisión, y distribución de la electricidad.

**Sub Sistema de Transmisión.-** Es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada a altas tensiones por un sistema de generación, generalmente a grandes distancias, hasta su entrega a un subsistema de Subtransmisión, sistema de distribución y/o a uno o más usuarios, abarca tanto las redes como las subestaciones intermedias y/o finales de transformación.

**Sub Sistema de Subtransmisión.-** Es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada por un sistema de generación y eventualmente un subsistema

de transmisión a un sistema de distribución y/o a uno o más usuarios y abarca tanto las redes como las subestaciones intermedias y/o finales de transformación.

**Carga.-** Cantidad de potencia dada o recibida en un punto sobre un intervalo de tiempo. Este puede aplicarse a un sistema, parte del sistema, consumidor individual o conjunto de consumidores.

**Carga Conectada.-** La suma de la medida continua de potencia eléctrica consumida por los aparatos conectados a un sistema, parte de un sistema o consumidores.

**Carga Contratada.-** Valor convenido entre el suscriptor y la empresa con respecto a la potencia que debe suministrar esta.

**Curva de Carga.-** Es la representación gráfica de la variación de la carga en un periodo de tiempo determinado (día, mes, año).

**Sub Estación Eléctrica.-** Parte de una red eléctrica, limitada a un área dada, incluyendo principalmente terminales de las líneas de transmisión o distribución (equipos de maniobra y control), edificaciones y transformadores. Una estación generalmente incluye dispositivos de seguridad y control (por ejemplo, protección).

## 2.1.2 CALIDAD DE LA ENERGIA

### 2.1.2.1 CALIDAD

Según Colunga (1995), el término "calidad" señala "*un conjunto de características de una persona o de una cosa*". Sin embargo, los sistemas administrativos actuales han utilizado tanto el concepto "calidad", que lo han evolucionado hasta llevar su significado mucho más allá de las definiciones originales que ofrecen los diccionarios. Ante tal aseveración, es oportuno remontarse un poco a la historia. La aparición de las comunidades humanas generó el antiguo mercado entre el productor y el cliente. Aún no existían especificaciones. Los problemas de calidad podían resolverse con relativa facilidad puesto que el fabricante, el comprador y las mercancías estaban presentes simultáneamente. El comprador podía determinar en qué grado el producto o servicio satisfacía sus necesidades.

En la medida en que se desarrolla el comercio y se amplían los mercados, el productor deja de tener contacto directo con el cliente. La relación comercial se da a través de cadenas de distribución, haciendo necesario el uso de especificaciones definidas, garantías, muestras, etc., que tengan un papel equivalente a la antigua reunión entre el fabricante y el usuario.

Es así como investigadores de la categoría de Jurán, Deming, Crosby e incluso las Normas ISO 9000, coinciden en que los requerimientos o especificaciones son los indicadores del cumplimiento o no con la calidad de un producto o servicio.

Calidad también denota, como lo señala Jurán (citado en Colunga (1995), "aquellas características del servicio que responden a las necesidades del cliente". Por esta razón, un cliente con sus necesidades y expectativas cubiertas es un cliente satisfecho y calidad es satisfacer al cliente. Al cumplir con los requerimientos del servicio, hasta donde la acción tomada ayude a la permanencia de la empresa en el mercado.

### **2.1.2.2 CALIDAD DEL PRODUCTO**

La calidad del producto está en relación a las características ondas de tensión. Existen muchas definiciones de calidad de energía, dependiendo del punto de vista del autor. Una definición sencilla aceptada por el cliente, y de hecho la más práctica, interpreta que la calidad de energía es buena si los dispositivos conectados al sistema eléctrico funcionan satisfactoriamente. Normalmente, la baja o mala calidad de la energía se manifiesta en el repetido reinicio de ordenadores, el bloqueo de dispositivos sensibles, el parpadeo de la iluminación o un funcionamiento defectuoso de dispositivos de control o manejo electrónicos. En la actualidad se suele cometer un importante error de concepto al entender el fenómeno de la calidad de la energía: se trata de asociar toda la problemática a la Compañía Eléctrica. Parece entenderse que calidad de la energía es igual al suministro estable y continuo de tensión por parte de la entidad contratadora. Muchas veces da la sensación de que el problema está "dormido" hasta que oímos noticias sobre un importante apagón en alguna ciudad. Es cierto que las causas de estos problemas pueden encontrarse en perturbaciones de las tensiones de suministro por parte de la Compañía Eléctrica. Sin embargo, actualmente está más que demostrado que más del 80 por ciento de los problemas de calidad de energía están dentro de la propia instalación, y por tanto dentro del ámbito de trabajo de instaladores y mantenedores eléctricos. Gran parte de estos problemas resultan ser causados por malas puestas a tierra, conexiones defectuosas, bajos niveles de aislamiento, etc. Por otro lado, también se suele enfocar el concepto de forma errónea, en el sentido de que dicho enfoque tiene un carácter correctivo en vez de predictivo. Es decir, los consumidores se preocupan del nivel de calidad de la tensión de su instalación cuando ya ha habido un problema concreto, una máquina averiada, una parada de producción. Entonces el costo final del problema se triplica con respecto al

de haber optimizado el sistema previamente. Existe por tanto una visión un tanto “extremista” de la situación. Entre una onda de tensión perfecta y estable y un “apagón” existen ciertos niveles de inestabilidad que son detectables y corregibles para evitar dicho apagón, a un precio muy inferior. Esta visión debe ir progresivamente transformándose en una visión predictiva, basada en una filosofía de monitorización continua mediante analizadores fijos de panel, análisis periódico cerca del problema con equipos portátiles, un correcto análisis y diagnóstico en cada caso.

### **2.1.3 TENSIÓN ELÉCTRICA**

La tensión o diferencia de potencial (erróneamente conocida como voltaje) es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica. La diferencia de potencial también se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro. Se puede medir con un voltímetro.

En el Sistema Internacional de Unidades, la diferencia de potencial se mide en voltios (V), al igual que el potencial.

La tensión es independiente del camino recorrido por la carga, y depende exclusivamente del potencial eléctrico entre dos puntos A y B en el campo.

Si dos puntos que tienen una diferencia de potencial se unen mediante un conductor, se producirá un flujo de electrones. Parte de la carga que crea el punto de mayor potencial se trasladará a través del conductor al punto de menor potencial y, en ausencia de una fuente externa (generador), esta corriente cesará cuando ambos puntos igualen su potencial eléctrico (Ley de Henry). Este traslado de cargas es lo que se conoce como corriente eléctrica.

Cuando se habla sobre una diferencia de potencial en un sólo punto, o potencial, se refiere a la diferencia de potencial entre este punto y algún otro donde el potencial sea cero.

Se denomina tensión eléctrica a la energía potencial por unidad de carga que está asociada a un campo electrostático. Su unidad de medida en el SI son los voltios. A la diferencia de energía potencial entre dos puntos se le denomina voltaje. Esta tensión puede ser vista como si fuera una "presión eléctrica" debido a que cuando la presión es uniforme no existe circulación de cargas y cuando dicha "presión" varía se

crea un campo eléctrico que a su vez genera fuerzas en las cargas eléctricas. Matemáticamente, la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos  $A$  y  $B$  es la Integral de línea del campo eléctrico:

$$V(A) - V(B) = - \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Donde:

$V(A) - V(B)$  = Diferencia de potencial entre los puntos  $A$  y  $B$

$E$  = Intensidad de campo en Newton/culombio

$dl$  = Distancia entre los puntos  $A$  y  $B$

Generalmente se definen los potenciales referidos a un punto inicial dado. A veces se escoge uno situado infinitamente lejos de cualquier carga eléctrica. Cuando no hay campos magnéticos variables, el valor del potencial no depende de la trayectoria usada para calcularlo, sino únicamente de su punto inicial y final. Se dice entonces que el campo eléctrico es *conservativo*. En tal caso, si la carga eléctrica  $q$  tan pequeña que no modifica significativamente  $\vec{E}$ , la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos  $A$  y  $B$  será el trabajo  $W$  por unidad de carga, que debe ejercerse en contra del campo eléctrico  $\vec{E}$  para llevar  $q$  desde  $B$  hasta  $A$ . Es decir:

$$V = \frac{W}{q} .$$

Otra de las formas de expresar la tensión entre dos puntos es en función de la intensidad de corriente y la resistencia existentes entre ellos. Así se obtiene uno de los enunciados de la ley de Ohm:

$$V = R \cdot I$$

Cuando por dos puntos de un circuito puede circular una corriente eléctrica, la polaridad de la caída de tensión viene determinada por la dirección convencional de la misma; esto es, del punto de mayor potencial al de menor. En el caso de campos no estacionarios el campo eléctrico no es conservativo y la integral de línea del campo eléctrico contiene efectos provenientes de los campos magnéticos variables inducidos o aplicados, que corresponden a una fuerza electromotriz inducida (f.e.m.), que también se mide en voltios.

La fuerza electromotriz, cuyo origen es la inyección de energía externa al circuito, permite mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Esta energía puede

representarse por un campo de origen externo cuya circulación (integral de línea sobre una trayectoria cerrada)

$$\oint_C \vec{E} ds$$

Define la fuerza electromotriz del generador. Esta expresión corresponde el trabajo que el generador realiza para forzar el paso por su interior de una carga, del polo negativo al positivo (es decir, en contra de las fuerzas eléctricas), dividido por el valor de dicha carga. El trabajo así cometido puede tener origen mecánico (dínamo), químico (batería), térmico (efecto termoeléctrico) o de otro tipo.

### **2.1.3.1 La Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos (setiembre 2010) - Título 5to, Calidad de Producto TENSION**

#### ✓ INDICADORES DE CALIDAD

El indicador para evaluar la tensión de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración, es la diferencia ( $\Delta V_k$ ) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega ( $V_k$ ) y el valor de la tensión nominal ( $V_N$ ) del mismo punto. Este indicador esta expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N \cdot 100\%; \text{ (expresada en: \%)}$$

#### ✓ TOLERANCIA

Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las Etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos. Tratándose de redes secundarias en servicios calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales, dichas tolerancias son de hasta el  $\pm 7.5\%$ .

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición.

### **2.1.4 FRECUENCIA**

Se define la Frecuencia de la tensión de alimentación como la tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión de alimentación, medida durante un intervalo de tiempo determinado. Cualquier cambio sobre ésta (50 Hz ó 60Hz), sobrepasando ciertos límites constituye una variación de frecuencia.

La frecuencia de una unidad periódica es el número de veces por segundo que se produce un ciclo completo de la variación. Se podría emplear otra unidad que no fuese el segundo, pero esto no es lo habitual y cuando no se especifica la unidad de tiempo, se supone que es el segundo. Se emplea frecuentemente expresiones tales como 60 ciclos y 10 mc en lugar de 60 cps, otro concepto que se utiliza a menudo para designar la frecuencia es la velocidad angular en radianes/segundo, que es igual a  $2\pi$ . Veces la frecuencia. Este concepto es particularmente útil para manejar cantidades periódicas que estén expresadas como funciones trigonométricas.

Como la frecuencia es una velocidad, su patrón primario es el tiempo la velocidad de rotación de la tierra sobre su eje, los osciladores electrónicos por cristal suelen ser empleados como patrones secundarios y comúnmente tienen exactitudes del orden de 1/10000,000.

Existen muchos sistemas de uso común para la medida de frecuencia. En centrales eléctricas en que la máxima variación de frecuencia está solo unos ciclos, se emplean instrumentos de lectura directa, con escalas relativamente reducida. En las medidas de laboratorio y en el estudio de cantidades no eléctricas, tales como el sonido y la vibración, las escalas de los instrumentos son más amplias. Para la comprobación de patrones secundarios y equipos de medida de frecuencia son muy útiles los métodos de comparación de frecuencia.

#### **2.1.4.1 La Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos (setiembre 2010) - Título 5to, Calidad de Producto**

##### **FRECUENCIA**

##### **✓ INDICADORES DE CALIDAD**

El indicador principal para evaluar la frecuencia de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración, es la Diferencia ( $\Delta f_k$ ) entre la Media ( $f_k$ ) de los Valores Instantáneos de la Frecuencia, medidos en un punto cualquiera de la red de corriente alterna no aislado del punto de entrega en cuestión, y el Valor de la Frecuencia Nominal ( $f_N$ ) del sistema. Este indicador, denominado Variaciones

Sostenidas de Frecuencia, está expresado como un porcentaje de la Frecuencia Nominal del sistema:

$$\Delta f_k (\%) = (f_k - f_N) / f_N \cdot 100\%; \text{ (expresada en: \%)}$$

✓ TOLERANCIA

Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son:

Variaciones Sostenidas ( $\Delta f_k'$ ) (%):  $\pm 0.6\%$ .

Variaciones Súbitas (VSF'):  $\pm 1.0\text{Hz}$ .

Variaciones Diarias (IVDF'):  $\pm 600.0$  Ciclos.19

### 2.1.5 PERTURBACIONES ELÉCTRICAS (Víctor Sánchez Huerta)

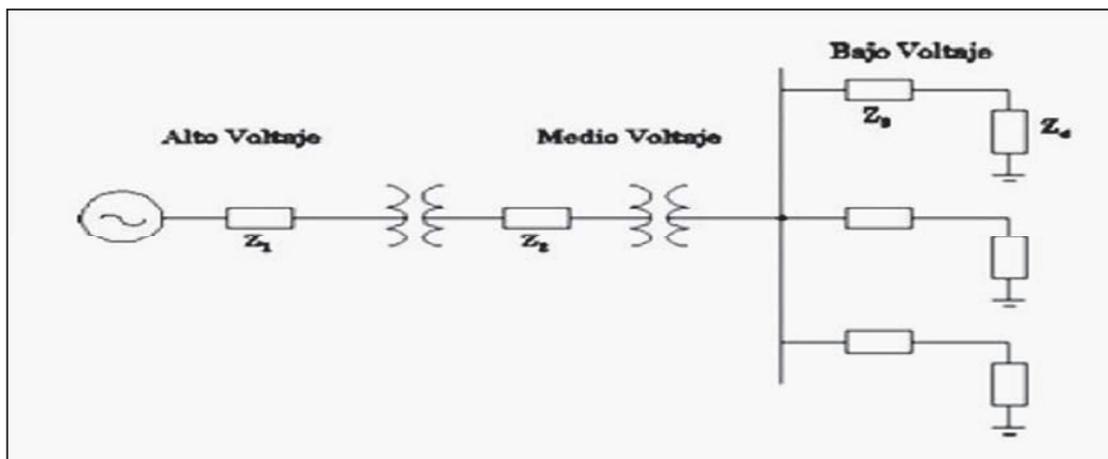
El concepto "Perturbaciones Eléctricas y Calidad de Energía Eléctrica " es un tema esencial el cual ha evolucionado en la última década a escala mundial, está relacionada con las perturbaciones eléctricas que pueden afectar a las condiciones eléctricas de suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos. Por tal razón, se requiere un tratamiento integral del problema desde diversos frentes. Estos comprenden, entre otros, investigación básica y aplicada, diseño, selección, operación y mantenimiento de equipos, normalización, regulación, programas de medición y evaluación, capacitación de personal. etc.

Actualmente, las normas internacionales referentes a la calidad de la energía eléctrica y la contaminación hacia la red eléctrica con corrientes armónicas, han cobrado especial interés debido a las perturbaciones que presenta la onda de tensión que proporciona la red. Idealmente esta onda de tensión debe ser una senoide pura con una frecuencia constante; sin embargo, en la realidad esto no sucede, ya que la onda de tensión presenta perturbaciones como: ruidos en modo diferencial o común, impulsos eléctricos, variaciones rápidas o lentas de tensión, parpadeo (flicker), distorsión armónica y variaciones de frecuencia. Si la red eléctrica se encontrara libre de usuarios, ésta presentaría una onda de tensión de buena calidad, la cual se vería perturbada ocasionalmente debido a fallas en los centros de generación, de distribución o debido a descargas atmosféricas, principalmente. Sin embargo, cuando un número muy grande de usuarios está conectado a la red, la someten a un número muy grande de cargas eléctricas que aunque funcionen correctamente pueden alterar

la onda de tensión con caídas permanentes o transitorias excesivas e inyección de corrientes armónicas; además, las cargas pueden averiarse y producir consumos anómalos o cortocircuitos, lo cual puede repercutir en otras cargas que se encuentren conectadas en un punto cercano.

Tal como se observa en el diagrama unifilar de la figura 2.1, las cargas eléctricas de los usuarios se encuentran conectadas a un punto en común en la red de bajo voltaje, así que si una de las cargas demanda corrientes armónicas a la red o demanda una corriente excesiva debido a un cortocircuito, las cargas eléctricas de los demás usuarios se verían afectadas por la impedancia finita de la red.

**Figura N°2. 1 Diagrama unifilar simplificado de la red eléctrica y la conexión con usuarios.**



**Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
Pág. 34.**

### 2.1.5.1 TIPOS DE PERTURBACIONES

Las perturbaciones en la red eléctrica se pueden clasificar de la siguiente manera (Víctor Sánchez Huerta Artículo: Afinidad Eléctrica- 2011)

#### **Perturbaciones aleatorias**

Son “fenómenos aleatorios pasajeros que tienen su origen tanto en los elementos de la red eléctrica, como en la propia instalación del usuario. La consecuencia típica de estas perturbaciones es una caída de tensión transitoria, y en ocasiones un corte más o menos prolongado en algunas zonas de la red. Las causas típicas de estas perturbaciones son los rayos, las maniobras en alta tensión, las variaciones bruscas de cargas y los cortocircuitos”

### **Perturbaciones estacionarias**

Son “fenómenos de carácter permanente, o que se extienden a lapsos bien definidos y que, podemos considerarlos como permanentes.

Estas perturbaciones tienen, en su mayoría, origen en el funcionamiento de ciertos equipos localizados normalmente en la instalación del abonado”

#### **2.1.5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PERTURBACIONES**

Las perturbaciones más frecuentes en la red eléctrica son las siguientes:

##### **a). Ruidos e impulsos en modo diferencial**

Son perturbaciones de tensión que tienen lugar entre los conductores activos de alimentación (fase y neutro en sistemas monofásicos; fases o fase y neutro en sistemas trifásicos). Si son frecuentes y de escaso valor (decenas de voltios más o menos), se llaman ruidos.

Si son esporádicos y de valor elevado (cientos de voltios), se denominan impulsos, es decir, cuando su duración es inferior a 2 ms. Los ruidos eléctricos se producen debido al funcionamiento de máquinas eléctricas con escobillas, soldadores de arco, timbres, interruptores, etc., los cuales se encuentran conectados en algún punto cercano a la carga utilizada. No producen daño en los equipos, pero si pueden causar un mal funcionamiento.

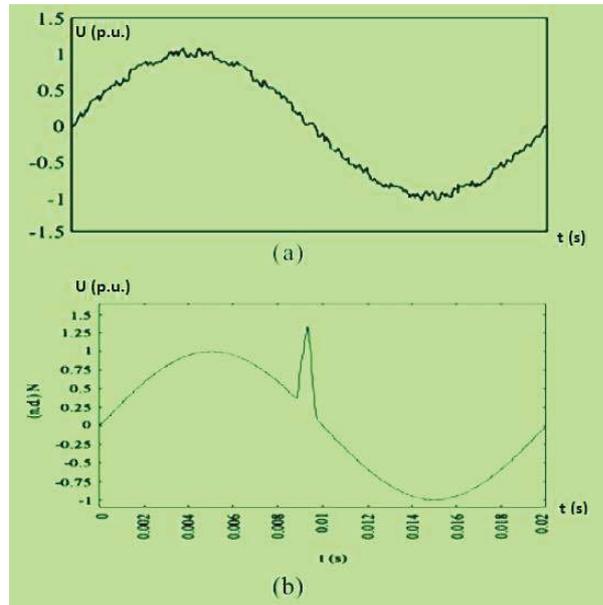
Por otro lado, los impulsos eléctricos suelen producirse por conexión y desconexión de bancos de condensadores, funcionamiento de hornos de arco, máquinas con escobillas, interruptores, termostatos y por descargas eléctricas.

De todas las perturbaciones, son las más aleatorias y menos predecibles.

Este tipo de perturbaciones puede producir daños muy serios en los equipos.

Una forma de onda de tensión con ruido eléctrico se muestra en la figura 2.2, mientras que en la figura 2.3, se muestra una forma de onda de tensión con la presencia de un impulso eléctrico.

**Figura N°2. 2: (a) Ruido eléctrico presente en la señal senoidal proporcionada por la red eléctrica, (b) Impulso eléctrico.**



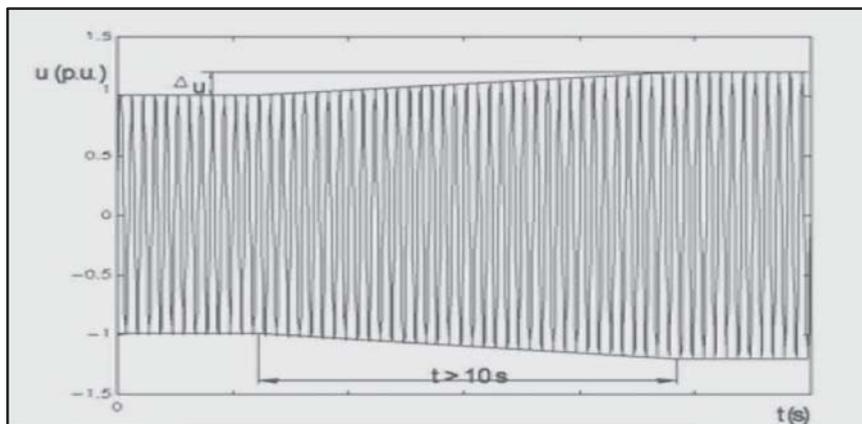
**Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
 Pág. 35.**

#### **b). Variaciones lentas y rápidas de tensión**

Se considera una variación lenta de tensión, aquella que se presenta con una duración de 10 segundos o más.

Se produce debido a la variación de las cargas en redes eléctricas con impedancia alta de corto- circuito. Si sobrepasan los límites estáticos permitidos por los equipos, pueden producir fallos en su operación.

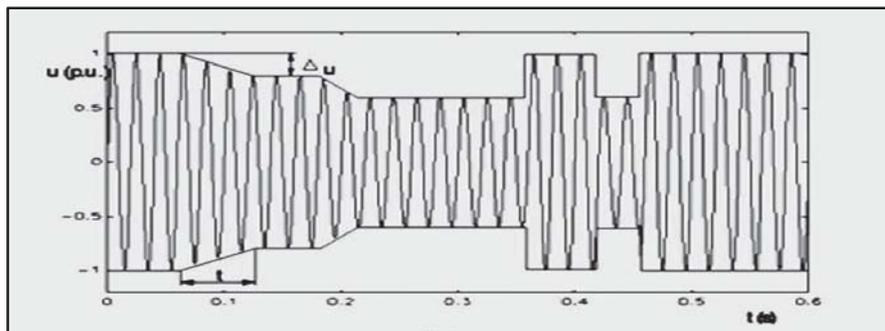
**Figura N°2. 3: a). Variación lenta de tensión**



**Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
 Pág. 36.**

Por otra parte, una variación rápida de tensión tiene una duración menor a los 10 segundos. Se producen debido a la conexión y desconexión de cargas grandes y maniobras en las líneas de la red eléctrica. El daño que pueden causar en los equipos depende de su amplitud y su duración, dado que un equipo puede soportar una mayor amplitud en un menor tiempo y viceversa. Como casos particulares de estas perturbaciones, se encuentran el parpadeo (flicker) y los micro cortes.

**Figura N°2. 4: b) Variación rápida de tensión**

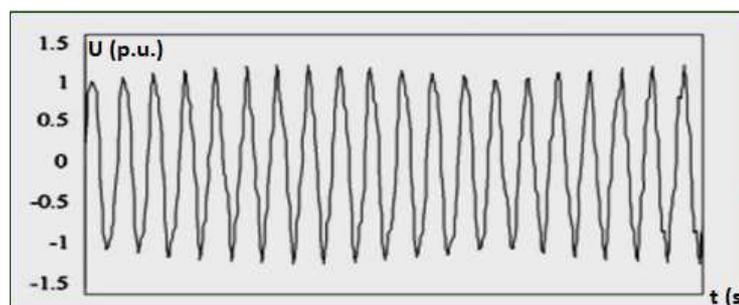


Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
Pág. 36.

### c). Parpadeo (flicker)

Es una variación rápida de tensión de forma repetitiva, similar a la modulación de amplitud de una onda de alta frecuencia por una onda de baja frecuencia, la cual se puede observar en la figura 2.4. Produce en las lámparas un parpadeo visible y molesto (de aquí el nombre); se debe principalmente al funcionamiento de hornos de arco y equipos de soldadura. En general no produce daños en los equipos a menos que la variación sea muy pronunciada.

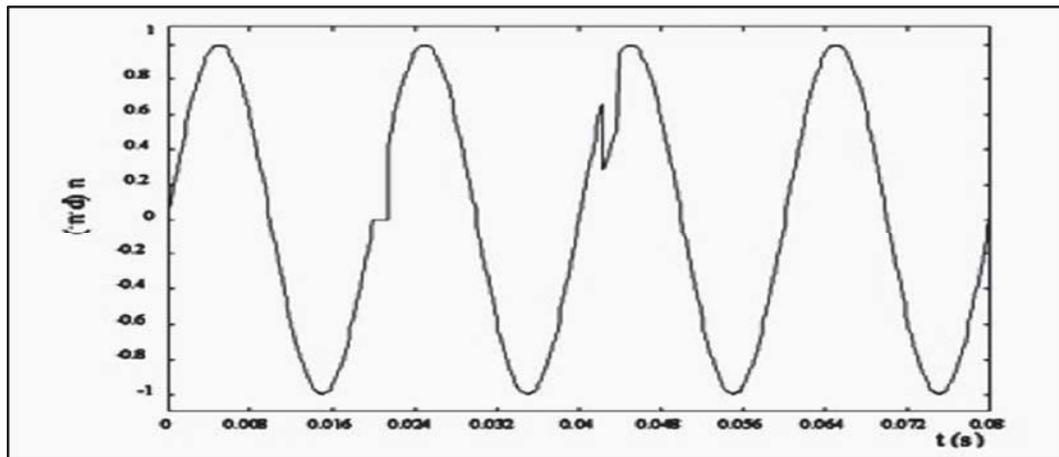
**Figura N°2. 5: Variación rápida de tensión**



Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
Pág. 36.

**d). Microcortes**

Son anulaciones en la tensión de la red eléctrica (o reducciones por debajo del 60% de su valor nominal) con una duración menor a un ciclo. Se deben principalmente a defectos en la red eléctrica o en la propia instalación del usuario. Pueden producir mal funcionamiento en cargas muy sensibles y errores en las computadoras.

**Figura N°2. 6: Microcortes de tensión.**

Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-

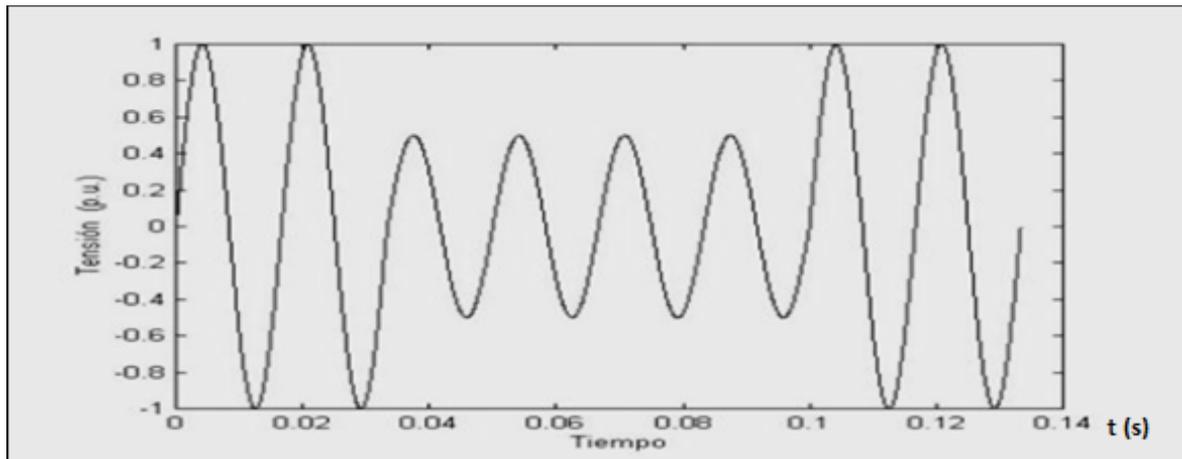
Pág. 36.

**e). Cortes largos**

Son anulaciones de la tensión de red (o reducciones por debajo del 50% de su valor nominal) de duración mayor a un ciclo. Se producen generalmente por fallas o desconexión de las líneas de alimentación y por averías en los centros de generación y de transformación.

Obviamente, este tipo de perturbaciones ocasiona un fallo total del equipo que está siendo alimentado; sin embargo, algunas computadoras pequeñas pueden soportar un corte de poca duración (dos ciclos aproximadamente).

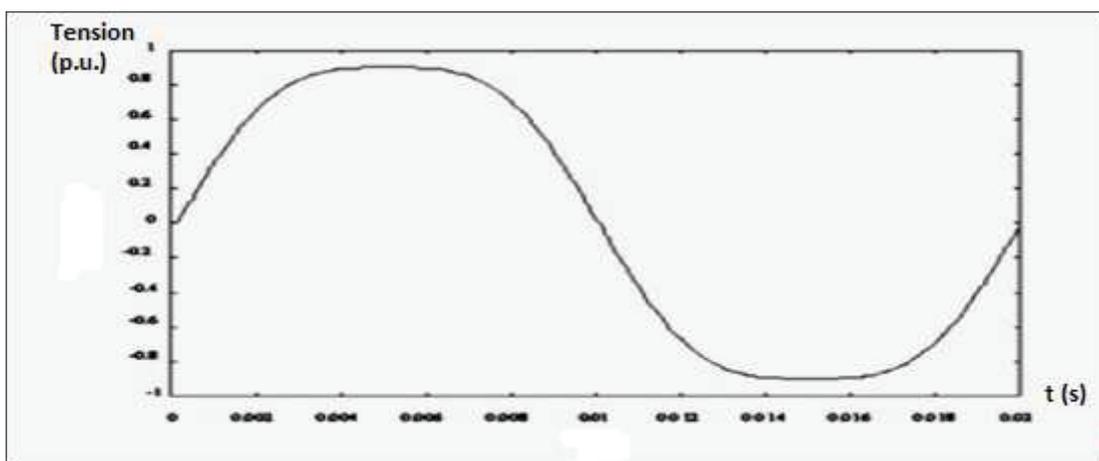
La figura 2.6, muestra un corte largo de tensión, que si bien, ésta no cae a cero, si es menor al 50% del valor nominal.

**Figura N°2. 7: Corte largo de tensión.**

Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
Pág. 37.

#### f). Distorsión

Es una deformación de la forma de onda de tensión, debida a la presencia de armónicos. Su nombre técnico es Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en inglés). Se debe principalmente a la conexión a la red eléctrica de máquinas con núcleo magnético saturado, convertidores estáticos (rectificadores controlados y no controlados, sistemas de alimentación ininterrumpida, fuentes conmutadas) y otras cargas no lineales. Casi todas las cargas críticas como lo son los equipos electrónicos soportan una distorsión máxima del 5%.

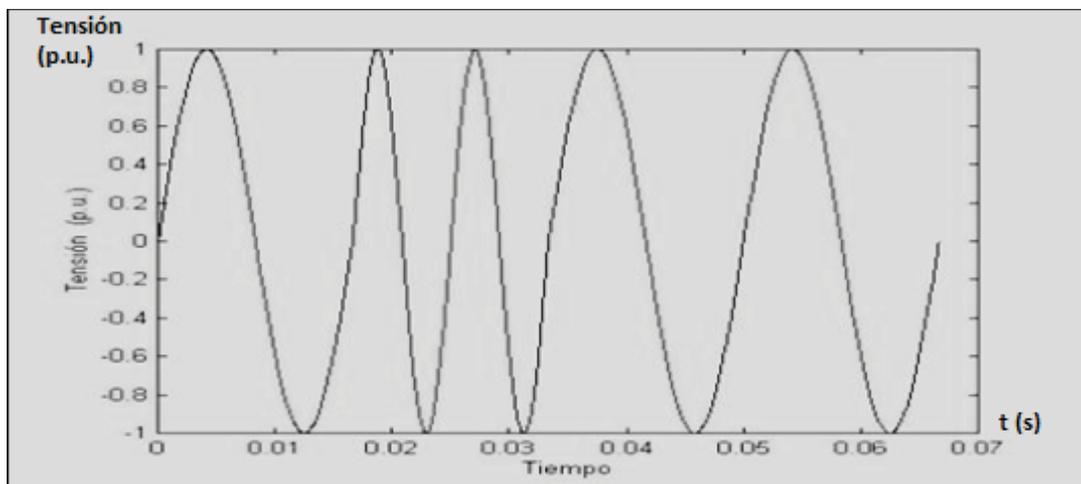
**Figura N°2. 8: Forma de onda de tensión con gran distorsión armónica.**

Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
Pág. 37.

### g). Variaciones de frecuencia

Son cambios en la frecuencia de señal senoidal proporcionada por la red, que en Europa es de 50 Hz y en América de 60 Hz. Normalmente resulta muy raro que se presente este problema en la red eléctrica en condiciones normales y puede llegar a ocurrir debido a la interconexión de los centros de generación de energía eléctrica. Generalmente sólo se producen en centros con generación aislada de tensión como lo pueden ser redes eléctricas rurales aisladas que obtienen energía eléctrica a partir de generadores de combustión interna, paneles fotovoltaicos, generadores eólicos o en plataformas de explotación petrolera.

**Figura N°2. 9: Forma de onda de tensión con variación de frecuencia**



**Fuente: Víctor Sánchez Huerta - Perturbaciones en la Red Eléctrica " (2006)-  
Pág. 38.**

### 2.1.6 CALIDAD DE SUMINISTRO

La calidad de suministro abarca la continuidad o disponibilidad, la calidad de onda y la calidad de atención al cliente. Los dos primeros puntos son aspectos técnicos y se tratarán a continuación. El tercero es importante al tratarse de un servicio público en una sociedad cada vez más dependiente de la energía eléctrica.

La calidad de suministro eléctrico es la normalización del suministro eléctrico mediante reglas que fijan los niveles, parámetros básicos, forma de onda, armónica de onda, armónica, niveles de distorsión armónica, interrupciones, etc.

Es habitual que existan reglas que regulen la calidad del suministro eléctrico según los países o zonas de suministro, así como, los diversos sistemas: baja, media o alta

tensión, corriente alterna o continua, sistemas monofásicos, bifásicos o trifásicos, todos ellos englobados entre los distintos modos de generar o transportar electricidad. La calidad de suministro suele referirse a la calidad de la onda de tensión de la energía eléctrica en sistemas de tensión alterna, no obstante, existen normativas que también contemplan las perturbaciones de las ondas de intensidad propias del consumo que ejerce el cliente sobre la tensión suministrada por la fuente, que en muchos casos es la compañía eléctrica.

Hasta no hace mucho, la ausencia de suministro eléctrico era el problema de calidad de suministro al que se prestaba más atención, y probablemente al único. Esto es comprensible pues las consecuencias, a diferencia de otros problemas, eran evidentes: no funcionaba la iluminación, los ordenadores, los motores, etc. Seguramente existían otros problemas, pero no representaban una preocupación porque sus efectos no eran visibles. De esta manera, la calidad de suministro estaba ligada a la continuidad, es decir, disponibilidad.

El aumento de equipos sensibles a la calidad de suministro por la electrónica que incluyen y la mayor criticidad de las instalaciones provoca que cualquier desviación de los valores de la tensión, la corriente o la frecuencia, es decir, la calidad de onda, pueda provocar un mal funcionamiento de los equipos o un fallo. Por ejemplo, podría producirse el reinicio de los servidores de un centro de datos por un hueco de tensión o el disparo intempestivo de las protecciones térmicas por un elevado contenido de armónicos. Basta pensar los efectos que esto produciría en un hospital, en un banco o en el negocio de las telecomunicaciones.

### **Consecuencias de las deficiencias en la calidad del suministro eléctrico**

Las consecuencias de las deficiencias de la mala calidad de suministro son:

#### **a. Referido a las deficiencias de los niveles de tensión**

Con parámetros de tensión diferentes a los nominales o de trabajo ocurre la aceleración del envejecimiento del aislamiento de los equipos eléctricos, como consecuencia de un calentamiento más intensivo y, en una serie de casos como resultado del reforzamiento de procesos de ionización. De aquí se deriva una intensificación de las tasas de averías.

Las desviaciones de tensión conllevan a un aumento del calentamiento de motores eléctricos con momentos constantes de carga (carga tipo transportador, elevador etc.), acelerando el envejecimiento del aislamiento.

La elevación de la tensión por encima de la nominal conlleva a la disminución del tiempo de vida útil de lámparas.

Las variaciones de la tensión actúan de diferente manera en los distintos tipos de equipamiento eléctrico. Por ejemplo, en las baterías de condensadores utilizados para la compensación de potencia reactiva provoca procesos transitorios que conducen a la sobrecarga de los condensadores por corriente y en casos por tensión, como resultado de lo cual la batería puede salir de servicio en un período, a veces, significativamente rápido en dependencia de la magnitud de la perturbación.

En el caso de los motores las variaciones de tensión conducen al calentamiento adicional y a la variación del momento al eje. Los bajones de tensión para los motores asíncronos tienden a frenarlos y a procesos de re arranques, pudiendo llegar a situaciones de disparo de protecciones, sobretodo, cuando trabajan simultáneamente grupos de motores.

La asimetría en la tensión también conlleva al calentamiento adicional del equipamiento de fuerza y disminuye su vida útil. Este defecto también influencia negativamente en el funcionamiento de algunos esquemas de protecciones por relés, provocando operaciones erráticas y sacando de funcionamiento equipos.

La aparición de variaciones rápidas en la asimetría de las tensiones trifásicas, características en circuitos donde están conectados hornos de acero por arco eléctrico, conllevan a la variación de los momentos de torque en los motores eléctricos, lo que es causa de aparición de esfuerzos adicionales en las cabezas de las bobinas de las máquinas, su vibración y tensiones de fatiga en elementos mecánicos constructivos del propio motor y el accionamiento, lo que trae como resultado una disminución de su tiempo de vida.

La disminución de la tensión en determinados niveles trae como consecuencia el aumento de las demandas de potencia reactiva de los equipos eléctricos, esto conduce al aumento de las pérdidas de energía en las redes y al empeoramiento progresivo de las condiciones de tensión.

**b. Referido a las deficiencias de los armónicos**

La presencia de armónicos superiores conduce a la aceleración del envejecimiento del aislamiento, al calentamiento adicional de las partes conductoras de los equipos e instalaciones, al incremento de las pérdidas de

energía en las redes, a la operación errática de los esquemas de protecciones eléctricas, al envejecimiento acelerado de las baterías de condensadores provocando su fallo, etc.

La presencia de armónicos superiores también implica el aumento de las pérdidas parásitas e histerésicas en los núcleos de motores y transformadores, tanto del sistema eléctrico como de los propios consumidores. De igual manera crean interferencias en los servicios de comunicaciones y transmisión de datos. La práctica ha demostrado el incremento del error en las lecturas de metros contadores de energía del tipo de inducción ante la presencia de armónicos, además de daños mecánicos producidos por los armónicos de orden  $3n+2$  cuando estos son significativos, lo que recomienda la no utilización de este tipo de metro en redes o consumidores contaminados.

La reducción de la frecuencia conduce a una disminución de la productividad de los accionamientos eléctricos, al trabajo inestable de equipos electrónicos, de mediciones y de sistemas de protecciones.

En las centrales termoeléctricas tiene también influencia en las vibraciones de las turbinas, las que tienen bandas estrictas de variaciones admisibles de este parámetro.

La experiencia de los sistemas industriales ha demostrado una dependencia entre la disminución de la confiabilidad y la disminución de los parámetros de calidad del suministro eléctrico.

La presencia de armónicos superiores en los sistemas implica el aumento de pérdidas en las líneas y la aparición de posibles condiciones de resonancia que provocan sobre tensiones permanentes y transitorias en eventos de conmutación.

### **2.1.7 INTERRUPCIONES EN EL SUMINISTRO**

Son múltiples los factores que influyen en una interrupción del servicio eléctrico y en algunas ocasiones hasta indeterminables. Sin embargo, podemos clasificarlas en dos grupos:

- Interrupciones programadas.
- Interrupciones fortuitas.

Las Programadas, son aquellas interrupciones necesarias para realizar labores de mantenimiento mayor en líneas y subestaciones, construcción de nuevos circuitos, poda y pica de ramas y árboles, reemplazo de transformadores o interruptores, etc. Y se realizan a ciertas horas y días en los cuales se afecte lo menos posible a los usuarios.

Estas interrupciones son necesarias para garantizar la continuidad del servicio; y la empresa distribuidora de energía eléctrica está en la obligación de publicar un aviso de prensa con el objeto de notificar a todos los usuarios afectados por el corte del servicio.

Las Fortuitas, son las interrupciones más dañinas y costosas, tanto para la empresa de distribución eléctrica como para los usuarios.

Entre las principales causas podemos indicar:

- Aves enredadas en las líneas. Las aves que quedan enredados en los cables de electricidad, producen corto- circuitos y apagones graves cada vez que llueve. Por otra parte, es alto el riesgo de sufrir un shock eléctrico al momento de quedar enredado o intentar recuperarlo.
- Robo de cables, transformadores, lámparas, etc. El robo de cables, lámparas y transformadores no sólo produce una interrupción del servicio eléctrico, sino que además contribuye a que estas interrupciones se hagan más prolongadas y costosas.
- Conexiones ilegales. Las conexiones ilegales, además de la interrupción del servicio eléctrico, producen:
  - ✓ Rotura de cables por falso contacto.
  - ✓ Sobrecarga y quema de transformadores.
  - ✓ Variaciones de voltaje por la mala conexión y fallas en los equipos allí conectados (electrodomésticos, motores, etc.).
  - ✓ Riesgo de sufrir un shock eléctrico. Daño en los equipos de los vecinos.
- Tormentas y fuertes lluvias. Las fuertes lluvias y tormentas a menudo producen interrupción del servicio debido a descargas atmosféricas (rayos) y objetos sobre los cables de electricidad (aves, ramas, etc.) que al humedecerse producen corto circuitos.

- Envejecimiento y deterioro de materiales y equipos. Los equipos y materiales que conforman el sistema de distribución de energía eléctrica cumplen con un período útil, tras el cual deben ser reemplazados.
- Si este reemplazo no se realiza a tiempo, comenzarán a producir interrupciones y fallas del sistema eléctrico. Incluye aquellas interrupciones producidas por choques de autos contra instalaciones eléctricas, árboles que caen sobre los cables de electricidad, animales sobre cables y/o equipos, etc.

### **2.1.8 LINEA DE TRANSMISIÓN**

Está constituida por conductores usualmente desnudos, tendidos en espacios abiertos y que están soportados por estructuras con los accesorios necesarios para la fijación, separación y aislamiento de los mismos conductores a las estructuras que los soportan.

En el campo de la ingeniería de sistemas de potencia, una línea de transmisión de energía eléctrica se define también como el conjunto formado por cables conductores y cables de guarda sujetos en soportes o estructuras los cuales van separados a una cierta distancia llamada claro o vano.

#### **2.1.8.1 PARAMETROS ELECTRICOS DE UN LINEA DE TRANSMISIÓN**

Una línea de transmisión de potencia tiene cuatro parámetros eléctricos que afectan su capacidad para cumplir su función como parte de un sistema de potencia: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia. El cuarto parámetro, la conductancia, se presenta entre conductores o entre los conductores y la tierra. La conductancia toma en cuenta las corrientes de fuga en los aisladores de líneas aéreas y a través del aislamiento de los cables en líneas subterráneas.

Generalmente, no se considera la conductancia entre conductores de una línea aérea porque las corrientes de fuga en los aisladores son de magnitud despreciable, hecha la observación anterior pasamos a dar una descripción de los otros tres parámetros.

### **2.1.9 RESISTENCIA ELÉCTRICA**

La resistencia de los conductores de las líneas de transmisión es la causa más importante de pérdida de potencia en ellas. La resistencia efectiva de un conductor es:

$$R = \frac{\text{Pérdida de Potencia en el Conductor}}{I^2} (\Omega) \dots\dots(2.1)$$

Dónde:

Pérdida de Potencia en el Conductor (w)

I= Corriente rms en el conductor (A)

La resistencia efectiva es igual a la resistencia de corriente directa de conductor solo si la distribución de corriente a través del conductor es uniforme.

La resistencia de corriente directa está dada por la ecuación.

$$R_o = \sigma \frac{l}{A} \dots\dots (\Omega) \dots\dots (2.2)$$

Dónde:

$\sigma$  = Resistencia del conductor ..... ( $\Omega \cdot m$ )

$l$  = longitud ..... (m)

$A$  = área de la sección transversal ..... (m<sup>2</sup>)

La variación en resistencia de los conductores metálicos con la temperatura es prácticamente lineal en el rango normal de operación, y se describe con bastante precisión mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(T + t_2)}{(T + t_1)} \dots\dots (2.3)$$

Dónde:

$R_2$  y  $R_1$  = Resistencia del conductor a las  $t_1$  y  $t_2$

T = Constante

### 2.1.10 INDUCTANCIA

La inductancia es una medida de la capacidad de un dispositivo de almacenar energía en forma de campo magnético. La inductancia así como la capacitancia de un circuito eléctrico, se pueden explicar por medio de los campos eléctrico y magnético que acompañan a su flujo de corriente.

La inductancia tiene básicamente dos fuentes: una debida al flujo interno en el conductor y otra al externo, la suma de ambas componentes nos da el valor resultante de la inductancia, valor al cual se llega partiendo de la Ley de Ampere y haciendo uso de las características de simetría que tengan los diversos campos que se emplean para modelar este fenómeno.

La ecuación para el cálculo de la inductancia por fase de líneas trifásicas.

Dónde:

$D_{eq} =$  Espaciamiento equivalente entre conductores (m)

$D_s =$  Radio geométrico del conductor (m)

$D_{eq}$  y  $D_s$  deben estar en las mismas unidades.

Para líneas de un solo conductor por fase o de conductores agrupados:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} \times D_{bc} \times D_{ca}} \quad (m) \quad (2.5)$$

Para líneas de conductores agrupados,  $D_{ab}$ ,  $D_{bc}$  y  $D_{ca}$  son las distancias entre los centros de los agrupamientos de las fases a, b y c.

Para líneas de conductores agrupados,  $D_{ab}$ ,  $D_{bc}$  y  $D_{ca}$  son las distancias entre los centros de los agrupamientos de las fases a, b y c.

La reactancia inductiva en ohmios por metro a 60 Hertz se encuentra multiplicando el valor de la inductancia, en henrios por metro, por  $2\pi(60)$ :

$$X_L = 0.0754 \times \ln D_{eq}/D_s \quad (\Omega/m \text{ por fase}) \quad (2.6)$$

### 2.1.11 CAPACITANCIA

La capacitancia de una línea de transmisión es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores y origina que ellos se carguen de la misma forma que las placas de un capacitor cuando hay una diferencia de potencial entre ellas. De forma análoga al caso de la inductancia, se puede afirmar que la capacitancia es la

medida de la capacidad de un circuito eléctrico de almacenar energía en forma de campo eléctrico. La capacitancia entre conductores es la carga por unidad de diferencia de potencial. La capacitancia entre conductores paralelos es una constante que depende del tamaño y espaciamiento entre ellos. El efecto de la capacitancia puede ser pequeño y muchas veces se desprecia en líneas de potencia que tienen menos de 80 km de largo. Para líneas de alto voltaje más largas, la capacitancia crece en importancia.

La base para el análisis de la capacitancia es la ley de Gauss para campos eléctricos, esta ley establece que la carga eléctrica total dentro de una superficie cerrada es igual al flujo eléctrico total que sale de la superficie. En otras palabras, la carga total dentro de una superficie cerrada es igual a la integral sobre la superficie de la componente normal de la densidad de flujo eléctrico.

La ecuación para el cálculo de la capacitancia de un circuito monofásico de una línea trifásica es:

$$C_n = 2 \pi kkr / (\ln D_{eq} / D_s C) \quad (F/m) \quad (2.7)$$

Dónde:

$$D_{sc} = \text{Radio externo del conductor} \quad (m)$$

$$D_{eq} = \text{Espaciamiento equivalente entre conductores} \quad (m)$$

$D_{eq}$  y  $D_{sc}$  deben estar en las mismas unidades.  $D_{eq}$  se calcula del mismo modo que en el caso de la inductancia.

$k$  es  $8.854 \times 10^{-12}$  ya que para el aire  $kr$  es 1.0.

$$\text{Así, a 60 Hz. } X_C = 4.77 \times 10^{-4} \ln D_{eq} / D_s C \quad (\Omega/m) \quad (2.8)$$

### 2.1.12 REPRESENTACIÓN DE LINEA

Las ecuaciones generales que relacionan el voltaje y la corriente de las líneas de transmisión establecen el hecho de que los cuatro parámetros de una línea de transmisión resistencia eléctrica, inductancia o coeficiente de autoinducción,

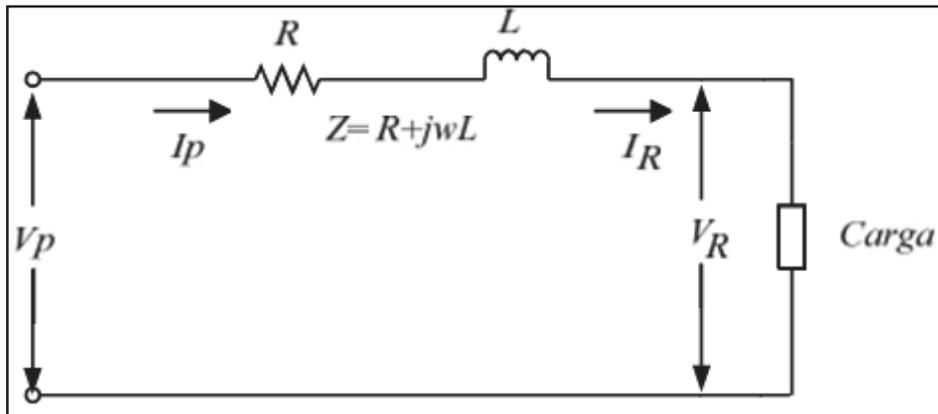
capacidad, conductancia o perditancia, están distribuidos uniformemente a lo largo de línea

### 2.1.12.1 LINEAS DE TRANSMISIÓN CORTAS

Se entiende como una línea de menos de 80 km.

El circuito equivalente de una línea de transmisión corta se representa:

**Figura N°2. 10: Representación de una línea de Transmisión Corta**



**Fuente: Rafael Pumacayo C. – “Análisis de Sistema de Potencia ”(1983)-Cap.**

**IV-2**

Dónde:

$V_p$ , Voltaje en el extremo del transmisor

$V_R$ , Voltaje en el extremo del receptor

$I_p = I_R$ , Corriente en el extremo del transmisor y del receptor

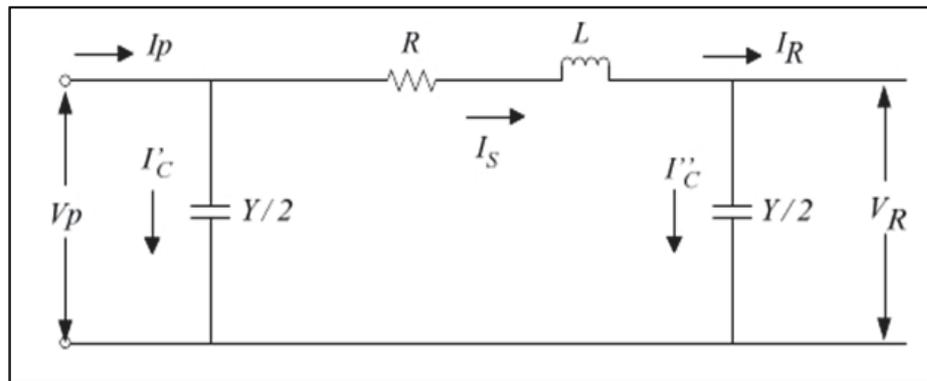
### 2.1.12.2 LINEAS DE TRANSMISIÓN MEDIAS

Tiene entre 80 y 240 km.

#### PARA EL CIRCUITO $\pi$ NOMINAL

Su representación se muestra en el **Figura N° 2.11:**

**Figura N°2. 11: Circuito  $\pi$  Nominal**



**Fuente: Rafael Pumacayo C. – “Análisis de Sistema de Potencia ”(1983)-Cap. IV-12.**

Dónde:

VP: Voltaje en el extremo del transmisor

VR: Voltaje en el extremo del receptor

IP: Corriente en el extremo del transmisor

IR: Corriente en el extremo del receptor

IS: Corriente en el elemento serie

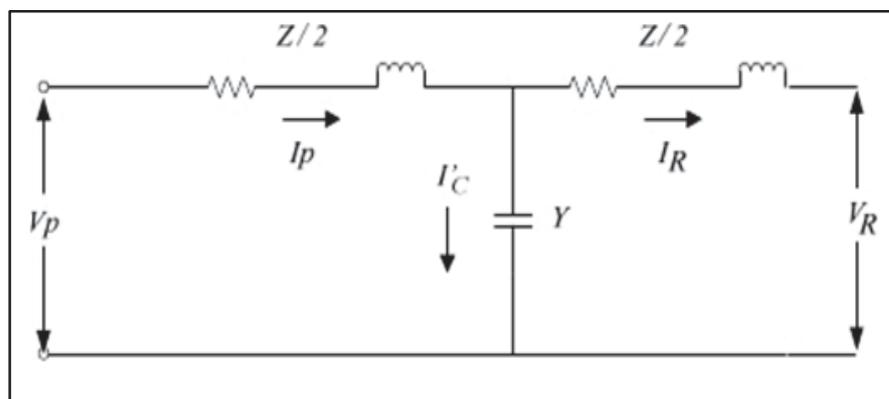
IC: Corriente en el ramal del extremo transmisor

IC': Corriente en el ramal del extremo receptor

**PARA CIRCUITO T NOMINAL**

Su representación se muestra en la **Figura N° 2.12**

**Figura N°2. 12: Circuito T Nominal**



**Fuente: Rafael Pumacayo C. – “Análisis de Sistema de Potencia ”(1983)-Cap. IV-4.**

Dónde:

VP: Voltaje en el extremo del transmisor

VR: Voltaje en el extremo del receptor

IP: Corriente en el extremo del transmisor

IR: Corriente en el extremo del receptor

### 2.1.13 TRANSFORMADOR

El transformador es una Máquina estática que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica modificando valores de tensión y corriente del devanado primario al devanado secundario utilizando el mismo valor de frecuencia.

**Tabla N°2. 1: Fundamento Teórico de los Transformadores**

<p><b>TRANSFORMADOR</b> <i>(principios de funcionamiento)</i></p>	<p><i>Fenómenos Eléctricos</i></p>	<i>Campo Magnético</i>
		<i>Relación entre Densidad e Intensidad del flujo magnético</i>
		<i>Fuerza electromotriz (f.e.m)</i>
		<i>Inducción mutua y autoinducción</i>
	<p><i>Leyes</i></p>	<i>Ley de Faraday</i>
		<i>Ley de Lenz</i>
		<i>La ley de Ampère</i>
		<i>La ley de Biot-Savart</i>

**Fuente: Agustín Gutiérrez Páucar – “Teoría y Análisis de Maquinas Eléctricas” (2000).**

#### 2.1.13.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

Los transformadores se clasifican en:

Tabla N°2. 2: Clasificación de los transformadores

Clasificación de los Transformadores	a).-Por su núcleo	1.-Tipo columna (no acorazado) 2.-Acorazado 3.-Envolvente 4.-Radial.
	b).-Por numero de fases	1.-Monofásico 2.-Trifásico
	c).-Por el numero de devanados	1.-Dos devanados. 2.-Tres devanados.
	d).-Por medio refrigerante	1.-Aceite. 2.-Aire. 3.-Liquido inerte
	e).-Por el tipo de enfriamiento	1.-OA. 2.-OW 3.-OW/A 4.-OA/AF 5.-OA/FA/FO 6.-FOA 7.-OA/FA/FOA 8.-FOW 9.-A/A 10.-AA/FA
	f).-Por las conexión de sus devanados	1.- Δ-Δ 2.- Δ-Y 3.- Y-Y 4.- Y-Δ
	g).-Por la operación	1.-De Potencia 2.- Distribución 3.-Instrumento 4.-Horno Eléctrico 5.- Ferrocarril 6.-Elevador 7.-Reductor 8.-Transferencia
	h).-Por la regulación	1.- Regulación fija 2.- Regulación variable con carga 3.- Regulación variable sin carga

O=Aceite; A=Aire; W=Agua; F=Forzada; Δ= Delta; Y=Estrella

**Fuente: Agustín Gutiérrez Páucar – “Teoría y Análisis de Maquinas Eléctricas” (2000).**

### 2.1.13.2 RENDIMIENTO DE UN TRANSFORMADOR

Los transformadores también se comparan y valoran de acuerdo con su eficiencia. El rendimiento de un transformador se puede conocer por medio de la siguiente ecuación:

$$\eta = (P \text{ SALIDA} / P \text{ ENTRADA}) \times 100\% \quad (2.9)$$

$$\eta = (P \text{ SALIDA} / [P \text{ SALIDA} + P \text{ PERDIDAS}]) \times 100\% \quad (2.10)$$

La ecuación anterior se aplica a motores y generadores, así como a transformadores. Los circuitos equivalentes del transformador facilitan mucho los cálculos de la eficiencia.

Hay tres tipos de pérdidas que se representan en los transformadores:

- Pérdidas en el cobre.
- Pérdidas por histéresis.
- Pérdidas por corrientes parásitas.

Para calcular la eficiencia de un transformador bajo carga dada, sólo se suman las pérdidas de cada resistencia y se aplica la ecuación 2.10.

Puesto que la potencia es:

$$P \text{ SALIDA} = V_s I_s \cos \varphi \quad (2.11)$$

La eficiencia puede expresarse por:

$$\eta = (V_s I_s \cos \varphi / [P_{\text{cobre}} + P_{\text{núcleo}} + V_s I_s \cos \varphi]) \times 100\% \quad (2.12)$$

### 2.1.13.3 PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES

Las pérdidas que ocurren en los transformadores reales tienen que explicarse en cualquier modelo fiable de comportamiento de transformadores:

\* **Pérdidas en el cobre:** Son las pérdidas por resistencias en las bobinas primaria y secundaria del transformador; son proporcionales al cuadrado de la corriente de dichas bobinas.

\* **Pérdidas de corrientes parásitas:** Son las pérdidas por resistencia en el núcleo del transformador. Son proporcionales al cuadrado de la tensión aplicada al transformador.

\* **Pérdidas por histéresis:** Están asociadas a los reajustes de los dominios magnéticos en el núcleo durante cada medio ciclo. Ellos son una función compleja, no lineal, de la tensión aplicada al transformador.

\* **Flujo de dispersión:** Los flujos  $\Phi_P$  y  $\Phi_S$  que salen del núcleo y pasan solamente a través de una de las bobinas de transformador son flujos de dispersión. Estos flujos escapados producen una autoinductancia en las bobinas primaria y secundaria y los efectos de esta inductancia deben tenerse en cuenta.

### 2.1.14 SISTEMAS FLEXIBLES DE TRANSMISION DE CORRIENTE ALTERNA (FACTS)

Los sistemas de potencia convencionales, especialmente las líneas de transmisión se dicen que son inflexibles debido a que ofrecen poca o nula posibilidad de control en el flujo de potencia.

Los FACTS se definen como un Sistema de transmisión de corriente alterna que incorpora controladores estáticos y otros basados en electrónica de potencia para mejorar el control e incrementar la capacidad de transferencia de potencia; de tal forma que re-direccionan los flujos de potencia de manera tal que se mejora la

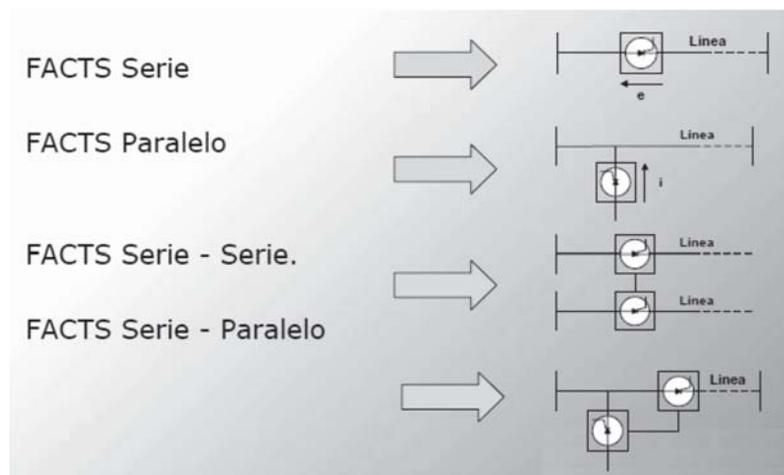
utilización de la red de transmisión y hacen que sea "más corta"; esto mejora la estabilidad y reduce las pérdidas de energía.

Una de las más grandes ventajas de los FACTS es que mejoran la estabilidad del sistema lo que permite mayores niveles de transferencia de potencia a través de largas distancias.

#### 2.1.14.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FACTS

Existe un gran número de dispositivos "FACTS" con distintas constituciones, no obstante, su principio de funcionamiento no suele ser complicado y en muchos de ellos se deriva de la simple aplicación de la electrónica a equipos conocidos tradicionalmente.

**Figura N°2. 13: Tipos de FACTS**



**Fuente: Albert Nubiola, Andreas Sumper Oriol Gomis – “Sistemas de Transmisión en Corriente Alterna flexibles FACTS” (2008).**

#### a) POR FUNCION:

- Control del flujo de potencia.
- Compensación de la energía reactiva.
- Incremento de la estabilidad transitoria.
- Control de la calidad de la potencia.

#### b) POR TOPOLOGIA:

- Conexión serie.
- Conexión paralelo.
- Combinación serie – serie.
- Combinación serie – paralelo.

### 2.1.14.2 COMPENSACIÓN SERIE

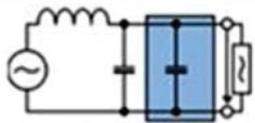
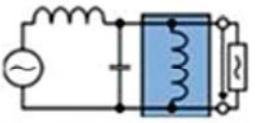
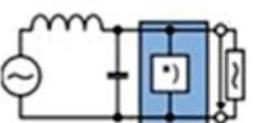
El principio de la compensación en serie consiste en controlar las ondas de tensión y corriente, corriente en la línea de transmisión, ya sea mediante un cambio en la reactancia de la línea, o bien mediante la inyección de una tensión en serie con la línea. La compensación serie se emplea para disminuir la reactancia de transferencia de una línea eléctrica a la frecuencia de la red. La instalación de un condensador en serie genera energía reactiva, que de una forma auto regulada, compensa una parte de la reactancia de transferencia de la línea.

### 2.1.14.3 COMPENSACIÓN SHUNT O EN PARALELO

La compensación en paralelo consiste en suministrar potencia reactiva a la línea, para aumentar la transferencia de potencia activa, manteniendo los niveles de tensión dentro de los rangos aceptables de seguridad. Tal como los controladores series, los elementos que se pueden conectar son los mismos, y la diferencia es que inyectan señales de corriente al sistema en el punto de conexión.

En el siguiente gráfico se muestran las diferentes opciones, dependiendo si se compensa con un condensador, un reactor o un sistema de electrónica de potencia.

Figura N°2. 14: Tipos de Compensadores SHUNT

Tipo	Nivel de Cortocircuito	Ángulo de transmisión	Voltaje después de carga	Aplicaciones
 <p>Capacitor Paralelo</p>	Casi sin cambio	Levemente aumentado	Alto	Estabilización de Voltaje con altas cargas
 <p>Reactor Paralelo</p>	Casi sin cambio	Levemente disminuido	Bajo	Estabilización de Voltaje con bajas cargas
 <p>STATCOM Compensador Estático Síncrono</p>	Casi sin cambio	Controlado	Limitado por el control	Rápido control de Voltaje Control de energía reactiva

Fuente: Fuente: Albert Nubiola, Andreas Sumper Oriol Gomis – “Sistemas de Transmisión en Corriente Alterna flexibles FACTS” (2008).

En este grupo están:

- Compensadores Estáticos Síncronos (STATCOM)
- Compensador Estático de Reactivos (SVS)
- Capacitor Encendido por Tiristores (TSC)

#### 2.1.14.4 COMPENSACIÓN CAPACITIVA

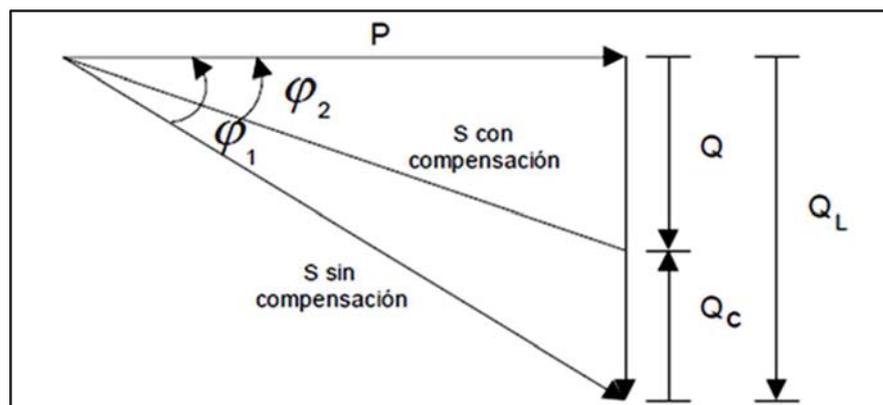
Los transformadores, motores, etc. son consumidores inductivos. Para la formación de su campo magnético estos toman potencia inductiva o reactiva de la red de alimentación, Esto significa para las empresas eléctricas una carga especial, que aumenta cuanto más grande es y cuanto mayor es el desfase. Esta es la causa por la cual se pide a los consumidores o usuarios mantener un factor de potencia cercano a 1 (uno). Los usuarios con una alta demanda de potencia reactiva son equipados con contadores de potencia reactiva. La demanda de potencia reactiva se puede reducir colocando condensadores en paralelo a las líneas o subestaciones.

Dependiendo de la potencia reactiva capacitiva  $Q_c$  de los condensadores se anula total o parcialmente la potencia reactiva inductiva tomada de la red. A este proceso se le denomina compensación.

Con la compensación se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante, es decir, se mejora el factor de potencia.

Visto en el triángulo de potencias la compensación capacitiva se puede apreciar lo siguiente:

**Figura N°2. 15: Triángulo de Potencias**

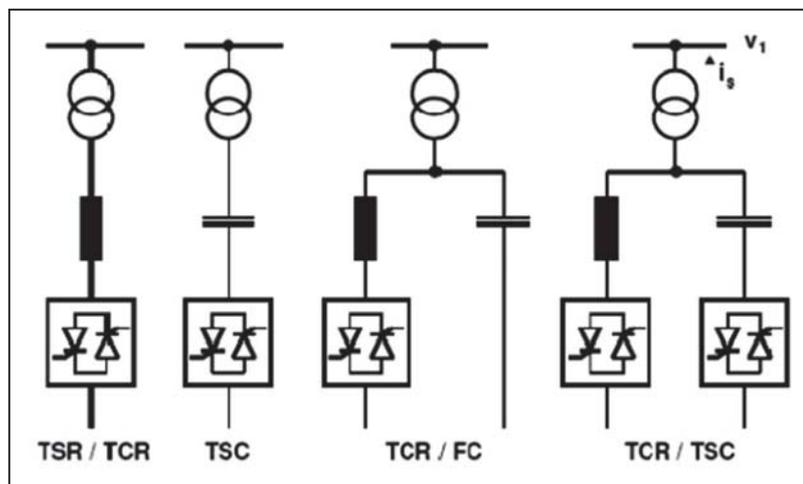


Fuente: Ramón M. Mujal – “Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas” (2002)-  
Pág. 54.

### 2.1.14.5 COMPENSADOR ESTÁTICO DE REACTIVOS (SVS)

Los compensadores estáticos de reactivos controlados mediante tiristores son los pioneros de los actuales controladores FACTS. Desarrollados a principios de la década de los setenta para compensación de hornos de arco industriales fueron adaptados después para aplicaciones de transmisión. Un compensador estático de reactivos conectado en derivación está compuesto de bancos de capacitores y de reactores conmutados mediante tiristores como se muestra en el gráfico N° 2 - 16. Con una apropiada coordinación de la conmutación de los capacitores y el control de los reactores, la salida en VARS puede ser variada continuamente entre los rangos capacitivo e inductivo del equipo.

**Figura N°2. 16: Compensador SVS**



**Fuente: Albert Nubiola, Andreas Sumper Oriol Gomis – “Sistemas de Transmisión en Corriente Alterna flexibles FACTS” (2008).**

El compensador es operado normalmente para regular el voltaje del sistema de transmisión en un terminal determinado. La regulación cercana al voltaje nominal puede ser alcanzada en el rango normal de operación definido por las máximas corrientes capacitivas e inductivas del SVS. Sin embargo, la corriente capacitiva máxima obtenible decrece linealmente, (y la potencia reactiva generada en cuadratura), con el voltaje del sistema ya que el SVS se convierte en un capacitor fijo cuando la máxima salida capacitiva es alcanzada.

Por lo tanto la capacidad de soporte de voltaje del SVS convencional se deteriora rápidamente si el voltaje del sistema decrece.

Adicionalmente al soporte de voltaje, los SVS son empleados también para el mejoramiento de la estabilidad transitoria y dinámica.

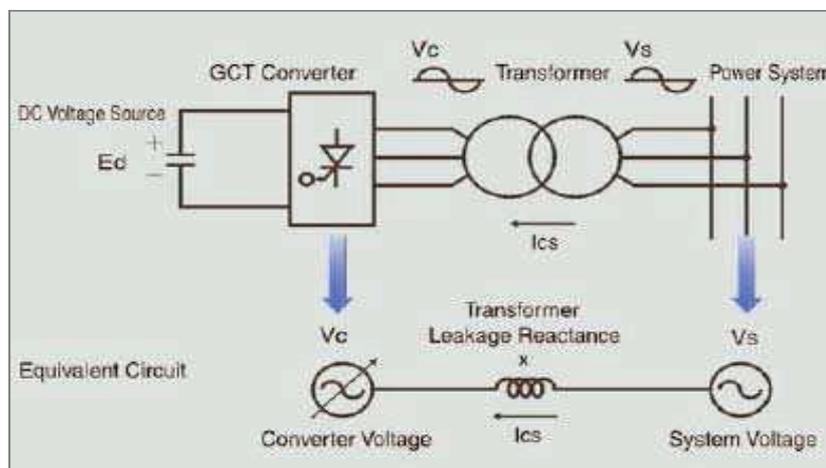
#### 2.1.14.6 COMPENSADOR ESTÁTICO SINCRONO (STATCOM)

A diferencia de los demás dispositivos FACTS el STATCOM no se basa en dispositivos de conmutación, la inyección de corriente se obtiene con la ayuda de un condensador en corriente continua, conectado a la línea de transmisión mediante un convertidor con fuente de tensión y un transformador en paralelo, el STATCOM puede proporcionar compensación capacitiva o inductiva, según la necesidad permitiendo de esta forma:

- Regular el voltaje.
- Mejorar la estabilidad (estado estable y dinámica).
- Regular factor de potencia.

Este equipo se comporta como un compensador síncrono, permitiendo un control continuo de la potencia reactiva, ofreciendo una mayor velocidad de respuesta y mejor estabilidad aunque a mayor costo.

**Figura N°2. 17: Esquema de Conexión de STATCOM**



**Fuente: Albert Nubiola, Andreas Sumper Oriol Gomis – “Sistemas de Transmisión en Corriente Alterna flexibles FACTS” (2008).**

**CAPITULO III**  
**DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

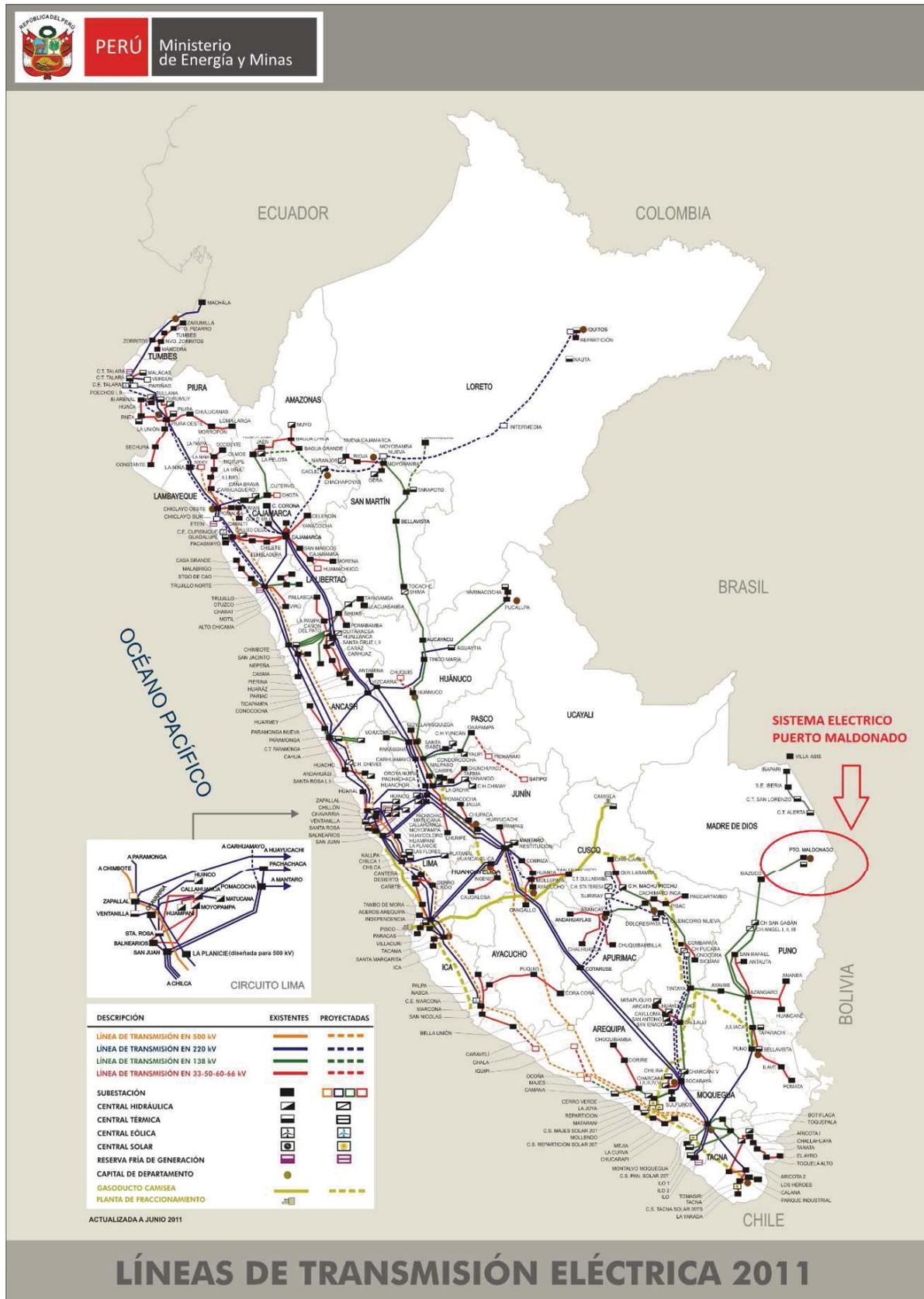
El presente capítulo da a conocer la descripción actual del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado, las características físicas del mismo como son líneas y sub estaciones de transformación de potencia, así como también el recorrido de la línea existente, analizar el estado actual de operación tomando en cuenta los criterios como el cumplimiento de Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE), el cual indica que el sistema debe operar dentro de las tolerancias establecidas para la variación de tensión y por debajo de su capacidad máxima de transmisión o transporte de electricidad, sin sobrecarga en operación normal y el margen de sobrecarga en condiciones de emergencia.

### **3.2 UBICACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO**

El sistema eléctrico en estudio dentro del SEIN está ubicado en el área geográfica denominada “Zona Sur”, comprendido por los departamentos Puerto Maldonado, Cusco, Arequipa, Puno, Moquegua y Tacna.

A su vez este sistema eléctrico, denominado “Puerto Maldonado” por la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. dentro de su área de concesión, como se aprecia en la Figura **N° 3 - 1**

Figura N°3. 1: Ubicación de los Sistemas de Distribución Eléctrica



Fuente: Ministerio de Energía y de Minas [<http://www.minem.gob.pe/>]

Las principales vías de acceso con que cuenta son Terrestre: carretera interoceánica: km (12 horas en bus); cusco puerto Maldonado 1 hora de viaje vía Aérea: con vuelos regulares y directos.

### 3.3 CONFIGURACIÓN EXISTENTE DEL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONDO

Electro Sur Este, es una empresa dedicada a la distribución de energía eléctrica en los departamentos de Cusco, Apurímac, Madre de Dios y Ayacucho, cuenta con el sistema eléctrico de subtransmisión Puerto Maldonado comprendido por las subestaciones de PUERTO MALDONADO, alimentadas desde la subestación de Mazuco propiedad de la empresa ELECTRO SUR ESTE S.A.A. El Sistema Eléctrico Puerto Maldonado está conformado por las subestaciones de Potencia.

Las Líneas más Importantes del sistema son:

Figura N°3. 2: Ubicación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado



Fuente: Electro sur Este S.A.A. [E.P.]

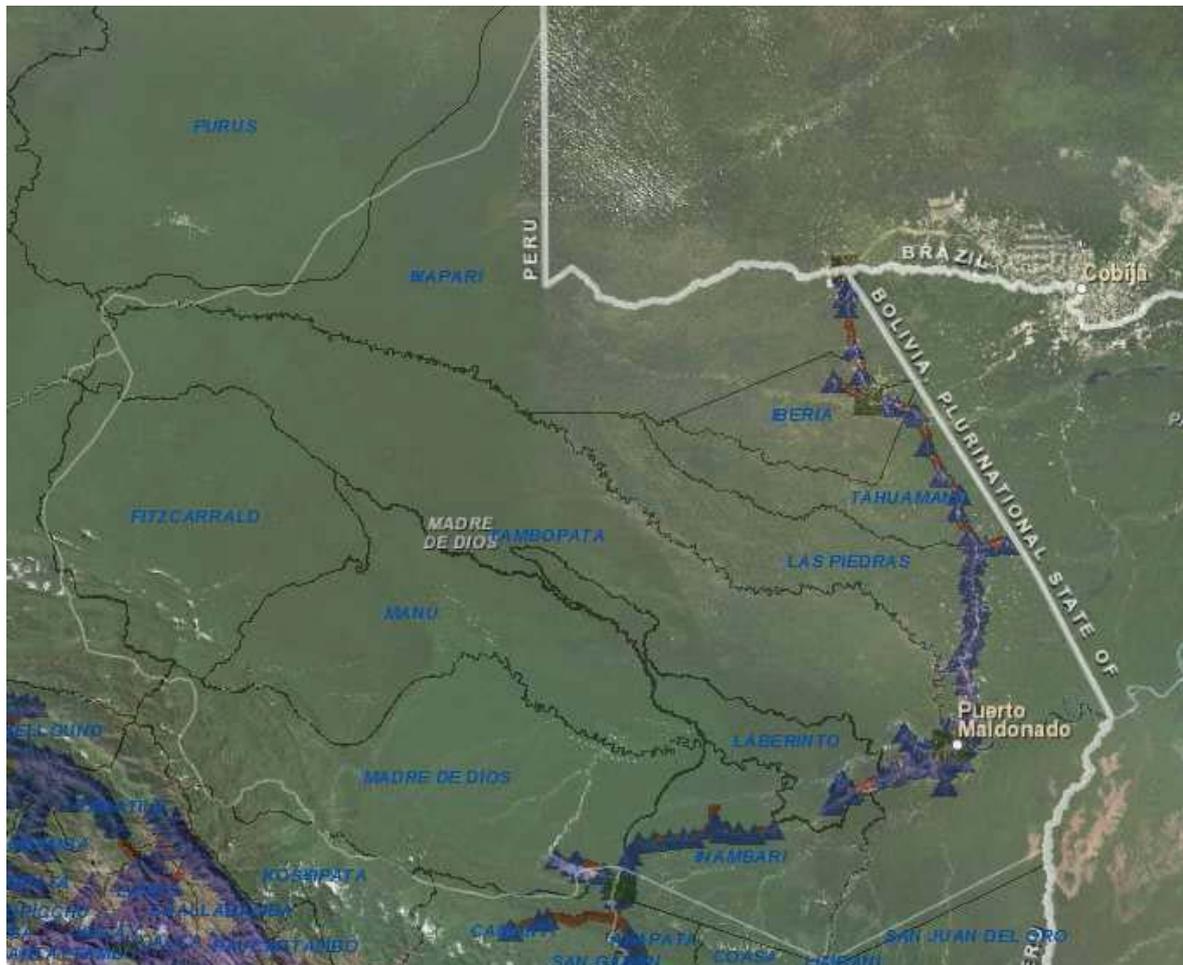
### 3.3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA EN ESTUDIO

En el presente ítem es importante conocer las características técnicas, parámetros eléctricos en los que opera el sistema, ya que ayudará a evaluar y hacer un modelamiento de las redes, para así tener un diagnóstico de la operación actual del sistema teniendo en cuenta la norma técnica de calidad de servicios eléctricos NTCSE.

### 3.3.2 SUBESTACION ELÉCTRICAS COMPRENDIDA EN EL SISTEMA ELECTRICO

A continuación, se presenta la descripción de las principales características de la subestación con la que cuenta el Sistema Eléctrico Puerto Maldonado.

**Figura N°3. 3: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado**



Fuente: Electro sur Este S.A.A. [E.P.]

### 3.3.2.1 SUBESTACIÓN DE SUBTRANSMISION- “PUERTO MALDONADO”

La subestación de PUERTO MALDONADO pertenece a la empresa de distribución Electro Sur Este, cuenta en su configuración de esquema unifilar con un transformador de potencia de 15 MVA de potencia, 03 Barras (138 kV, 22.9 kV, 10 kV) y seis salidas en media tensión el mismo que se puede mostrar en la siguiente **Figura N° 3.4:**

**Figura N°3. 4: Salidas de la Subestación de Puerto Maldonado**



Fuente: Electro sur Este S.A.A [E.P.]

- **Transformador PUERTO MALDONADO:**

- Fabricante : ABB.
- Modelo : Trifásico.
- Año : 2008.
- Potencia : 15/11/04 MVA.
- Relación de Transformación : 138/10/22.9 kV.
- Intensidad : 63.7/126.0/808.3 A.
- Grupo de Conexión : YNyn0 YNd5.
- Refrigeración : ONAN - ONAF.

- Regulación de TAP : Automático.
- Altitud : 1000 m.s.n.m.
- Frecuencia : 60 Hz

### 3.1.1.1.1. BAHIAS DE LA SUBESTACIÓN DE PUERTO MALDONADO

#### a) En la Barra de 138 kV.

Equipamiento en la celda de llegada al transformador.

- Un Transformador trifásico de potencia de relación de 138/10/22.9 kV, potencia 15/11/04, grupo YNyn0 YNd5.
- Tres (03) transformadores de tensión capacitivos de relación de transformación  $138/\sqrt{3}: 138/\sqrt{3}: 0.1/\sqrt{3}$  kV.
- Un (01) seccionador de barra de 145 kV, 800 A.
- Un (01) interruptor de potencia mando tripolar de 145 kV, 31.5 kA.
- Tres (03) pararrayos con contador de descarga de  $U_r = 120$  kV,
- $U_c = 132$  kV,  $I_n = 10$  kA.

#### b) En la barra de 22.9 kV

Equipamiento en la celda de salida de línea hacia Iberia e Inambari

- Tres (03) transformadores de tensión capacitivos de relación de transformación  $22.9/\sqrt{3}: 0.1/\sqrt{3}: 0.1/\sqrt{3}$  kV.
- Un (01) seccionador de barra sin cuchilla de puesta a tierra de 36.0 kV, 800 A.
- Un (01) interruptor de potencia mando tripolar de  $U_n = 22.9$  kV,  $I_n = 560$  A.
- Tres (03) pararrayos con contador de descarga de 21.3 kV, 40 kA.
- Tres (03) transformadores de corriente de relación 50-100/1/1 A.

#### c) En la barra de 10.0 kV

Equipamiento en la celda de llegada del transformador.

- Un (01) seccionador de barra de 12.0 kV, 1250 A.
- Un (01) interruptor de potencia mando tripolar de 12.0 kV, 1250 A.
- Tres (03) transformadores de Tensión de relación  $10.0/\sqrt{3}: 0.1/\sqrt{3}: 0.1/\sqrt{3}$  kV.  
y  $U_n = 12.0$  kV.

**Figura N°3. 5: Vista Panorámica Sub Estación Puerto Maldonado**



**Fuente: Electro sur Este S.A.A [E.P.]**

### **3.1.1.1.2. SALIDAS DE LA SUBESTACIÓN DE PUERTO MALDONADO**

El Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado está alimentada por la Línea en 138 KV proveniente de la subestación de MAZUCO, hasta la subestación de PUERTO MALDONADO la misma que está conformada por cinco salidas en media tensión, PM-01, PM-02, PM-03, PM-06, PM-07 los cuales se derivan desde sus instalaciones las mismas que a continuación los detallamos:

#### **3.1.1.1.2.1. SALIDA PM-01**

Línea de media tensión en 10 kV. que en su recorrido alimenta la parte sur-oeste de la ciudad de puerto Maldonado. Se muestran en el siguiente cuadro la configuración de la línea es radial y en anillos de tipo de sistema trifásico, así como que las estructuras de soporte que contienen son íntegramente de concreto armado centrifugado.

**Tabla N°3. 1: Características de la Salida en Media Tensión PM 01**

TIPO DE ESTRUCTURA	216 DE C.A.C.
TIPO DE RED ELÉCTRICA	AÉREA CON 96% Y SUBTERRÁNEA EN TRAMOS CORTOS CON 4%
TIPO DE SISTEMA	TRIFÁSICO.
NÚMERO DE CONDUCTORES	3.
MATERIAL DE CONDUCTOR	ALUMINIO Y COBRE
TIPO DE CONDUCTOR	120,70,50,35,25 Y 16 MM2 AAAC,CU_DES,NXSEY,NKY Y NA2XS2Y.
LONGITUD	21.125 KM DE RECORRIDO
CONFIGURACIÓN	RADIAL Y EN ANILLO.
AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	2011 CON 4 AÑOS DE SERVICIO

**Fuente: Electro Sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]**

#### 3.1.1.1.2.2. Salida PM-02

Línea de media tensión en 10 kV. que en su recorrido alimenta la parte central-norte de la ciudad de Puerto Maldonado. Se muestran en el siguiente cuadro la configuración de la línea es radial de tipo de sistema trifásico y bifásico, así como que las estructuras de soporte que contienen son íntegramente de concreto armado centrifugado.

**Tabla N°3. 2: Características de la Salida en Media Tensión PM 02**

TIPO DE ESTRUCTURA	302 DE C.A.C.
TIPO DE RED ELÉCTRICA	AÉREA CON 98% Y SUBTERRÁNEA EN TRAMOS CORTOS CON 2 %
TIPO DE SISTEMA	TRIFÁSICO Y BIFASICO
NÚMERO DE CONDUCTORES	3 Y 2.
MATERIAL DE CONDUCTOR	ALUMINIO Y COBRE
TIPO DE CONDUCTOR	150,120,70,50,35,25 Y 16 MM2 AAAC,CU_DES,N2XS2Y Y NA2XS2Y

LONGITUD	20.278 KM DE RECORRIDO
CONFIGURACIÓN	RADIAL
AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	2011 CON 4 AÑOS DE SERVICIO

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]

### 3.1.1.1.2.3. SALIDA PM- 03

Línea de media tensión en 10 kV. que en su recorrido alimenta la parte sur-este de la ciudad de Puerto Maldonado. Se muestran en el siguiente cuadro la configuración de la línea es radial de tipo de sistema trifásico y bifásico, así como que las estructuras de soporte que contienen son de concreto armado centrifugado en su gran mayoría con solo un pequeño número de soportes de Fierro.

**Tabla N°3. 3: Características de la Salida en Media Tensión PM 03**

TIPO DE ESTRUCTURA	283 DE C.A.C Y 3 de FIERRO
TIPO DE RED ELÉCTRICA	AÉREA CON 98% Y SUBTERRÁNEA EN TRAMOS CORTOS CON 2%
TIPO DE SISTEMA	TRIFÁSICO Y BIFILAR
NÚMERO DE CONDUCTORES	3 Y 2
MATERIAL DE CONDUCTOR	ALUMINIO Y COBRE
TIPO DE CONDUCTOR	150,120,70,50,35,25,16 Y 10 MM2 AAAC,CU_DES,N2XSY Y NA2XS2Y
LONGITUD	13.986 KM DE RECORRIDO
CONFIGURACIÓN	RADIAL.
AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	2011 CON 4 AÑOS DE SERVICIO

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]

Las tres salidas antes mencionadas recorren toda la ciudad de Puerto Maldonado a los que son considerados como sector típico 3 por la empresa Electro Sur Este.

**3.1.1.1.2.4. SALIDA PM- 06**

Línea de media tensión en 22.9 kV. que en su recorrido alimenta a los Distritos de Laberinto, Inambari y Tambopata. Se muestran en el siguiente cuadro la configuración de la línea es radial de tipo de sistema trifásico, bifilar y mrt a medida que se extiende, así como que las estructuras de soporte que contienen son de concreto armado centrifugado en su gran mayoría con solo un pequeño número de soportes de Fierro.

**Tabla N°3. 4: Características de la Salida en Media Tensión PM 06**

TIPO DE ESTRUCTURA	829 DE C.A.C, Y 01 de FIERRO
TIPO DE RED ELÉCTRICA	AÉREA EN TODO EL RECORRIDO
TIPO DE SISTEMA	TRIFÁSICO, BIFILAR Y MRT A MEDIDA QUE SE EXTIENDE
NÚMERO DE CONDUCTORES	3, 2 Y 1
MATERIAL DE CONDUCTOR	ALUMINIO
TIPO DE CONDUCTOR	70,50,35, 25 Y 16 MM <sup>2</sup> AAAC
LONGITUD	116.987 KM DE RECORRIDO
CONFIGURACIÓN	RADIAL
AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	2011 CON 04 AÑOS DE SERVICIO

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]

**3.1.1.1.2.5. SALIDA PM- 07**

Línea de media tensión en 22.9 kV. que en su recorrido alimenta a los Distritos de Tahuamanu y Las Piedras. Se muestran en el siguiente cuadro la configuración de la línea es radial de tipo de sistema trifásico, bifilar y mrt a medida que se extiende, así como que las estructuras de soporte que contienen son de concreto armado centrifugado en su gran mayoría con solo un pequeño número de soportes de Fierro.

**Tabla N°3. 5: Características de la Salida en Media Tensión PM 07**

TIPO DE ESTRUCTURA	550 DE C.A.C. Y 04 de FIERRO
TIPO DE RED ELÉCTRICA	AÉREA CON 99% Y SUBTERRÁNEA EN TRAMOS CORTOS CON 1%

TIPO DE SISTEMA	TRIFÁSICO, BIFILAR Y MRT A MEDIDA QUE SE EXTIENDE
NÚMERO DE CONDUCTORES	3, 2 Y 1
MATERIAL DE CONDUCTOR	ALUMINIO Y COBRE.
TIPO DE CONDUCTOR	120,90,70,50,35,25 Y 16 MM2 AAAC,CU_DES,N2XSY Y NA2XS2Y
LONGITUD	54.555 KM DE RECORRIDO
CONFIGURACIÓN	RADIAL
AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	2011 CON 04 AÑOS DE SERVICIO

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución.  
[E.P.]

### 3.1.2. LINEAS DE TRANSMISIÓN COMPRENDIDAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO

El sistema eléctrico en estudio cuenta con una línea de transmisión que suministra energía eléctrica desde la subestación de SAN GABAN a todo el departamento de Madre de Dios, teniendo como nivel de tensión 138 kV. De una longitud de 69.2 km. Con una capacidad de 470 A. y potencia nominal de 112 MVA. Esta línea está bajo la concesión de la empresa Electro Sur Este.

#### 3.1.2.1. LÍNEA DE TRANSMISIÓN SAN GABAN - MAZUKO – 138 kV.

La presente línea muestra las siguientes características:

- Código línea : L-1014/1.
- Tensión nominal (kV) : 138.
- Número de Ternas : 01 para L-1014/1
- Disposición de Conductores: Triangular.
- Estructuras
- N° de Estructuras : 320 para L-1014/1
- Material : ACERO.

#### Parámetros Eléctricos

- Tensión Nominal : 138 kV.
- Longitud de Línea : 69.2 Km.

- Corriente Máxima : 470 A.
- Potencia Nominal : 112 MVA.
- Impedancia de la Línea : 0.5984 Ohm/Km.
- Frecuencia : 60 Hz.

#### **Características del conductor de Línea.**

- Material : AAAC.
- Sección : 120 mm<sup>2</sup>.
- Diámetro Exterior : 14.3 mm.
- Características Mecánicas:
  - Número de Hilos : 19.
  - Peso del Conductor : 335 kg/km.
  - Carga de Rotura mínima a la tracción: 3453 Kg.
  - Módulo de elasticidad : 6.35 kg/ mm<sup>2</sup>

La línea de transmisión en 138 kV. SAN GABAN - MAZUKO, viene operando desde el año 2010 por la empresa Electro Sur Este.

#### **3.1.2.2. LÍNEA DE TRANSMISIÓN MAZUKO – PUERTO MALDONADO – 138 kV.**

**La presente línea muestra las siguientes características:**

- Código línea : L-1015/1.
- Tensión nominal (kV) : 138.
- Número de Ternas : 01 para L-1015/1
- Disposición de Conductores: Triangular.
- Estructuras
- N° de Estructuras : 650 para L-1015/1
- Material : ACERO.

#### **Parámetros Eléctricos**

- Tensión Nominal : 138 kV.
- Longitud de Línea : 152.6 Km.
- Corriente Máxima : 455 A.
- Potencia Nominal : 109 MVA.

- Impedancia de la Línea : 0.5984 Ohm/Km.
- Frecuencia : 60 Hz.

#### **Características del conductor de Línea.**

- Material : AAAC.
- Sección : 120 mm<sup>2</sup>.
- Diámetro Exterior : 14.3 mm.
- Características Mecánicas:
  - Número de Hilos : 19.
  - Peso del Conductor : 335 kg/km.
  - Carga de Rotura mínima a la tracción: 3453 Kg.
  - Módulo de elasticidad : 6.35 kg/ mm<sup>2</sup>

La línea de transmisión en 138 kV. MAZUKO – PUERTO MALDONADO, viene operando desde el año 2010 por la empresa Electro Sur Este.

## CAPITULO IV

### **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PUERTO MALDONADO.**

## 4.1 INTRODUCCIÓN

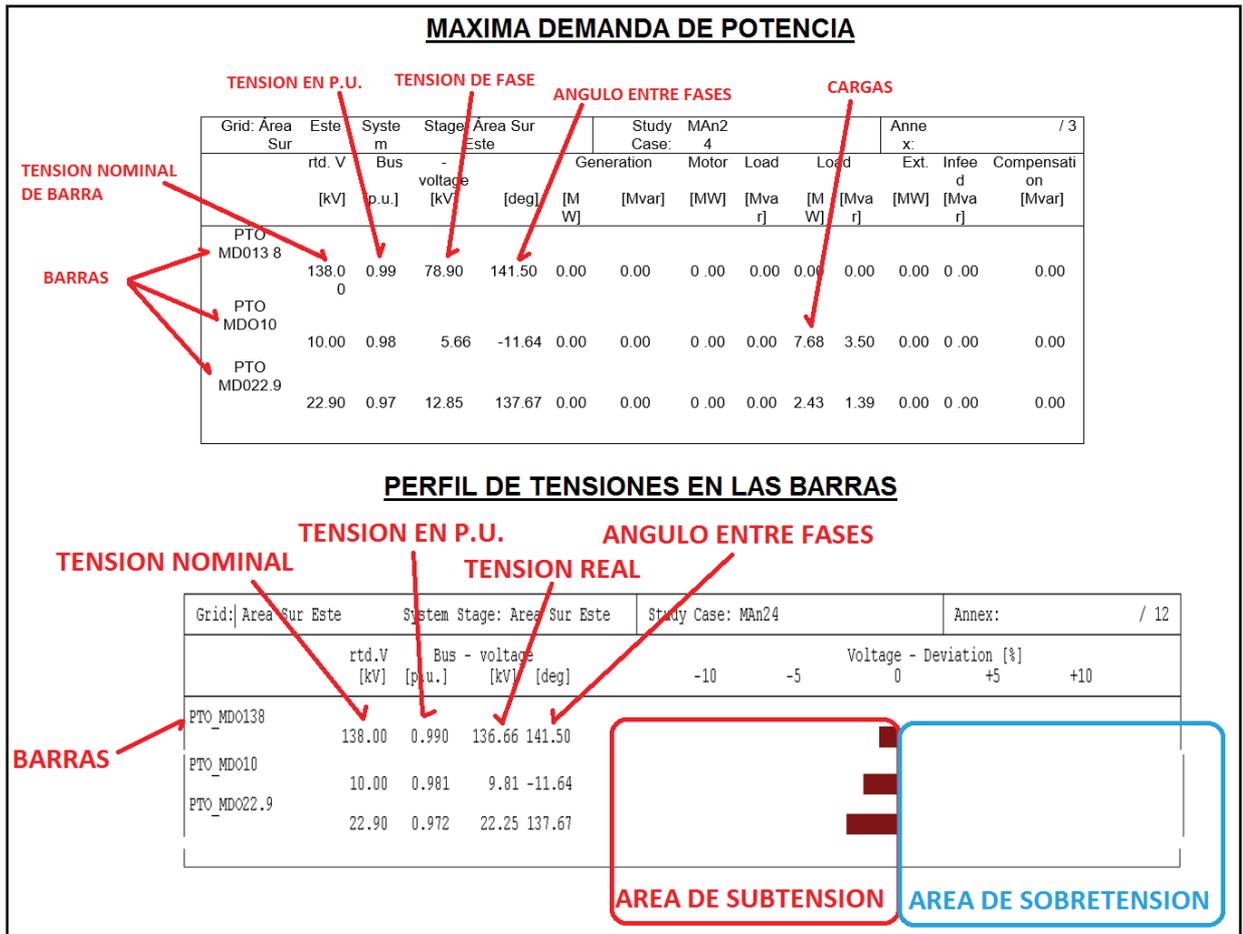
Se realizará la evaluación del sistema eléctrico Puerto Maldonado considerando solo los alimentadores en Media Tensión, realizando para ello una proyección en un horizonte de 20 años, en lo referente al crecimiento de la demanda, para ello el área de planeamiento de la Empresa Electro Sur Este se han desarrollado estudios de mercado para la región Madre de Dios, con la intención de realizar proyecciones crecimientos de demanda futura en sus redes de media tensión.

Paralelamente OSINERGMIN también realiza por su cuenta las proyecciones de demanda con el fin de realizar el estudio del plan de inversiones según el crecimiento de la demanda para los años futuros ya que en este sector se ha venido presentando un crecimiento de la demanda principalmente del sector minero.

En el presente capítulo, se evalúa el comportamiento del sistema eléctrico en media tensión del Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado en sus niveles de tensión de 10.0 y 22.9 kV.(la evaluación será solo para los alimentadores de dichas barras) año a año desde el 2014 hasta el 2023, considerando las pérdidas y la demanda en diferentes periodos; tomando en cuenta la proyección de la demanda realizada por la Empresa Electro Sur este S.A.A. y con el empleo del Software **DIGSILENT POWER FACTORY 15.1.6.**

A continuación se describen los cuadros que se utilizaran para el análisis.

Figura N°4. 1: Descripción de cuadros utilizados



Fuente: [E.P.]

## 4.2 CÁLCULO DE LA MÁXIMA DEMANDA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO

En el capítulo anterior se describió el sistema eléctrico de Puerto Maldonado, tomando como línea base de estudio las cargas representativas de los alimentadores en el año 2013.

En el presente capítulo se realizarán las simulaciones para una proyección en un horizonte de 10 años, de esta manera podremos evaluar y analizar el comportamiento del sistema eléctrico: en los alimentadores en Media Tensión, la Cargabilidad en los transformadores, en las redes y las líneas así como las variaciones de las tensiones en las barras de los alimentadores, con el fin de proyectar alternativas de solución en un escenario futuro de crecimiento de demanda máxima.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el año 2013 (línea base), el flujo de potencia y su diagrama del perfil de tensiones obtenidos en **Digsilent 15.1.6**

**Tabla N°4. 1: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2013- SEP- Puerto Maldonado 10.0 – 22.9 kV**

Grid: Área Sur Este	System Stage: Área Sur Este	Study Case: MAn2 4	Annex: / 3									
rtd. V [kV]	Bus [p.u.]	- voltage [kV]	[deg]	Generation [MW]	[Mvar]	Motor [MW]	Load [Mvar]	Load [MW]	Load [Mvar]	Ext. [MW]	Infeed [Mvar]	Compensation [Mvar]
PTO MD0138	138.00	0.99	78.90	141.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.66	-11.64	0.00	0.00	0.00	0.00	7.68	3.50	0.00	0.00
PTO MD022.9	22.90	0.97	12.85	137.67	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43	1.39	0.00	0.00

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]**

Según Podemos observar la **Tabla 4.1** los resultados del análisis de flujo de potencia, de las barras PTO\_MDO138, PTO\_MDO22.9 y PTO\_MDO10 donde las caídas de tensión corresponden a 0.9, 0.98 y 0.97 reflejando el 1.00%, 2.80% Y 1.90% Respectivamente, encontramos que la tensión a la fecha tiene una caída de un 2.8% en la barra de 22.9 kV. Considerándola casi estable en la proyección, por ser la salida que soporta el consumo de las empresas mineras de la zona.

**Tabla N°4. 2: Perfil de Tensiones en las barras del Sub Sistema Eléctrico (SSE)**

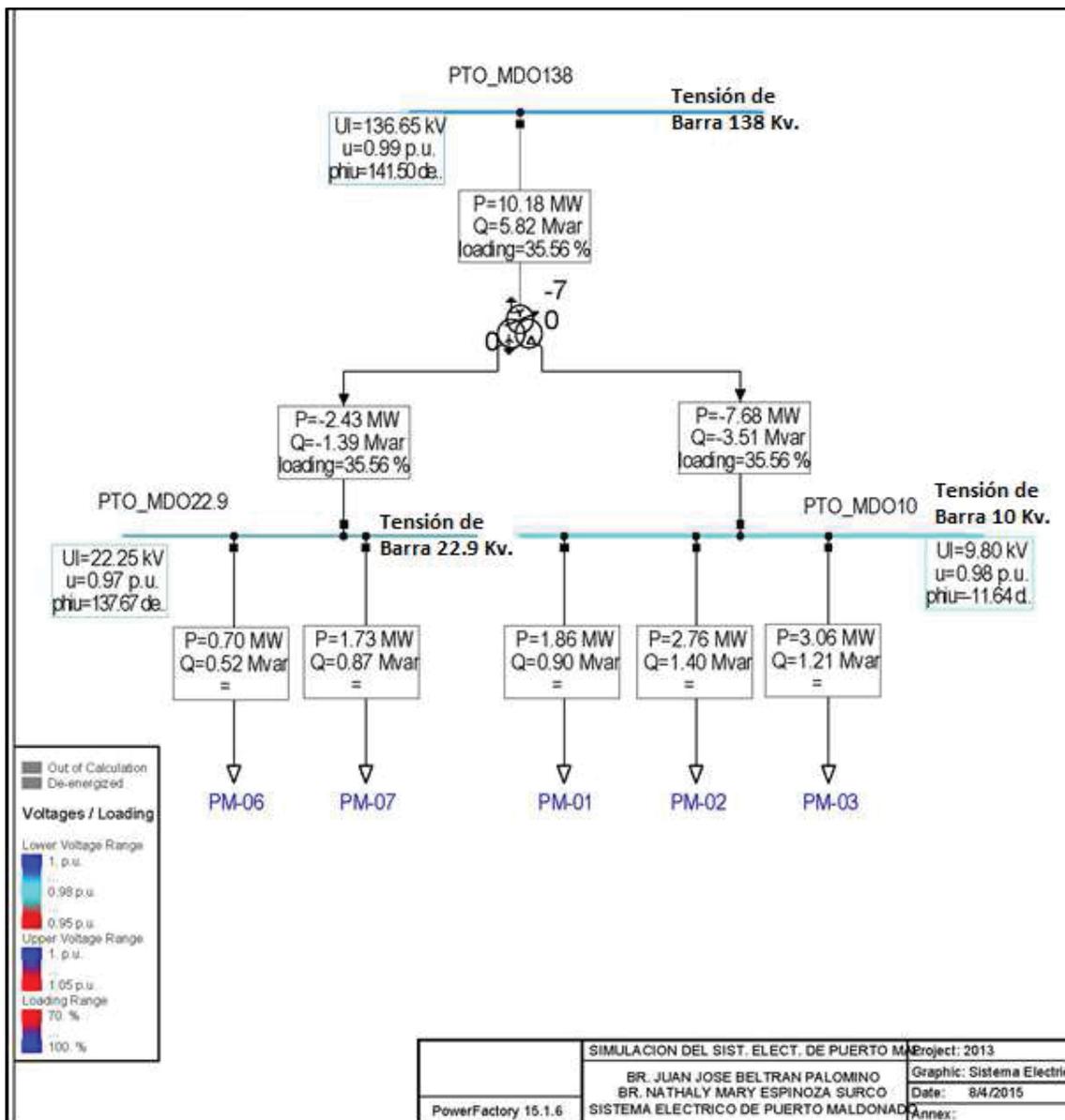
Grid: Área Sur Este	System Stage: Área Sur Este	Study Case: MAn24	Annex: / 12						
rtd.V [kV]	Bus [p.u.]	- voltage [kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%]	0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.990	136.66	141.50			■		
PTO_MDO10	10.00	0.981	9.81	-11.64			■		
PTO_MDO22.9	22.90	0.972	22.25	137.67			■		

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]**

Tomaremos como línea de base el año 2013, al correr flujo de potencia, el perfil de tensiones de la SSE Pto Maldonado nos muestra que en las barras existe una caída

de tensión que oscila entre 0 a 2.80 %, Así mismo observamos que el Tap del transformador de potencia trifásico se encuentra en la Posición de Regulación 0.7. Por lo dicho anteriormente se tomará como referencia el año 2013 y se realizaran las simulaciones de proyección de 10 años entre el periodo comprendido del 2014 al 2023. En base a estas simulaciones proyectadas se realizarán las observaciones del caso y se atenderán donde sea necesario, ya sea con una compensación o un cambio de algún componente del sistema, según corresponda.

Figura N°4. 2: Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]

### 4.3 Proyección de la Máxima Demanda del SSE Puerto Maldonado periodo 2014 - 2022.

Para evaluar la máxima demanda del SSE Puerto Maldonado, se tomó en consideración el análisis de la proyección de la demanda de Puerto Maldonado, realizada por la empresa concesionaria Electro Sur Este, con la finalidad de verificar el incremento de la demanda de potencia eléctrica de los clientes libres y regulados. Es por ello que esta proyección es de suma importancia para el desarrollo del presente capítulo, puesto que con dicho análisis se podrá saber y conocer el estado actual, así como el comportamiento del SSE Puerto Maldonado durante los próximos 10 años. En este sentido la información de la proyección es totalmente confiable y de primera fuente (Electro Sur Este S.A.A.) para el desarrollo del presente capítulo; el mismo que a continuación se muestra:

**Tabla N°4. 3: Máxima Demanda de Potencia proyectada para Alimentadores del Mercado Regulado - Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. 2012-2230**

Año	PM-06		PM-07		PM-01		PM-02		PM-03	
	MW	MVAR								
2012	0.67	0.50	1.66	0.83	1.77	0.86	2.63	1.33	2.91	1.15
2013	0.70	0.52	1.73	0.87	1.86	0.90	2.76	1.40	3.06	1.21
2014	0.73	0.55	1.80	0.90	1.95	0.94	2.90	1.47	3.21	1.27
2015	0.76	0.57	1.88	0.94	2.05	0.99	3.04	1.54	3.37	1.33
2016	0.80	0.59	1.96	0.98	2.15	1.03	3.20	1.62	3.54	1.40
2017	0.83	0.61	2.04	1.02	2.26	1.09	3.36	1.70	3.72	1.47
2018	0.86	0.64	2.13	1.07	2.37	1.14	3.52	1.78	3.90	1.54
2019	0.90	0.67	2.21	1.11	2.49	1.20	3.70	1.87	4.10	1.62
2020	0.94	0.69	2.31	1.16	2.61	1.26	3.88	1.96	4.30	1.70
2021	0.98	0.72	2.40	1.21	2.74	1.32	4.08	2.06	4.52	1.79
2022	1.02	0.75	2.51	1.26	2.88	1.39	4.28	2.17	4.74	1.88
2023	1.06	0.79	2.61	1.31	3.02	1.46	4.50	2.27	4.98	1.97

Fuente: Electro sur Este S.A.A. [E.P.]

El porcentaje de consumo proyectado en función a la demanda creciente y luego de haber realizado las tendencias estadísticas, que según ELSE S.A.A. usa unos factores para estimar la proyección de demanda en las cargas que se vayan incrementando en el futuro, es la siguiente:

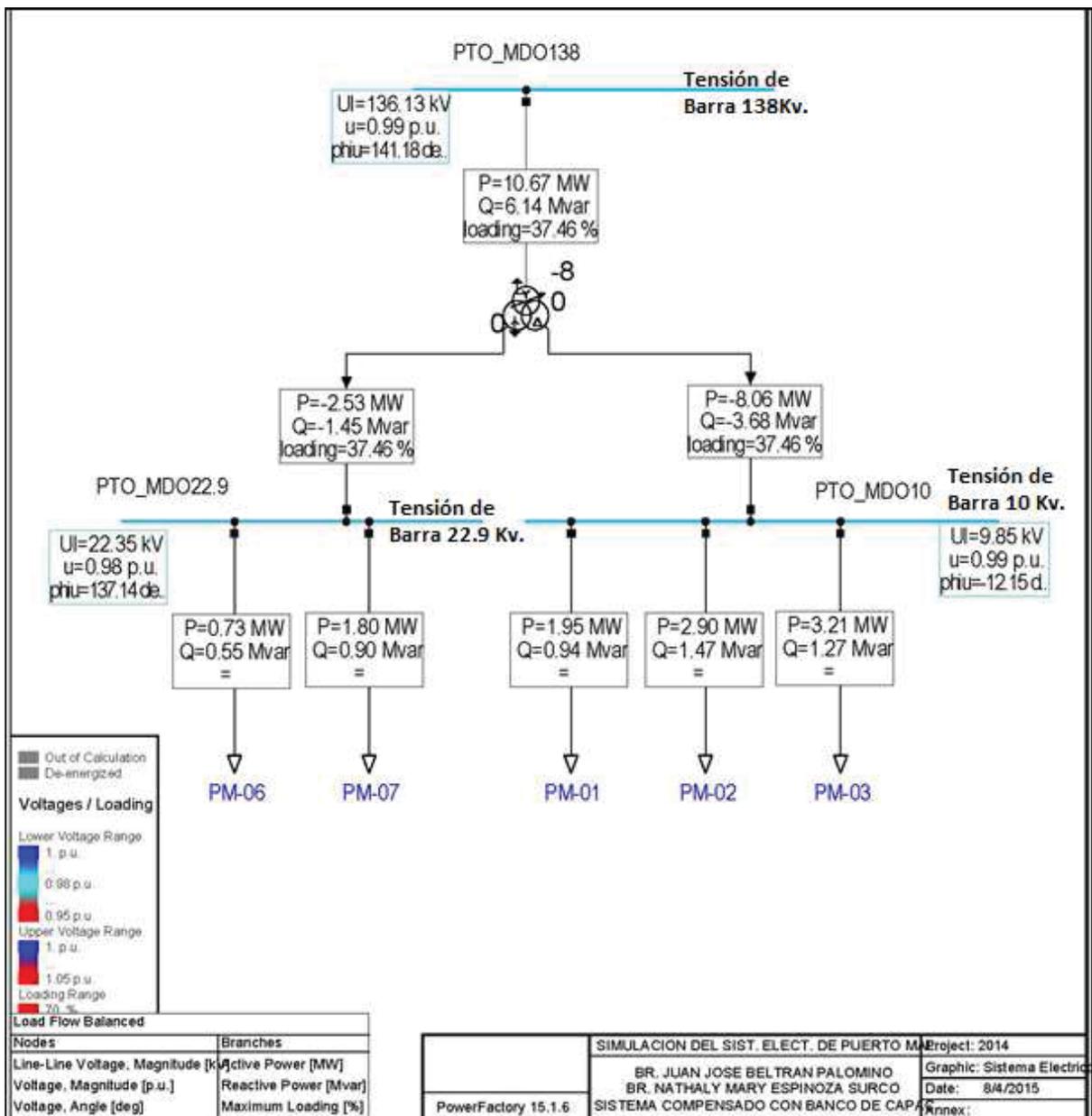
Para el caso rural se utilizará: 4.20 %

Para el caso urbano se utilizará: 5.00 %

Mientras que la proyección de las cargas especiales, tiene un comportamiento similar, en tanto que depende única y exclusivamente de la necesidad del propio cliente, y lo definen de manera constante durante períodos conocidos en este caso la proyección será desde el 2013 al 2022.

#### 4.4 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2014.

Figura N°4. 3: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2014



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]

En la **Figura. 4.3** se muestra la simulación del sistema eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2014 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

**Tabla N°4. 4: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2014 - SEP- Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV.**

Grid: Area Sur Este		System Stage: Area Sur Este			Study Case: MAn24				Annex: / 6				
rtd. V [kV]	Bus-voltage [p.u.] [kV]	[deg]	Generation [MW] [Mvar]	Motor Load [MW] [Mvar]	Load [MW] [Mvar]	Ext. Infeed C [MW] [Mvar]	ompensation [Mvar]						
PTO_MDO10	10.00	0.99	5.69	-12.15	0.00	0.00	0.00	0.00	8.06	3.68	0.00	0.00	0.00
PTO_MDO138	138.00	0.99	78.59	141.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO_MDO22.9	22.90	0.98	12.90	137.14	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53	1.45	0.00	0.00	0.00

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina del Sistema Informático de Distribución. [E.P.]**

**Tabla N°4. 5 Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este		System Stage: Area Sur Este			Study Case: MAn24				Annex: / 3			
rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.] [kV]	[deg]				Voltage - Deviation [%]						
						0	+5	+10				
PTO_MDO138	138.00	0.986	136.13	141.18								
PTO_MDO10	10.00	0.985	9.85	-12.15								
PTO_MDO22.9	22.90	0.976	22.35	137.14								

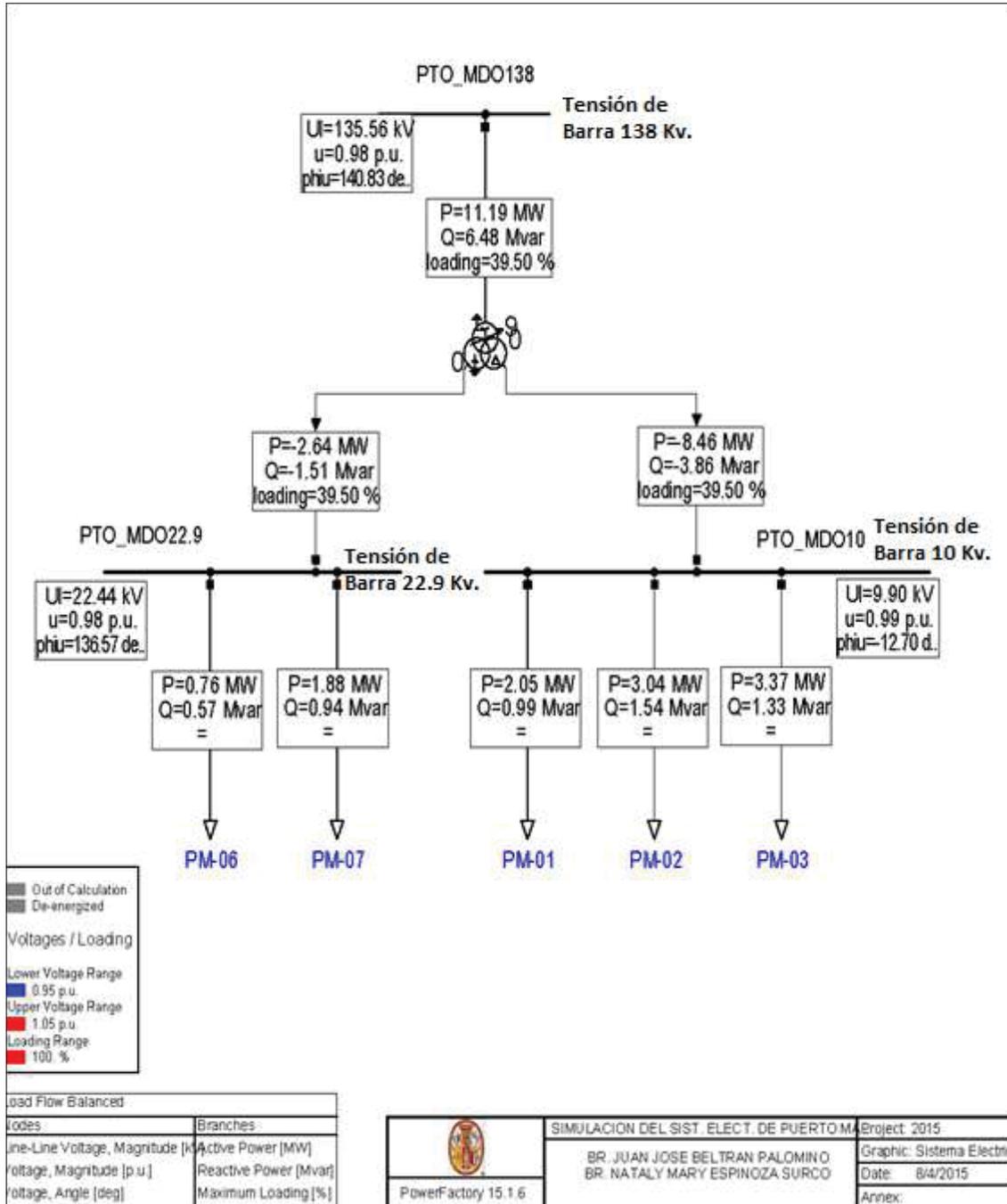
**Fuente: Electro sur Este S.A.A.**

A continuación, se analiza los resultados del flujo de potencia que resulta debido a dicho incremento de carga así mismo se puede observar que el transformador de 138 kV, tiene una cargabilidad de 37.46% siendo su caída de tensión en el lado primario de 1.40%. Así mismo observamos que la caída de tensión en la barra de Pto Mdo 10.0 kV. es de 1.50% y en la barra Pto Mdo 22.9 kV. es de 2.40%, también podemos observar que el tap del transformador se encuentra en la posición -8.

Así mismo, considerando los márgenes de caída de tensión y aun no estando tan sobrecargado el Transformador, se seguirá proyectando para los siguientes años, para observar hasta que año podrá soportar la demanda creciente.

4.5 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2015.

Figura N°4. 4: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2015



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Fig. 4.4 se muestra la simulación del sistema eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2015 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente. Entonces realizando el análisis del flujo de potencia realizado y después de haber ajustado el Tap manualmente a la posición 9 del lado de alta observamos que con el

incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. Han caído tensiones 1.60%, 2.60% y 1.80%, respectivamente y la cargabilidad del transformador ha caído en un 39.17%. Este cambio de caída responde a que se hizo el ajuste de forma manual pues en el anterior caso estaba realizado bajo ajuste automático, que el programa internamente realiza.

**Tabla N°4. 6: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2015 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur Este		System Stage: Área Sur Este		Study Case: MAN2 4						
rtd. V [kV]	[p.u.]	Bus-voltage [kV] [deg]		Generation [MW] [Mvar]		Motor [MW]	Load [Mvar]	Load [MW]	Load [Mvar]	
PTO MD013 8	138.00	0.98	78.27	140.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.99	5.71	-12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	8.46	3.86
PTO MD022.9	22.90	0.98	12.95	136.57	0.00	0.00	0.00	0.00	2.64	1.51

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 7: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este		System Stage: Area Sur Este		Study Case: MAn24		Annex: / 10		
rtd.V [kV]	[p.u.]	Bus - voltage [kV] [deg]		-10	-5	Voltage - Deviation [%]		
						0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.982	135.56 140.83					
PTO_MDO10	10.00	0.990	9.90 -12.70					
PTO_MDO22.9	22.90	0.980	22.44 136.57					

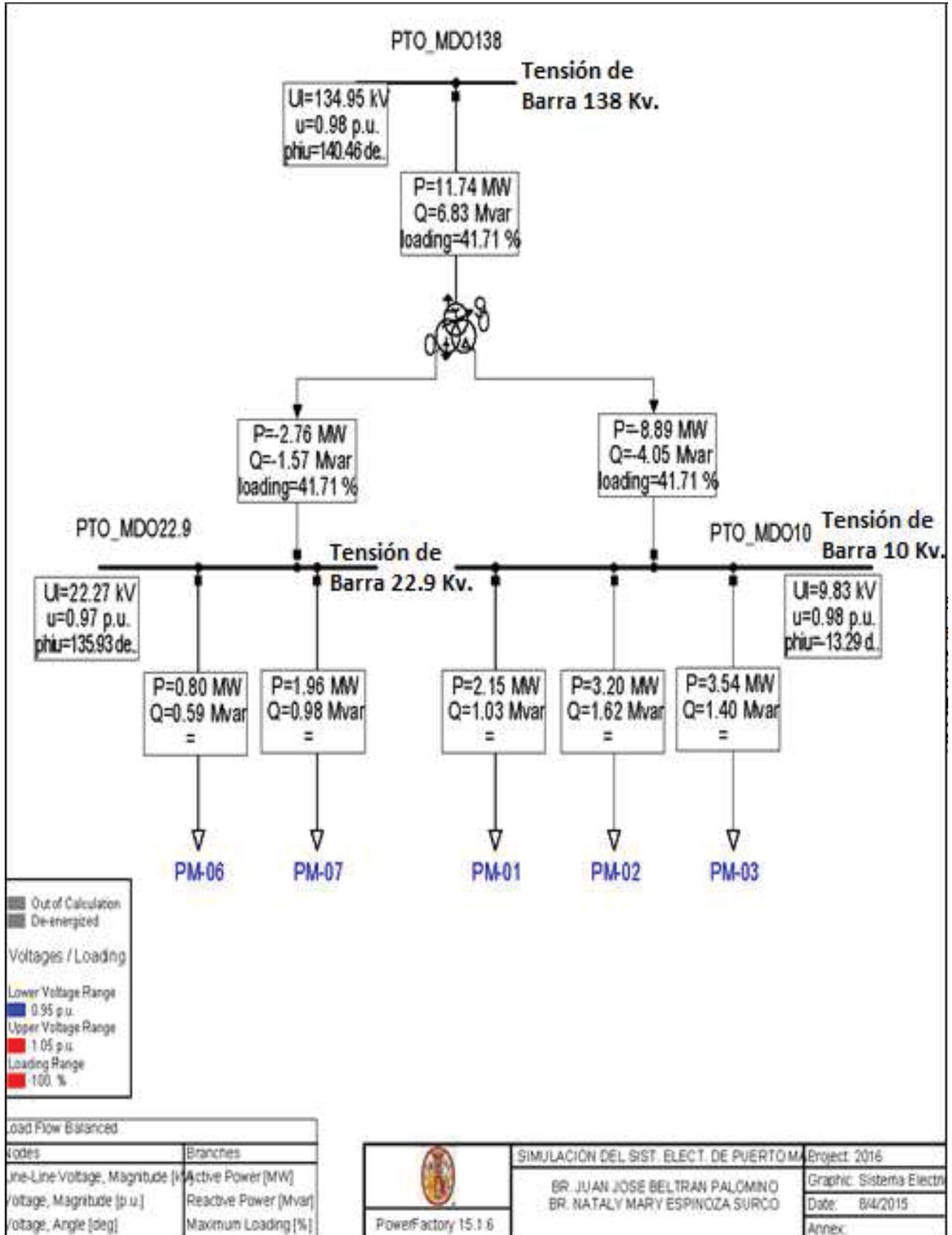
Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

Estos resultados los podemos apreciar en la **Tabla N° 4.7** y también en su diagrama de perfiles de tensión, donde todos ellos tienen una caída como las expresadas anteriormente.

Así mismo observando el perfil de tensiones del cuadro son todos menores al 1 en p.u. lo cual sugiere que se tenga que regular nuevamente el transformador de Pto Mdo. 138 kV y así poder compensar las caídas de tensiones en las barras. Esta acción la probaremos en la proyección para el año 2016.

4.6 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2016.

Figura N°4. 5: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2016



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 8: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2016 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.98	77.91	140.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.67	-13.29	0.00	0.00	0.00	0.00	8.89	4.05
PTO MD022.9	22.90	0.97	12.86	135.93	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76	1.57

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 9: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex: / 10	
	rtd.V	Bus - voltage			Voltage - Deviation [%]				
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10
PTO_MD0138	138.00	0.978	134.95	140.46					
PTO_MD010	10.00	0.983	9.83	-13.29					
PTO_MD022.9	22.90	0.972	22.27	135.93					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

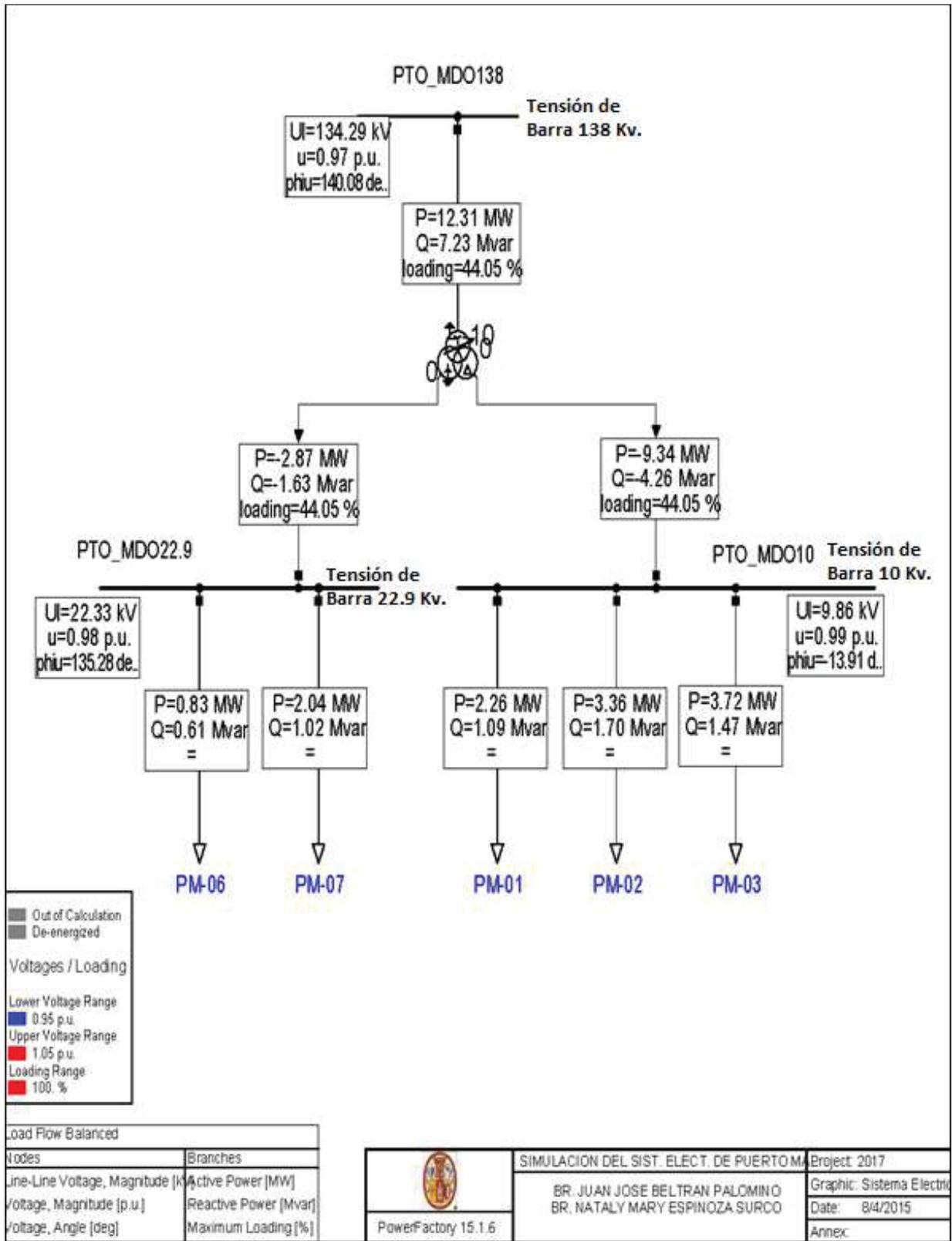
En la **Fig. 4.5** se muestra la simulación del sistema eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2016 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

Entonces realizando el análisis del flujo de potencia realizado y después de haber ajustado el Tap manualmente a la posición 9 del lado de alta observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. las caídas de las tensiones serán de 1.70%, 2.80% y 2.20%, respectivamente y la cargabilidad del transformador ha incrementado llegando al 41.71%. Este cambio de caída responde a que se hizo el ajuste de forma manual pues en el por lo tanto apreciamos que el Subsistema Eléctrico de Puerto Maldonado para este año está comenzando a incrementar su cargabilidad según la proyección adicional dada.

Aun así podemos apreciar que lo que preocupa es la cargabilidad del transformador trifásico de 3 devanados, puesto que los márgenes de caída de tensión están dentro de los rangos permisibles.

#### 4.7 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2017.

Figura N°4. 6: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2017



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 10: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2017 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.97	77.53	140.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.99	5.69	-13.91	0.00	0.00	0.00	0.00	9.34	4.26
PTO MD022.9	22.90	0.98	12.89	135.28	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87	1.63

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 11: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus - voltage			-10	-5	Voltage - Deviation [%]		
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]			0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.973	134.29	140.08					
PTO_MDO10	10.00	0.986	9.86	-13.91					
PTO_MDO22.9	22.90	0.975	22.33	135.28					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la **Fig. 4.6** se muestra la simulación del sistema eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2017 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

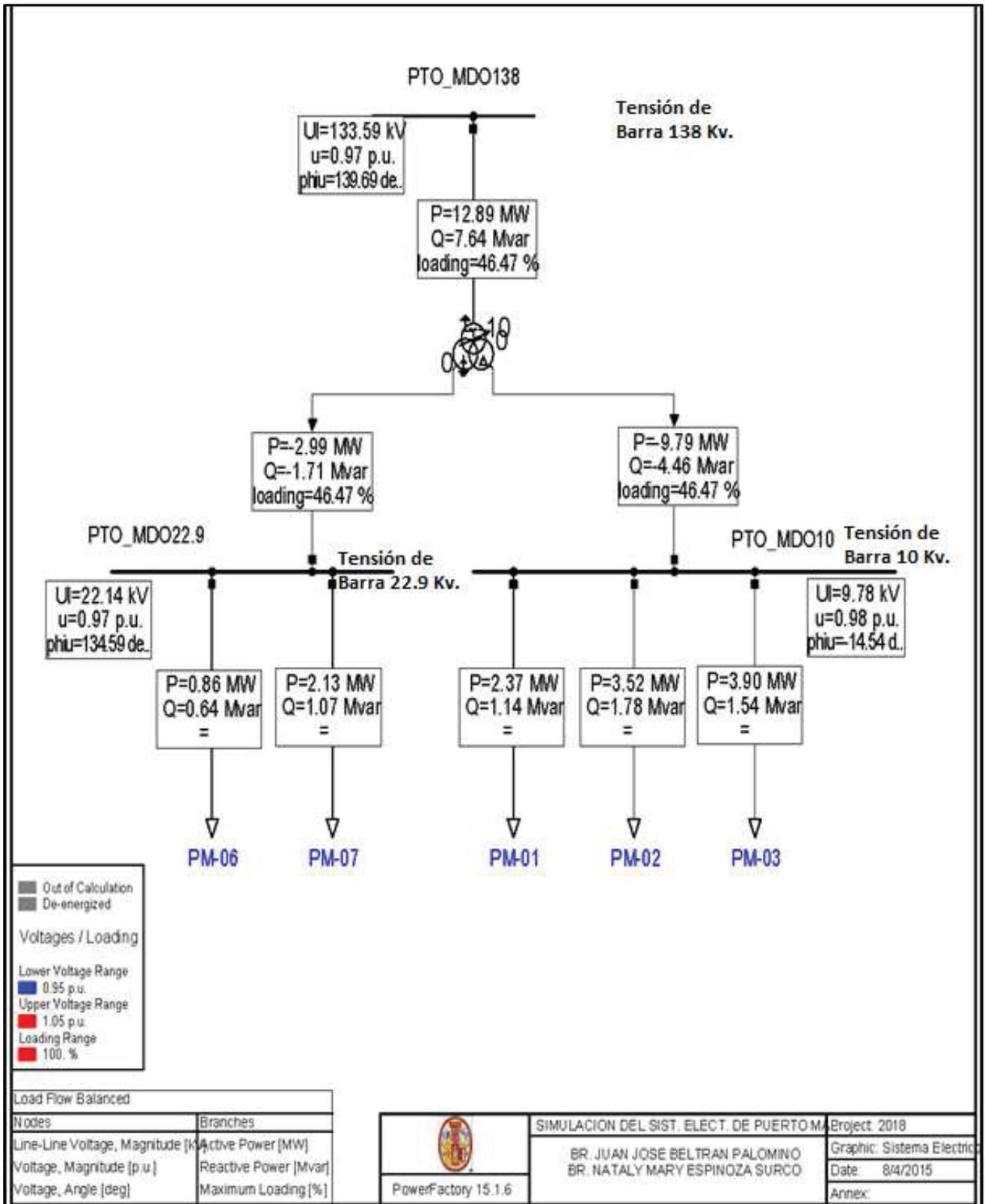
Entonces realizando el análisis del flujo de potencia realizado y después de haber ajustado el Tap manualmente a la posición 10 del lado de alta observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído tensiones 1.40%, 2.50% y 2.70%, respectivamente y la cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 44.05%. Como se observa en este caso la cargabilidad, se nota que se viene incrementando.

Este hecho es debido al crecimiento de la demanda proyectado, así mismo podemos observar en gráficamente en el diagrama de perfiles proyectado para el 2017.

Por otro lado también podemos considerar que los porcentajes de caída de tensión aún se encuentran dentro de los márgenes permitidos es decir son menores del 5.00%.

#### 4.8 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2018.

Figura N°4. 7: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2018



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 12: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2018 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.97	77.13	139.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.65	-14.54	0.00	0.00	0.00	0.00	9.79	4.46
PTO MD022.9	22.90	0.97	12.78	134.59	0.00	0.00	0.00	0.00	2.99	1.71

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 13: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus - voltage				Voltage - Deviation [%]			
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.968	133.59	139.69					
PTO_MDO10	10.00	0.978	9.78	-14.54					
PTO_MDO22.9	22.90	0.967	22.14	134.59					

Fuente: Electro Sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

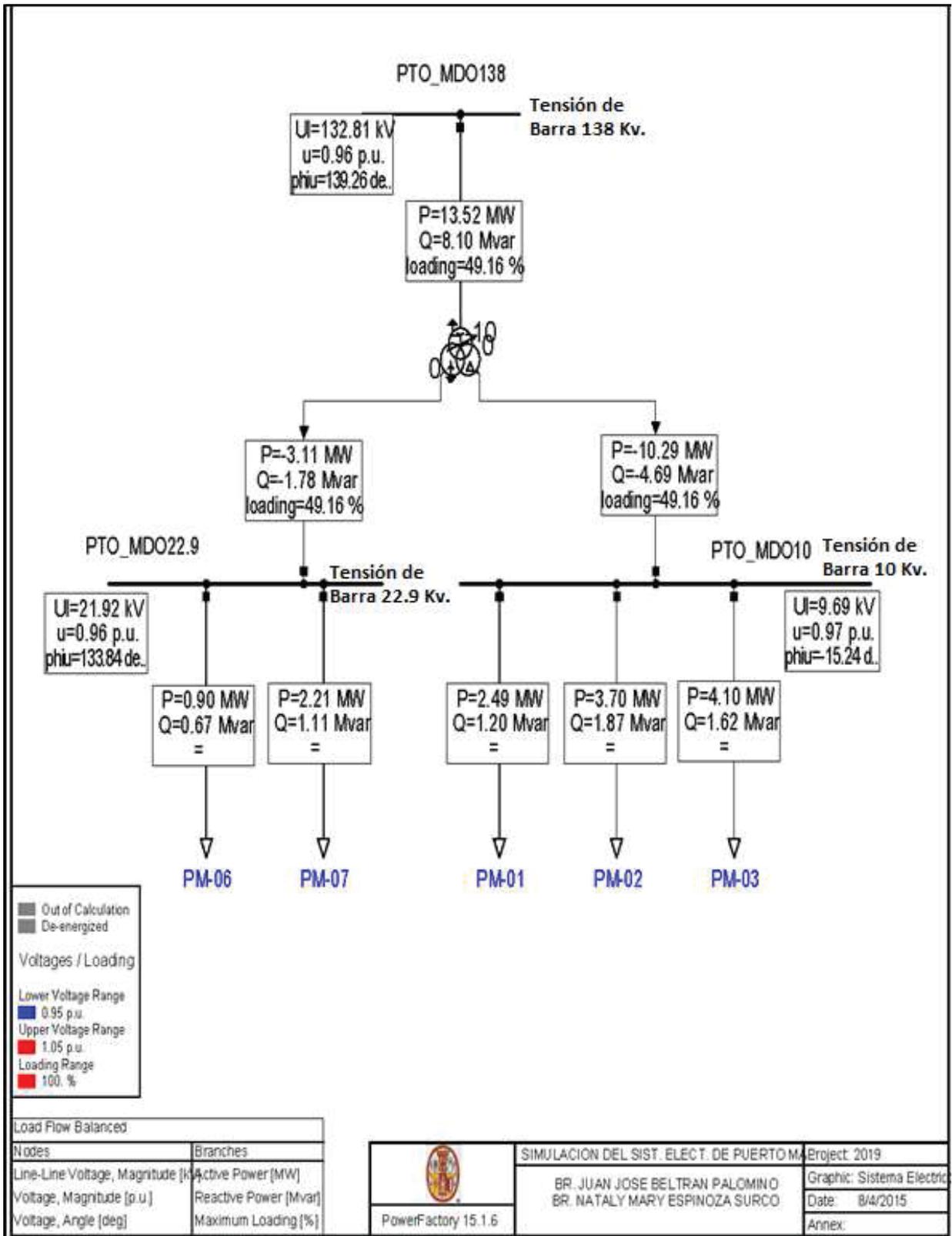
En la **Figura. 4.7** se muestra la simulación del Sub Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2018 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

Manteniendo el Tap del transformador en la posición 10 del lado de alta observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído tensiones 2.20%, 3.30% y 3.20%, respectivamente y al cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 46.47%. Como se observa en este caso, la cargabilidad viene incrementando sus valores casi acercándose al 50 %.

Sin embargo aun así los límites de caída de tensión están por debajo de lo permitido, por lo tanto aun el sistema puede seguir trabajando.

#### 4.9 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2019.

Figura N°4. 8: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2019



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 14: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2019 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV.**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.96	76.68	139.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.97	5.60	-15.24	0.00	0.00	0.00	0.00	10.29	4.69
PTO MD022.9	22.90	0.96	12.66	133.84	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	1.78

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 15: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus -	voltage		-10	-5	Voltage -	Deviation [%]	+10
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]			0	+5	
PTO_MDO138	138.00	0.962	132.81	139.26					
PTO_MDO10	10.00	0.969	9.69	-15.24					
PTO_MDO22.9	22.90	0.957	21.92	133.84					

Fuente: Electro Sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

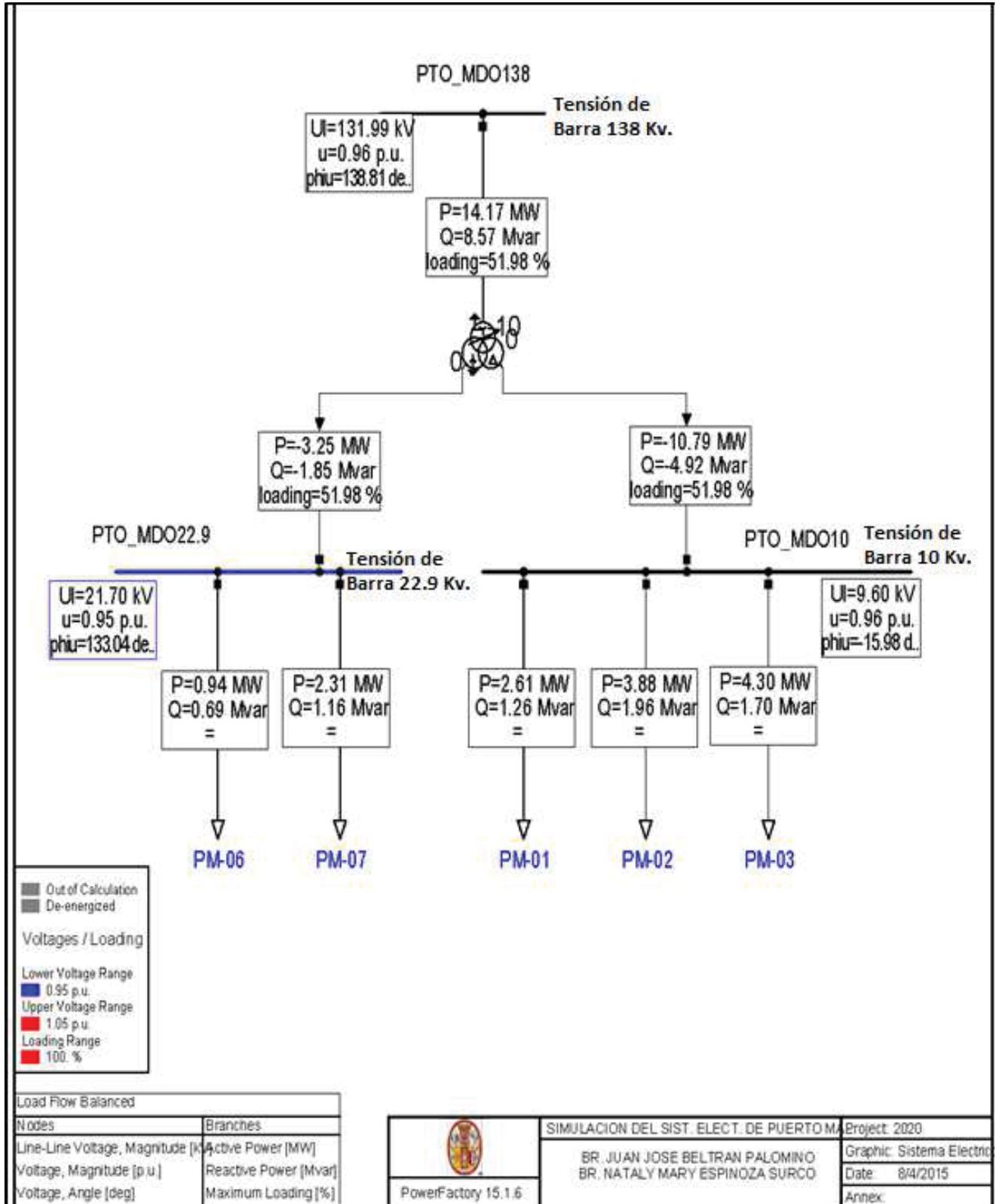
En la **Fig. 4.8** se muestra la simulación del Sub Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2019 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

Manteniendo el Tap del transformador en la posición 10 del lado de alta observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído tensiones 3.10%, 4.30% y 3.80%, respectivamente y al cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 46.47%. Sin embargo, aun así, los límites de caída de tensión están por debajo de lo permitido, por lo tanto, aun el sistema puede seguir trabajando.

En el grafico del perfil de tensiones se observa que las tensiones están acercándose al 5% de caída de tensión permisible.

4.10 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2020.

Figura N°4. 9: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2020



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 16: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2020 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.96	76.21	138.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.96	5.54	-15.98	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	4.92
PTO MD022.9	22.90	0.95	12.53	133.04	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	1.85

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 17: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex: / 10	
	rtd.V	Bus - voltage				Voltage - Deviation [%]			
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10
PTO_MD0138	138.00	0.956	131.99	138.81					
PTO_MD010	10.00	0.960	9.60	-15.98					
PTO_MD022.9	22.90	0.947	21.70	133.04					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la **Fig. 4.9** se muestra la simulación del Sub Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2020 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores PM-01, PM-02 y PM-03 para la zona urbana y PM-06 y PM-07 para la zona rural respectivamente.

Manteniendo el Tap del transformador en la posición 10 del lado de alta observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído en 4.00%, 5.30% y 4.40%, respectivamente y la cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 51.98%. Como se observa, la cargabilidad del transformador ya supero al 50 % de su capacidad por lo tanto se necesita tomar medidas de contingencia las cuales pueden ser, colocar un banco de capacitores o un compensador estático, con el fin de reducir la cargabilidad del transformador.

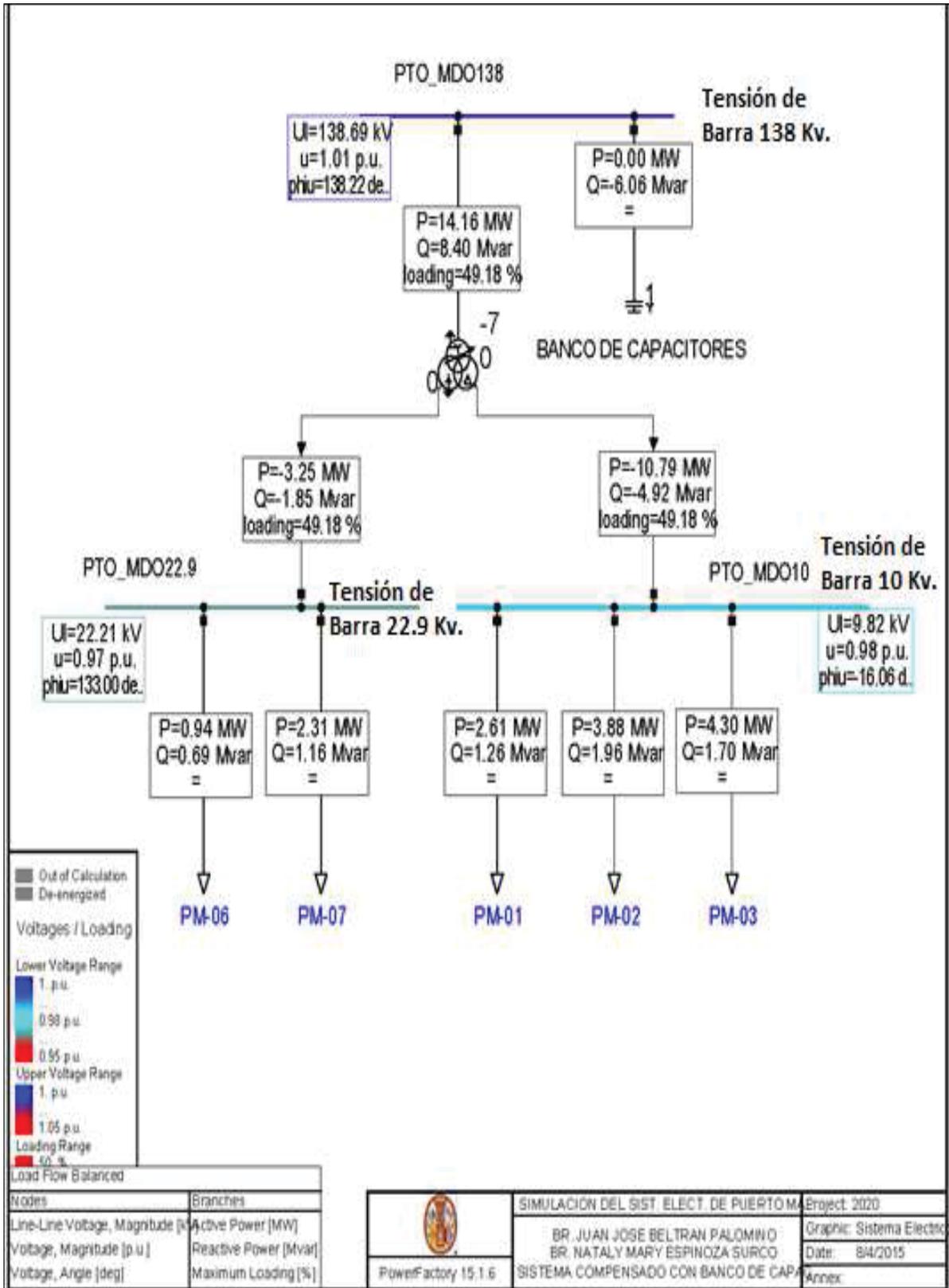
Sin embargo, aun así, los límites de caída de tensión están al límite de lo permitido por esta condición se debe compensar en las barras a los alimentadores para aumentar los niveles de tensión y de la misma forma reducir al cargabilidad de los mismo y del transformador.

Con esta intención se deberá realizar una simulación para una proyección de un Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado con sistema compensado para lo cual se probará si lo adecuado técnicamente es un Banco de Capacitores o un sistema de Compensación Estática (SVS).

Una vez observado que el flujo de potencia proyectado para el año 2020 y están en el Séptimo año de los diez que se van a proyectar es necesario realizar la simulación con la compensación primero de un banco de capacitores y luego correr el flujo para los tres años faltantes y posteriormente se hará con un compensador estático y luego su proyección par a los siguientes tres años.

#### **4.10.1 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2020 compensado con banco de capacitores**

Figura N°4. 10: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2020, compensado con banco de capacitores



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 18: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2020 con banco de capacitores - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD0138	138.00	1.01	80.07	138.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.67	-16.06	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	4.92
PTO MD022.9	22.90	0.97	12.82	133.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	1.85

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 19: Perfil de Tensiones en las barras, compensado con banco de capacitores**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24				Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus - voltage			-10	-5	Voltage - Deviation [%]			
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]			0	+5	+10	
PTO_MDO138	138.00	1.000	138.00	138.28						
PTO_MDO10	10.00	0.987	9.87	-16.05			■			
PTO_MDO22.9	22.90	0.975	22.33	133.02			■			

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

Observando el diagrama del perfil de tensiones. En la Tabla N°4.20 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 20: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2020 con banco de capacitores - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P.]**

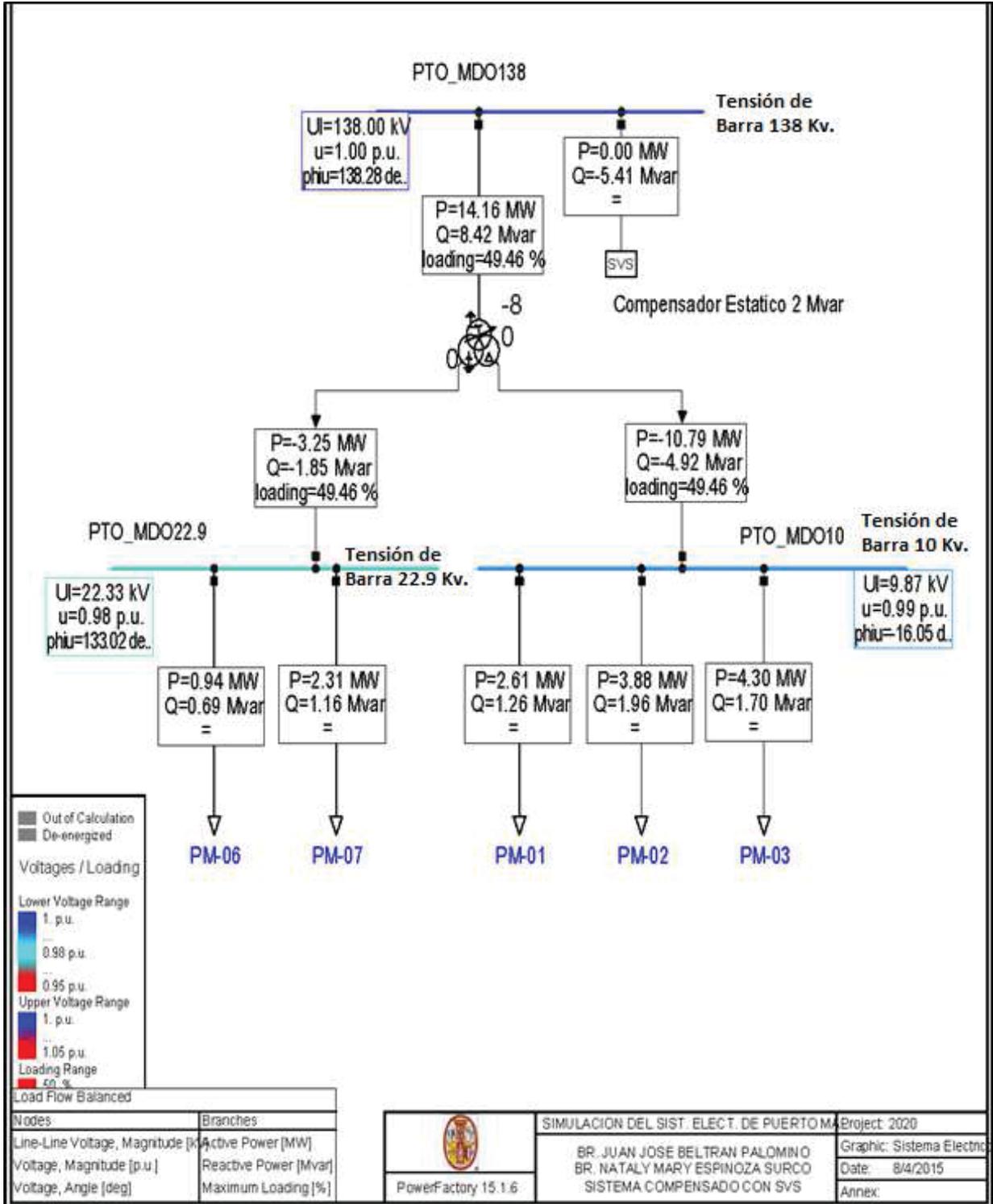
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES					
BARRA	TENSION NOMINAL	CAIDA DE TENSION [%]			
	[kV]	SIN COMPENSAR		COMPENSADO	
	VALOR DE REFERENCIA				
PTO_MDO 138	138	4.4	NO CUMPLE (*)	0.5	CUMPLE (*)
PTO_MDO 22.9	22.9	5.3	NO CUMPLE (*)	3	CUMPLE (*)
PTO_MDO 10.0	10	4	NO CUMPLE (*)	1.2	CUMPLE (*)

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con un banco de capacitores de 6 Mvar

4.10.2 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2020 compensado con SVS.

Figura N°4. 11: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2020, compensado con SVS.



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 21: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2020 con compensación SVS - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Area Sur Este	System	Stage: Area Sur Este	Study Case: MAn24							
rtd. V [kV]	Bus [p.u.]	-voltage [kV]	[deg]	Generation [MW]	Motor [Mvar]	Load [MW]	Load [Mvar]	Load [MW]	Load [Mvar]	
PTO MD013 8	138.00	1.00	79.67	138.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.99	5.70	-16.05	0.00	0.00	0.00	10.79	4.92	
PTO MD022.9	22.90	0.98	12.89	133.02	0.00	0.00	0.00	3.25	1.85	

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 22: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System	Stage: Area Sur Este	Study Case: MAn24					Annex:	/ 10
rtd.V [kV]	Bus [p.u.]	- voltage [kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10	
			Voltage - Deviation [%]						
PTO_MD0138	138.00	1.000	138.00	138.28					
PTO_MDO10	10.00	0.987	9.87	-16.05					
PTO_MDO22.9	22.90	0.975	22.33	133.02					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.23 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 23: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2020 con compensación SVS - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P.]**

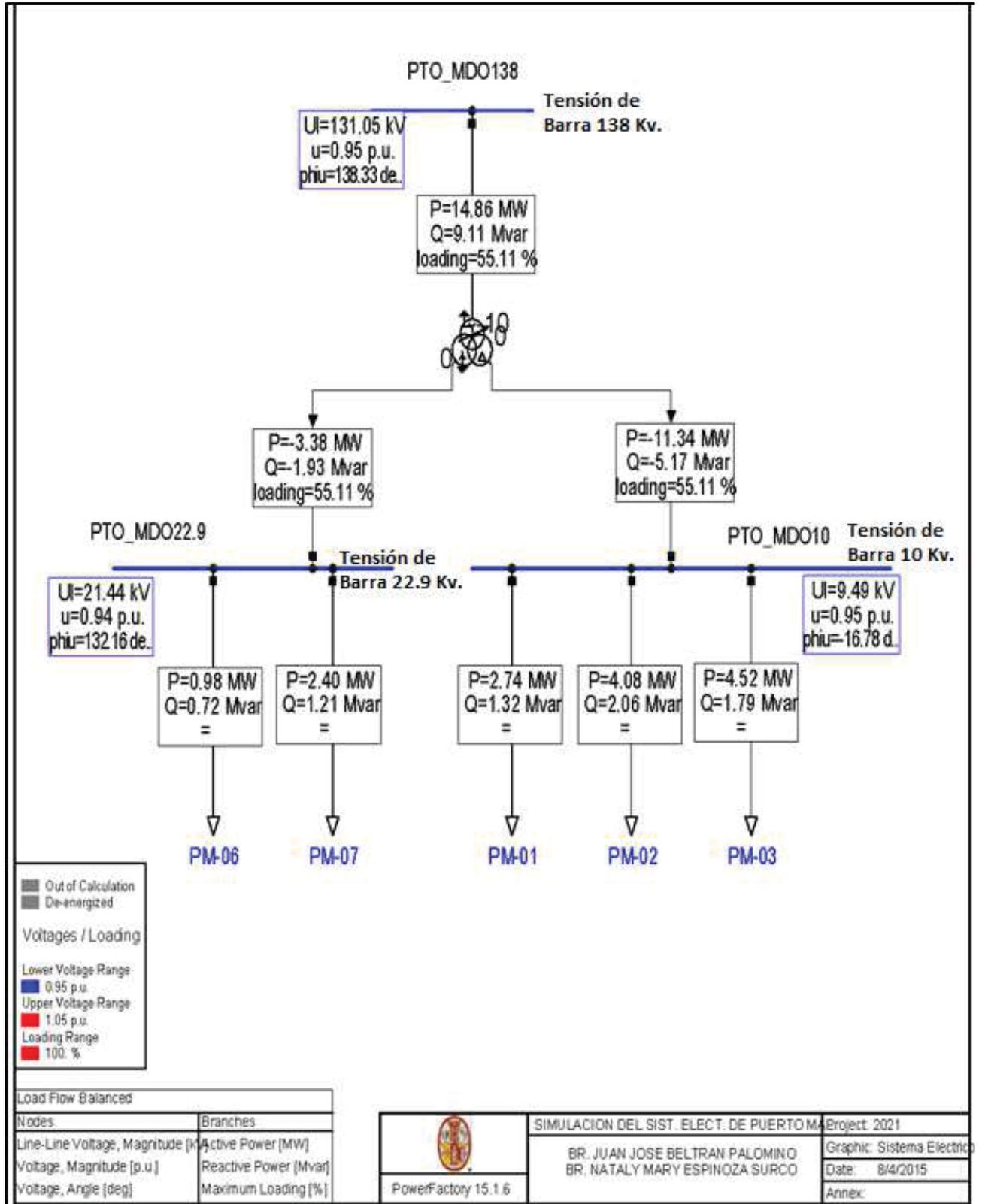
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES					
BARRA	TENSION NOMINAL [kV]	CAIDA DE TENSION [%]			
	VALOR DE REFERENCIA	SIN COMPENSAR	COMPENSADO		
PTO_MDO 138	138	4.4	NO CUMPLE (*)	0.0	CUMPLE (*)
PTO_MDO 22.9	22.9	5.3	NO CUMPLE (*)	2.5	CUMPLE (*)
PTO_MDO 10.0	10	4	NO CUMPLE (*)	1.3	CUMPLE (*)

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con compensación SVS. 2 Mvar.

4.11 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2021.

Figura N°4. 12: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2021



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 24: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2021 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.95	75.66	138.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.95	5.48	-16.78	0.00	0.00	0.00	0.00	11.34	5.17
PTO MD022.9	22.90	0.94	12.38	132.16	0.00	0.00	0.00	0.00	3.38	1.93

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 25: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24				Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus - voltage				Voltage - Deviation [%]				
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10	
PTO_MDO138	138.00	0.950	131.05	138.33						
PTO_MDO10	10.00	0.949	9.49	-16.78						
PTO_MDO22.9	22.90	0.936	21.44	132.16						

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

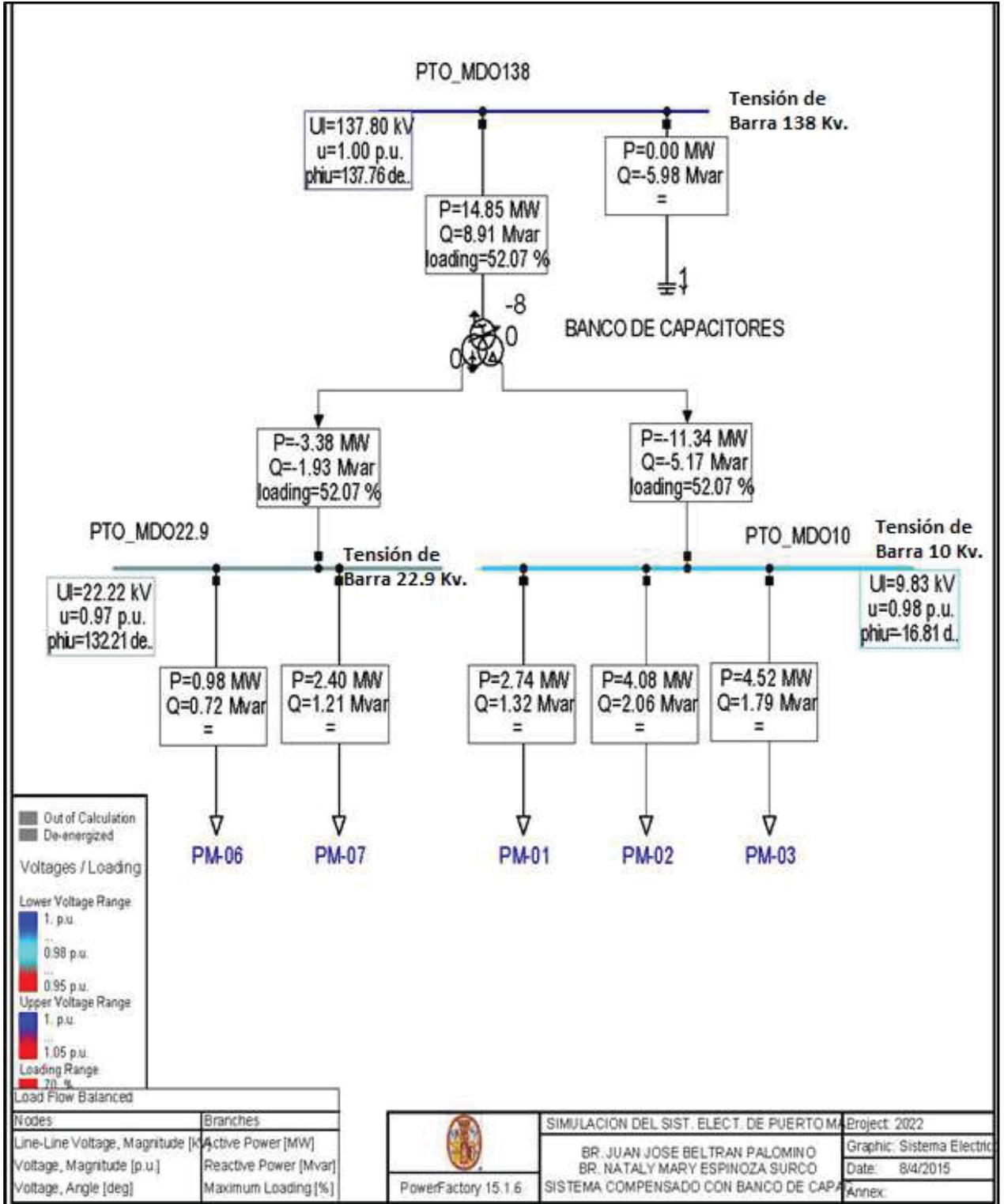
En la **Fig. 4.9** se muestra la simulación del Sub Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2020 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

Manteniendo el TAP del transformador en la posición 10 del lado de alta observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído tensiones 5.10%, 6.40% y 50%, respectivamente y al cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 55.11%. Como se observa en este caso, la cargabilidad viene incrementando sus valores sobrepasando al 50 %.

Por lo tanto se realiza una evaluación del sistema eléctrico, en la cual se debe instalar un banco de capacitores, con el fin de compensar la caída de tensión.

4.11.1 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado Compensación Capacitiva para el año 2021.

Figura N°4. 13: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2021 compensación Capacitiva.



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 26: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2021 compensación capacitiva - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
rtd. V			Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
[kV]	[p.u.]		[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	1.01	80.07	138.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.67	-16.06	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	4.92
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 82	133.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	1.85

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 27: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24					Annex:	/ 10
rtd.V	Bus - voltage				Voltage - Deviation [%]						
[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]		-10	-5	0	+5	+10		
PTO_MDO138	138.00	0.999	137.80	137.76							
PTO_MDO10	10.00	0.983	9.83	-16.81			■				
PTO_MDO22.9	22.90	0.970	22.22	132.21			■				

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.28 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 28: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2021 con banco de capacitores - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P.]V**

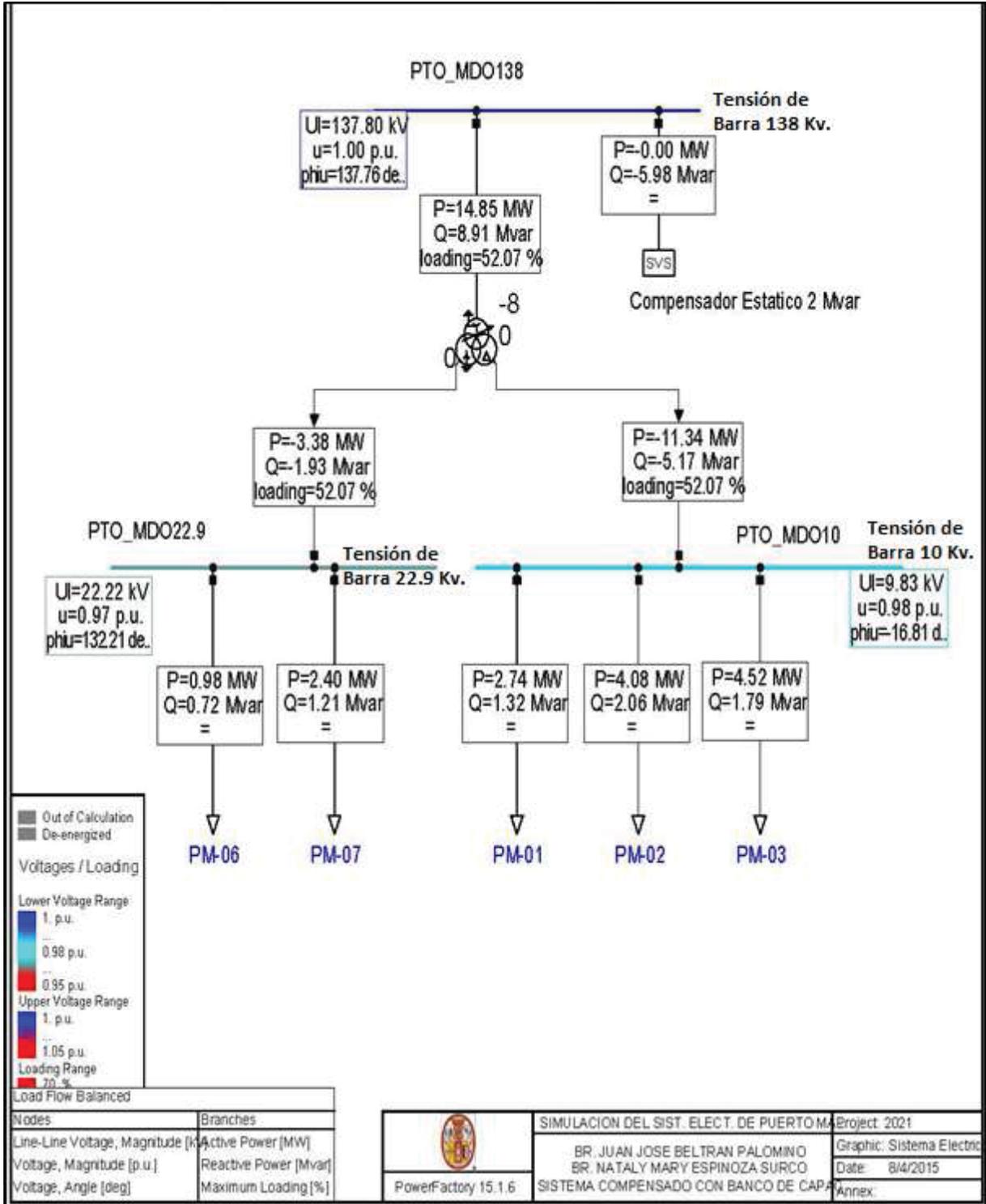
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES						
BARRA	TENSION NOMINAL [kV]	CAIDA DE TENSION [%]				
	VALOR DE REFERENCIA	SIN COMPENSAR	COMPENSADO			
PTO_MDO 138	138	5	NO CUMPLE (*)	0.1	CUMPLE (*)	
PTO_MDO 22.9	22.9	6.4	NO CUMPLE (*)	3	CUMPLE (*)	
PTO_MDO 10.0	10	5.1	NO CUMPLE (*)	1.7	CUMPLE (*)	

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con un banco de capacitores de 6 Mvar

4.11.2 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado Compensación SVS para el año 2021.

Figura N°4. 14: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2021 compensación SVS



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 29: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2021 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	1.00	79.56	137.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.68	-16.81	0.00	0.00	0.00	0.00	11.34	5.17
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 83	132.21	0.00	0.00	0.00	0.00	3.38	1.93

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 30: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex: / 10	
	rtd.V	Bus - voltage			Voltage - Deviation [%]				
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.999	137.80	137.76					
PTO_MDO10	10.00	0.983	9.83	-16.81					
PTO_MDO22.9	22.90	0.970	22.22	132.21					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.30 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 30: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2021 con compensación SVS - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P].**

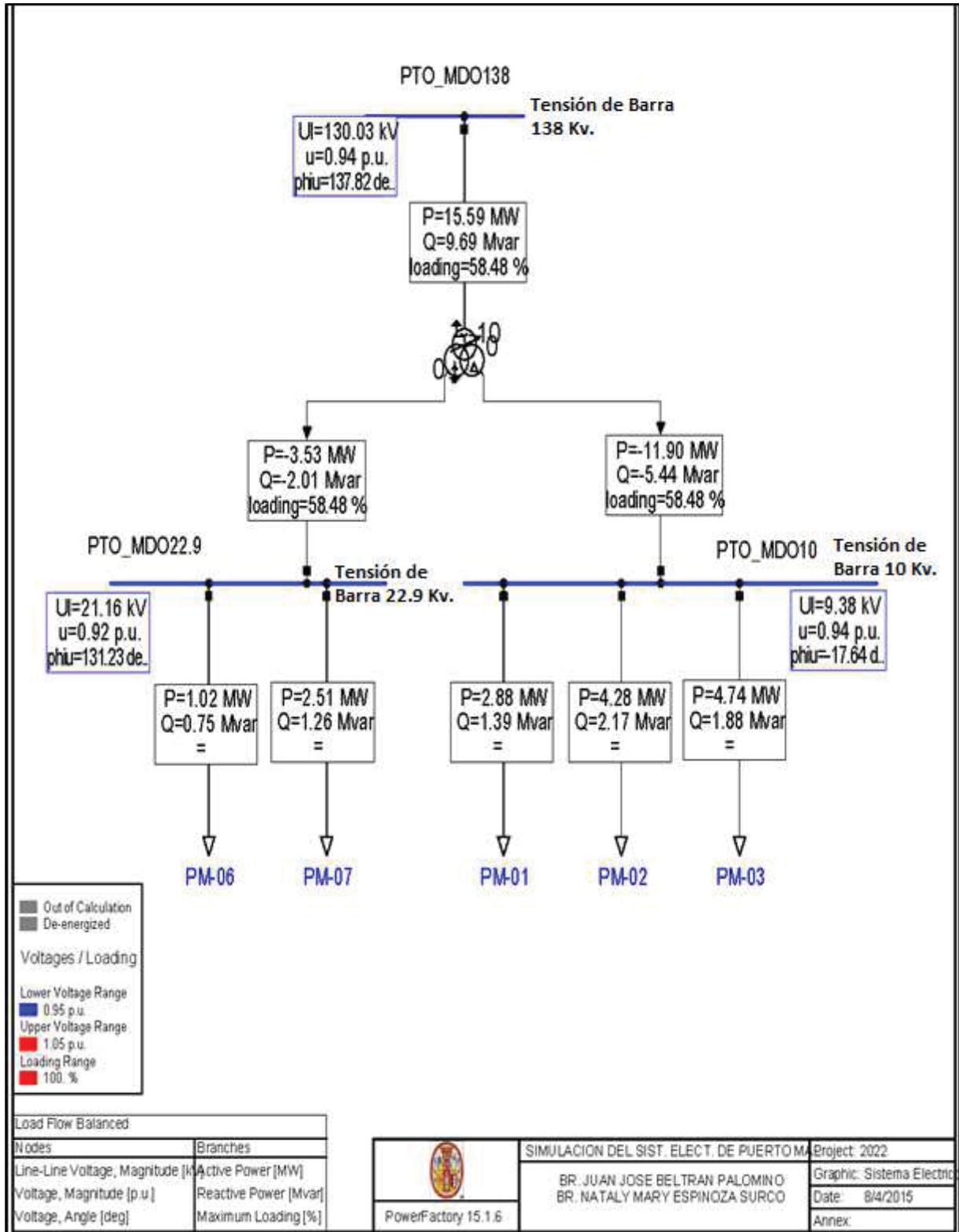
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES					
BARRA	TENSION NOMINAL [kV]	CAIDA DE TENSION [%]			
	VALOR DE REFERENCIA	SIN COMPENSAR	COMPENSADO		
PTO_MDO 138	138	5	NO CUMPLE (*)	0.1	CUMPLE (*)
PTO_MDO 22.9	22.9	6.4	NO CUMPLE (*)	3	CUMPLE (*)
PTO_MDO 10.0	10	5.1	NO CUMPLE (*)	1.7	CUMPLE (*)

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con compensación SVS. 2 Mvar.

4.12 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2022.

Figura N°4. 15: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2022



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 31: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2022 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV.**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.94	75.07	137.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.94	5.42	-17.64	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	5.44
PTO MD022.9	22.90	0.92	12.21	131.23	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	2.01

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 32: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24				Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus - voltage			Voltage - Deviation [%]					
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10	
PTO_MDO138	138.00	0.942	130.03	137.82						
PTO_MDO10	10.00	0.938	9.38	-17.64						
PTO_MDO22.9	22.90	0.924	21.16	131.23						

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la **Fig. 4.9** se muestra la simulación del Sub Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2022 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

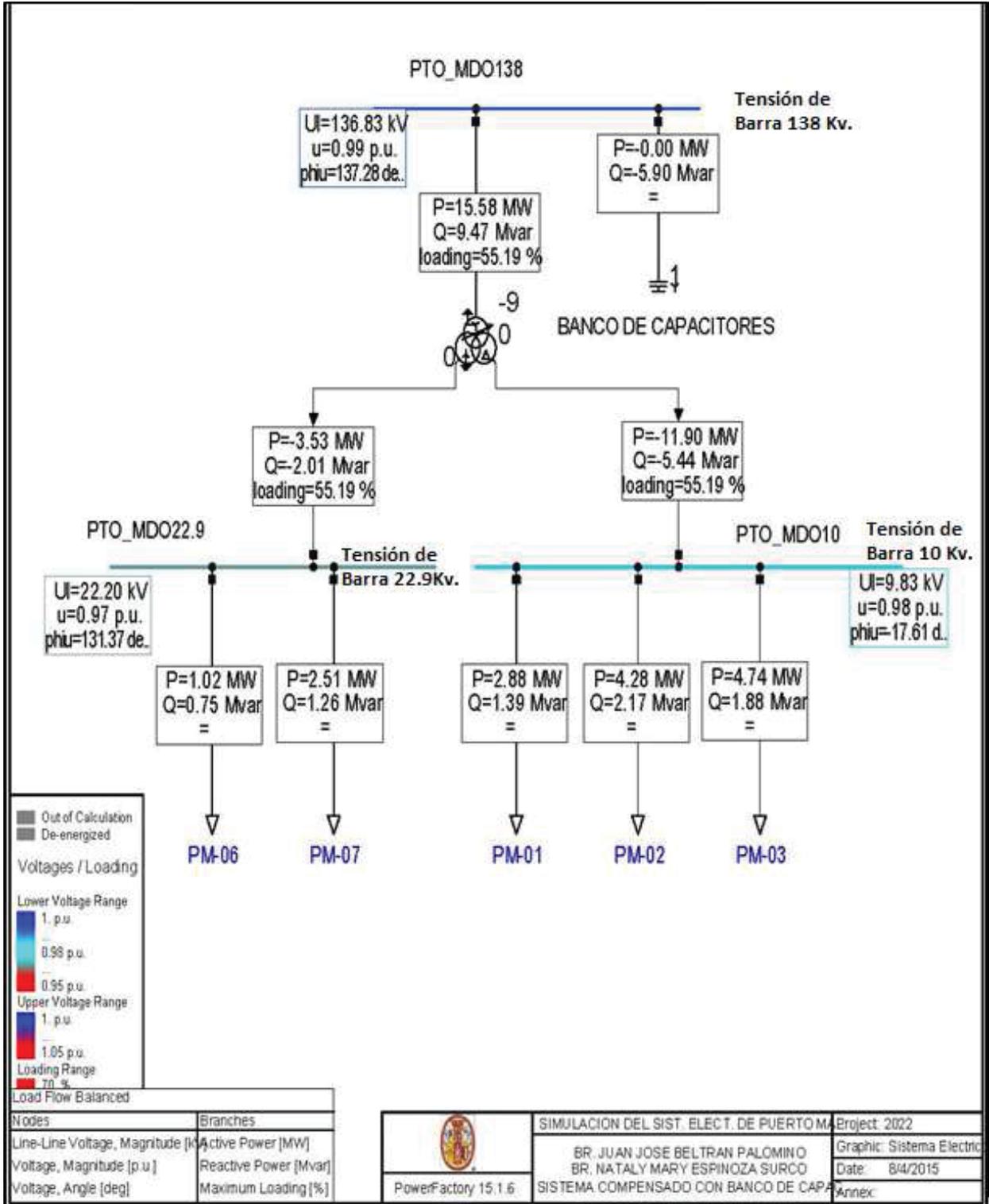
Manteniendo el TAP del transformador en la posición 10 del lado de alta, observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído tensiones 6.20%, 7.60% y 5.80%, respectivamente y al cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 58.48%.

Esta condición es insostenible puesto que de los niveles de tensión han incrementado por encima del 5.00%.

Como se observó en la proyección del 2020 ya se había advertido que la cargabilidad del transformador ha subido y la caída de tensión aún estaban en los márgenes tolerados. Y ya estando en el octavo año de proyección se nota la necesidad de compensación.

4.12.1 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación capacitiva para el año 2022.

Figura N°4. 16: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación capacitiva año 2022



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 33: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2022 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV.**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.99	79.00	137.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.68	-17.61	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	5.44
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 82	131.37	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	2.01

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 34: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24				Annex:	/ 10
	rtd.V	Bus - voltage			Voltage - Deviation [%]					
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10	
PTO_MDO138	138.00	0.992	136.83	137.28			■			
PTO_MDO10	10.00	0.983	9.83	-17.61			■			
PTO_MDO22.9	22.90	0.970	22.20	131.37			■			

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.35 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 35: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2022 con banco de capacitores - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P].**

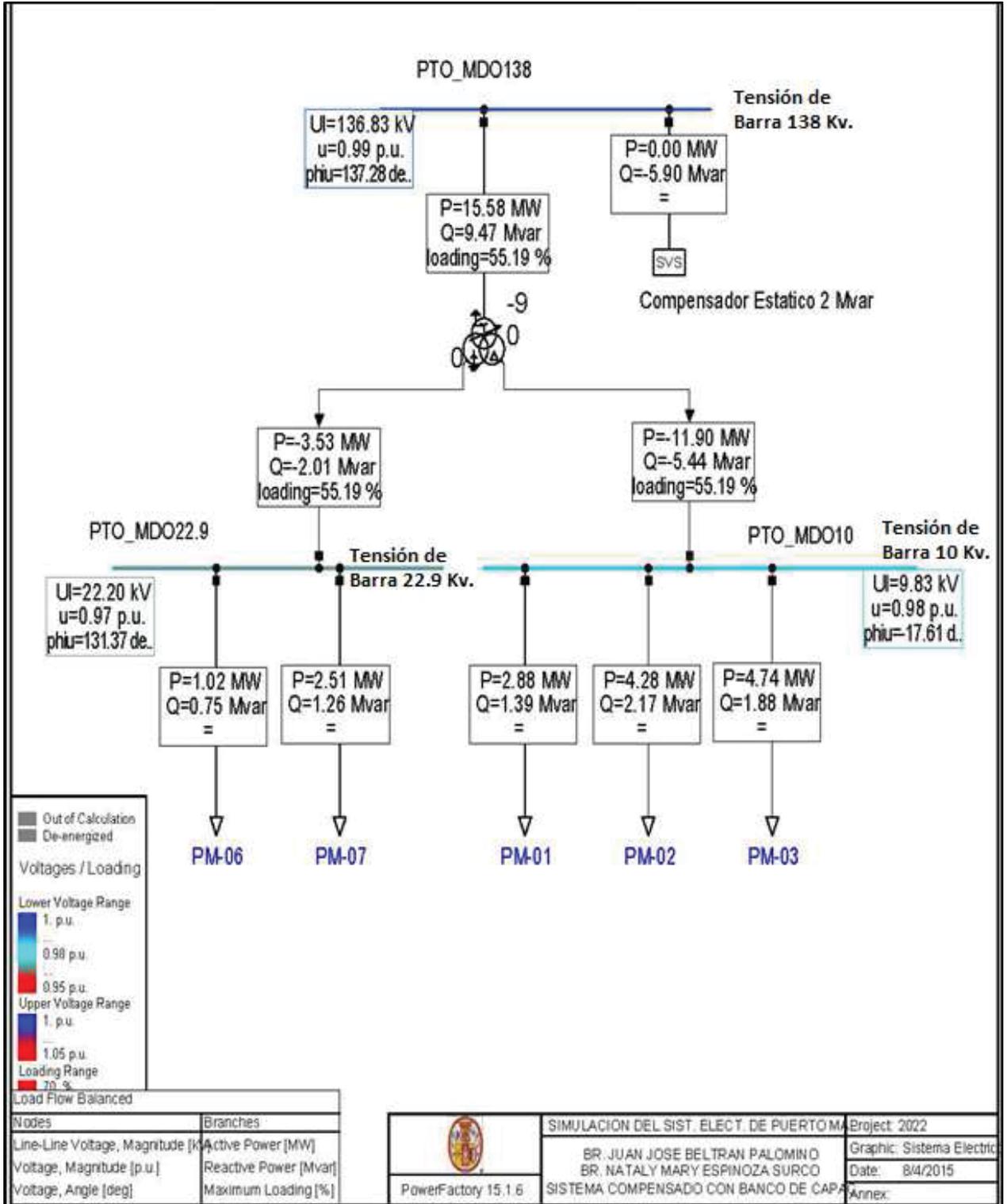
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES					
BARRA	TENSION NOMINAL [kV]	CAIDA DE TENSION [%]			
	VALOR DE REFERENCIA	SIN COMPENSAR		COMPENSADO	
PTO_MDO 138	138	5.8	NO CUMPLE (*)	0.8	CUMPLE (*)
PTO_MDO 22.9	22.9	7.6	NO CUMPLE (*)	3	CUMPLE (*)
PTO_MDO 10.0	10	6.2	NO CUMPLE (*)	1.7	CUMPLE (*)

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con un banco de capacitores de 6 Mvar

4.12.2 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación SVS para el año 2022.

Figura N°4. 17: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación SVS año 2022



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 36: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2022 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur Este	Syst em	Stag e:	Área Sur	Est e	Study Case:	MAn 2 4	Load		Ann ex:	/ 2		
rtd. V [kV]	[p.u.]	Bus-voltage [kV]	[deg]	Generation [MW]	Moto r [MW]	Loa d [Mvar]	[M W]	[Mv ar]	Ext. [MW]	Infe ed [Mvar]	Compens ation [Mvar]	
PTO MD0138	138.00	0.99	79.00	137.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.68	-17.61	0.00	0.00	0.00	11.90	5.44	0.00	0.00	0.00
PTO MD022.9	22.90	0.97	12.82	131.37	0.00	0.00	0.00	3.53	2.01	0.00	0.00	0.00

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 37: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Área Sur Este	System Stage: Área Sur Este	Study Case: MAn24	Voltage - Deviation [%]		Annex: / 10	
rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.] [kV] [deg]	-10	-5	0	+5	+10
PTO_MD0138	138.00 0.992 136.83 137.28					
PTO_MDO10	10.00 0.983 9.83 -17.61					
PTO_MD022.9	22.90 0.970 22.20 131.37					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.38 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 38: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2022 con compensación SVS - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P].**

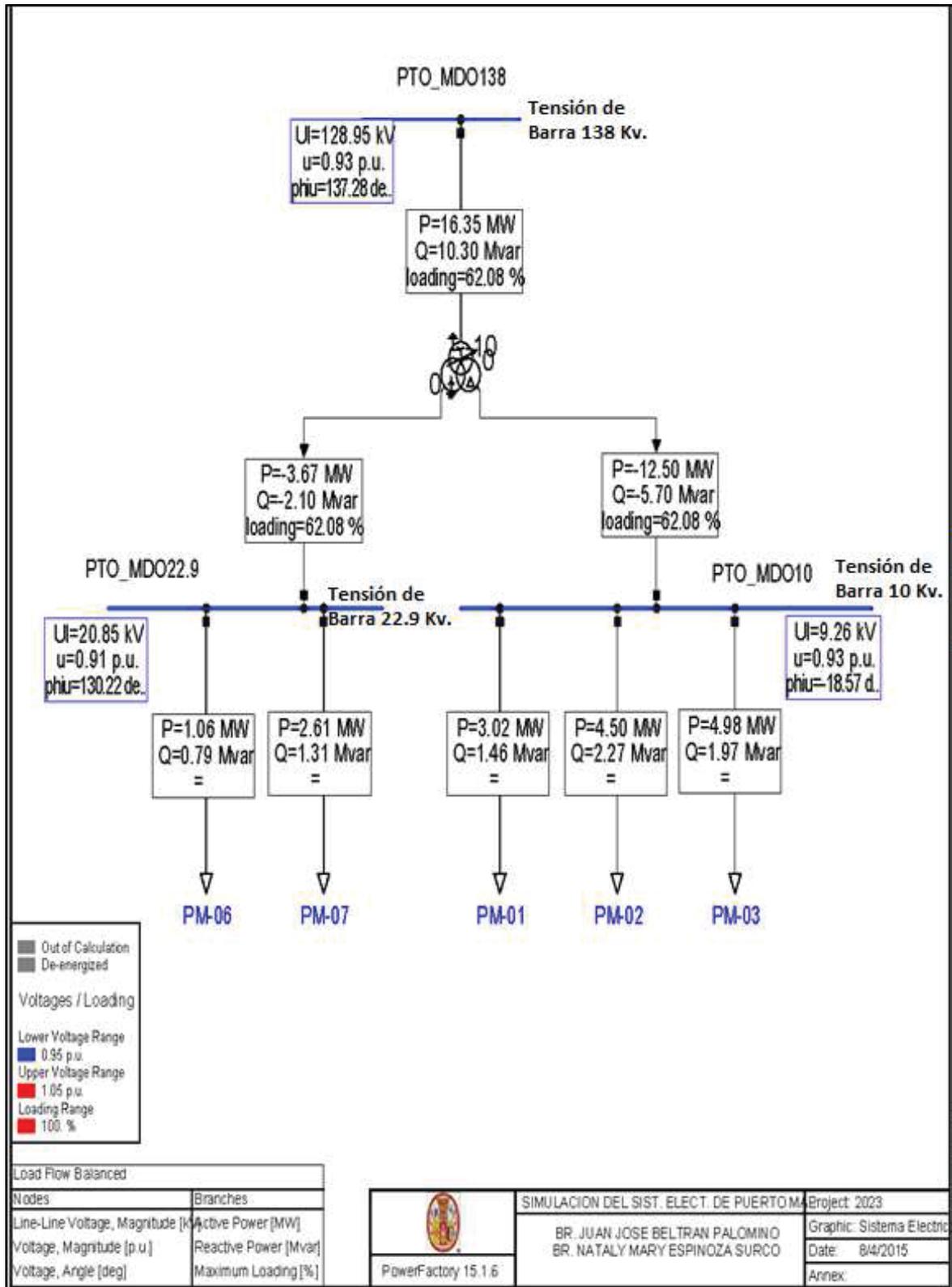
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES					
BARRA	TENSION NOMINAL [kV]	CAIDA DE TENSION [%]			
	VALOR DE REFERENCIA	SIN COMPENSAR		COMPENSADO	
PTO_MDO 138	138	5.8	NO CUMPLE (*)	0.8	CUMPLE (*)
PTO_MDO 22.9	22.9	7.6	NO CUMPLE (*)	3	CUMPLE (*)
PTO_MDO 10.0	10	6.2	NO CUMPLE (*)	1.7	CUMPLE (*)

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con compensación SVS. 2 Mvar.

4.13 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el año 2023.

Figura N°4. 18: Figura N°4.: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2023



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 39: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2023 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.93	74.45	137.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.93	5.34	-18.57	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	5.70
PTO MD022.9	22.90	0.91	12.04	130.22	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67	2.10

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 40: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex: / 10		
	rtd.V	Bus - voltage			Voltage - Deviation [%]					
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10	
PTO_MD0138	138.00	0.934	128.95	137.28						
PTO_MD010	10.00	0.926	9.26	-18.57						
PTO_MD022.9	22.90	0.911	20.85	130.22						

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Fig. 4.9 se muestra la simulación del Sub Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado para el año 2020 considerando incremento de carga de 5.00% y 4.20% en los alimentadores desde PM-01 al PM-02, PM-03 y de PM-06 al PM-07 respectivamente.

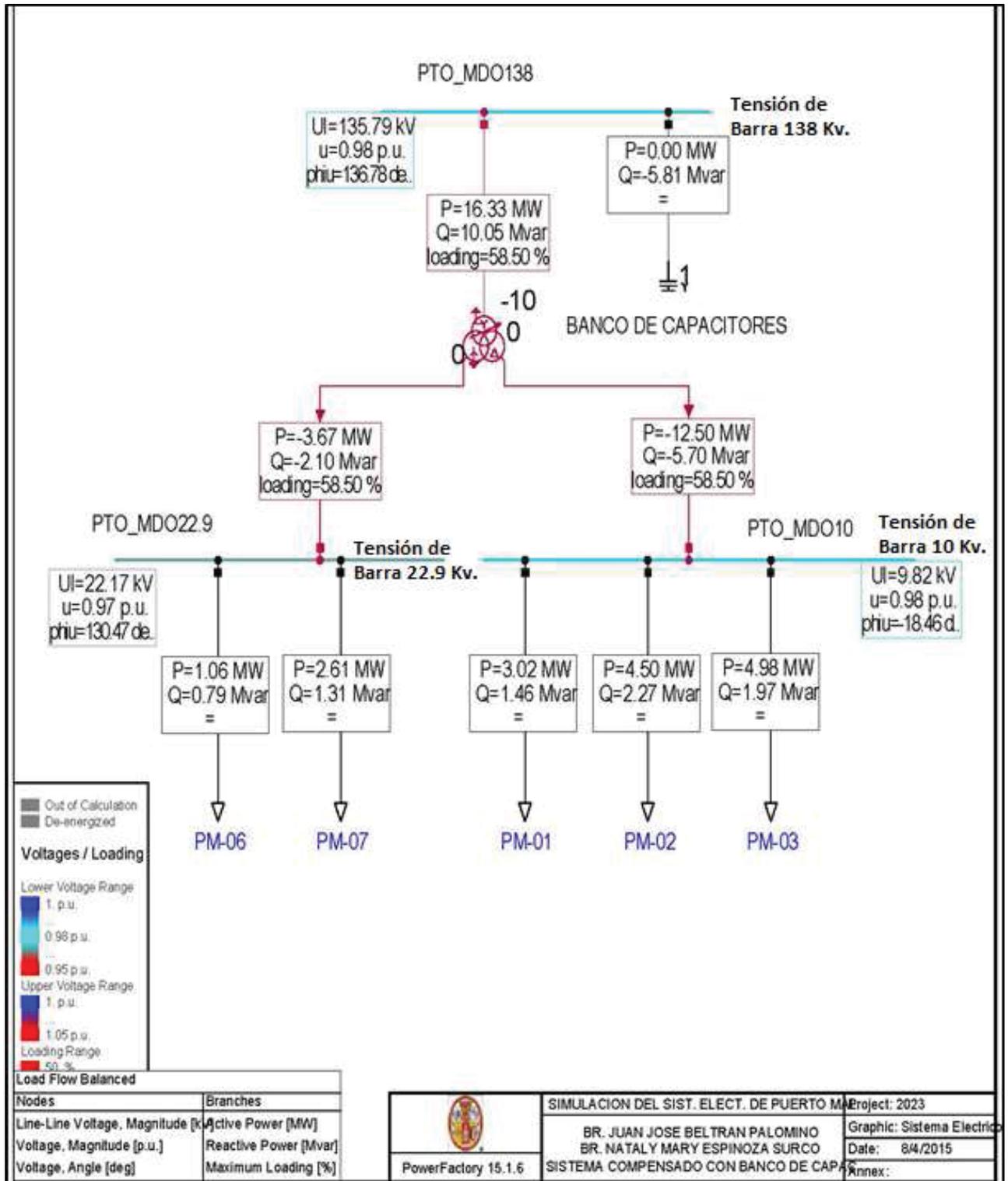
Con el TAP del transformador en la posición 10 del lado de alta, observamos que con el incremento de carga proyectado los niveles de tensión en las barras de 10, 22.9 y 138 kV. han caído tensiones 7.40%, 8.90% y 6.60%, respectivamente y al cargabilidad del transformador ha incrementado hasta 62.08%.

Para esta condición se observa que la caída de tensión en las barras ya es casi próxima al 10% y así podemos seguir proyectando nuestro sistema eléctrico de puerto Maldonado experimentalmente con el software Digsilent.

De aquí en adelante se proyectará el sistema eléctrico compensándolo desde la proyección en el año 2020 y verificando cómo se comporta cuando las cargas van creciendo en los siguientes años para completar nuestra proyección de los 10 años.

4.13.1 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación capacitiva para el año 2023.

Figura N°4. 19: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado año 2023 compensación capacitiva



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 41: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2023 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV.**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	1.01	80.07	138.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.67	-16.06	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	4.92
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 82	133.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	1.85

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 42: Perfil de Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24			Annex: / 10	
	rtd.V	Bus - voltage				Voltage - Deviation [%]			
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.999	137.80	137.76					
PTO_MDO10	10.00	0.983	9.83	-16.81					
PTO_MDO22.9	22.90	0.970	22.22	132.21					

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.43 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 43: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2022 con banco de capacitores - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P].**

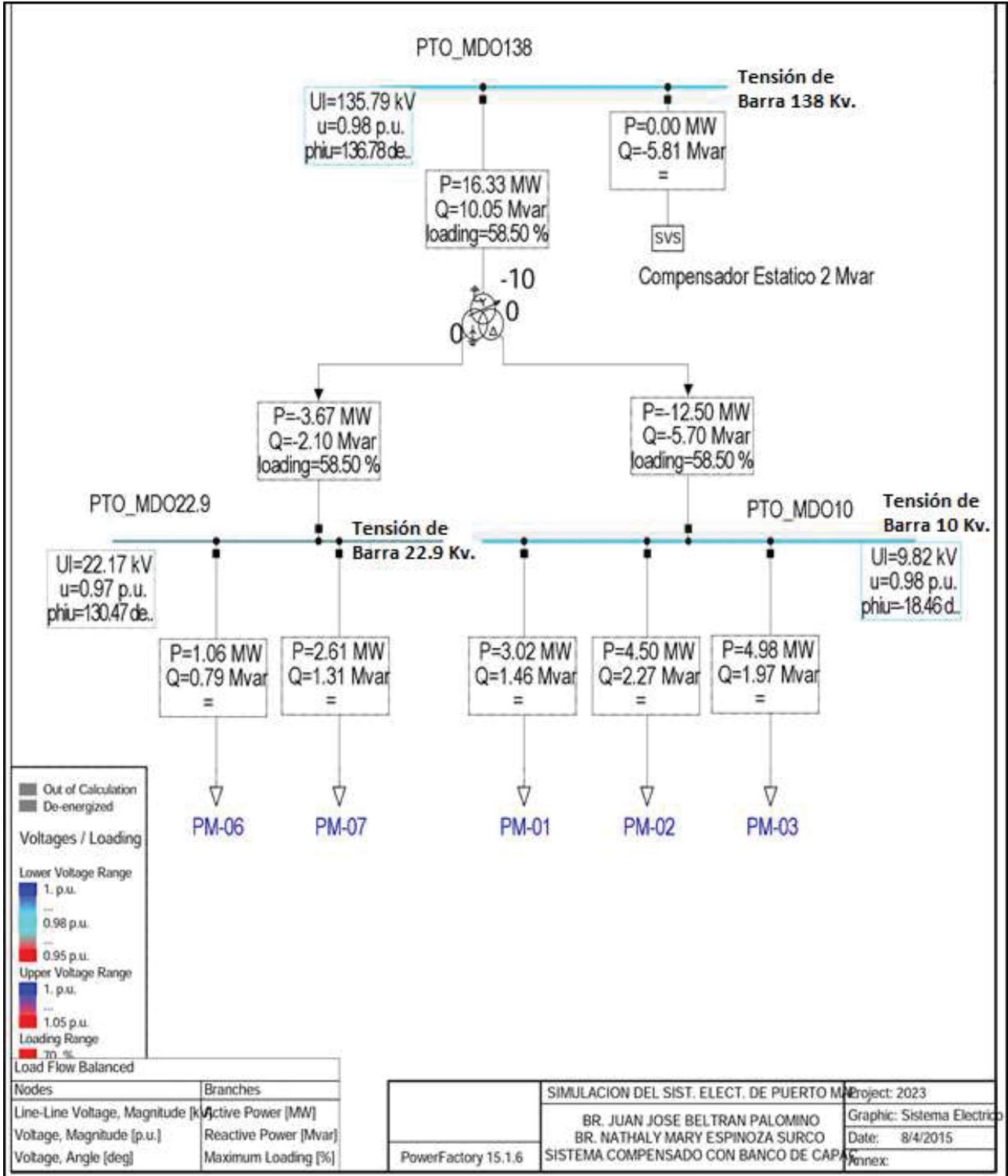
SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES					
BARRA	TENSION NOMINAL	CAIDA DE TENSION [%]			
	[kV]	SIN COMPENSAR		COMPENSADO	
	VALOR DE REFERENCIA				
PTO_MDO 138	138	6.6	NO CUMPLE (*)	1.6	CUMPLE (*)
PTO_MDO 22.9	22.9	8.9	NO CUMPLE (*)	3.2	CUMPLE (*)
PTO_MDO 10.0	10	7.4	NO CUMPLE (*)	1.8	CUMPLE (*)

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con un banco de capacitores de 6 Mvar

4.13.2 Operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación SVS para el año 2023.

Figura N°4. 20: Sistema Eléctrico Puerto Maldonado compensación SVS año 2023



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 44: Máxima Demanda de Potencia por Alimentadores Año 2023 - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV.**

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation		Motor	Load	Load	
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	0.98	78.40	136.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.67	-18.46	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	5.70
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 80	130.47	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67	2.10

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

**Tabla N°4. 45: Tensiones en las barras**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24				Annex: / 12	
	rtd.V	Bus - voltage			Voltage - Deviation [%]					
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	0	+5	+10	
PTO_MD0138	138.00	0.984	135.79	136.78						
PTO_MD010	10.00	0.982	9.82	-18.46						
PTO_MD022.9	22.90	0.968	22.17	130.47						

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

En la Tabla N°4.46 se observa el porcentaje de la variación de tensión respecto a la tensión nominal en las barras de 138 kV, 22.9 kV y 10 kV de la subestación Puerto Maldonado. Resaltamos que el caso sin compensar no cumple con la NTCSE pues exceden el 5.00 % de caída de tensión, por lo contrario al compensar la barra de 138 kV, las tensiones se encuentran dentro de la NTCSE.

**Tabla N°4. 46: Comparativo de Caída de Tensiones por Alimentadores Año 2022 con compensación SVS - SEP-Puerto Maldonado 10.0 -22.9 kV. [E.P].**

SISTEMA ELECTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES						
BARRA	TENSION NOMINAL [kV]	CAIDA DE TENSION [%]				
	VALOR DE REFERENCIA	SIN COMPENSAR		COMPENSADO		
PTO_MDO 138	138	6.6	NO CUMPLE (*)	1.6	CUMPLE (*)	
PTO_MDO 22.9	22.9	8.9	NO CUMPLE (*)	3.2	CUMPLE (*)	
PTO_MDO 10.0	10	7.4	NO CUMPLE (*)	1.8	CUMPLE (*)	

\* Referencia N.T.C.S.E. [5to]

Esta compensación se realiza con compensación SVS. 2 Mvar.

Conforme a los cálculos realizados respecto a las compensaciones efectuadas desde el año 2020, podemos indicar que ya es posible decidir sobre cuál de ellas usar técnicamente pero también importa el tema económico en cuyo caso se comentará ampliamente al elaborar su análisis en el siguiente capítulo.

## CAPITULO V

### **ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.**

## 5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se hace un análisis de las alternativas de solución y medidas a implementar, las cuales deben mejorar la operación del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado. Realizado el análisis de las alternativas, estas propuestas de solución deberán estar direccionadas a mejorar el perfil de tensiones y la sobrecarga de transformadores y de las líneas.

Realizado el diagnóstico actual y evaluando la operación para cada año del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado en el horizonte de estudio; se identificó que el problema principal son las caídas de tensión y la sobrecarga del transformador y de las líneas, que se observó desde el año 2013 o línea base, debido al incremento de carga proyectada bajo los porcentajes de crecimientos con los cuales trabaja ELSE S.A.A. para elaborar las demandas crecientes durante un horizonte de 10 años según la **Tabla N° 5. 1.**

**Tabla N°5. 1 Resultados del análisis del sistema eléctrico Puerto Maldonado en el horizonte de estudio**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAN24		Annex:		/ 10
	rtd.V [kV]	Bus - [p.u.]	voltage [kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - 0	Deviation [%] +5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.934	128.95	137.28					
PTO_MDO10	10.00	0.926	9.26	-18.57					
PTO_MDO22.9	22.90	0.911	20.85	130.22					

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]**

Teniendo en cuenta la problemática de caídas de tensión se plantea diferentes tipos de compensadores con los sistemas flexibles de transmisión de corriente alterna (FACTS), como son:

- 1) FACTS SERIE.
- 2) FACTS PARELO (COMPENSACIÓN SHUNT).

Así mismo en cuanto a la problemática de sobrecarga de los transformadores se plantea dos tipos como son:

- 1) Ventilación forzada (refrigeración ONAF).
- 2) Cambio del transformador.

## **5.2 Propuestas de Alternativas de Solución para las Líneas del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado.**

Para mejorar la problemática en cuanto a líneas, observados en el horizonte de estudio del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado, se realizará el análisis a partir del año 2020 ya que en este año es precisamente que las caídas de tensión en las Barras de 138, 22.9 y 10 kV, llegan a darse en forma paralela y a superar el límite permisible de caídas de tensión.

Teniendo en cuenta la problemática de caídas de tensión, los resultados del análisis de carga proyectada para cada uno de los alimentadores según el **Tabla Nº 5 .1**; ésta se realizó utilizando la tecnología de los sistemas de transmisión flexible de corriente alterna (FACTS).

Para la selección de la mejor alternativa se realizará el análisis con los siguientes tipos de compensación:

- a) Compensación capacitiva.
- b) Compensación estática de reactivos (SVS).

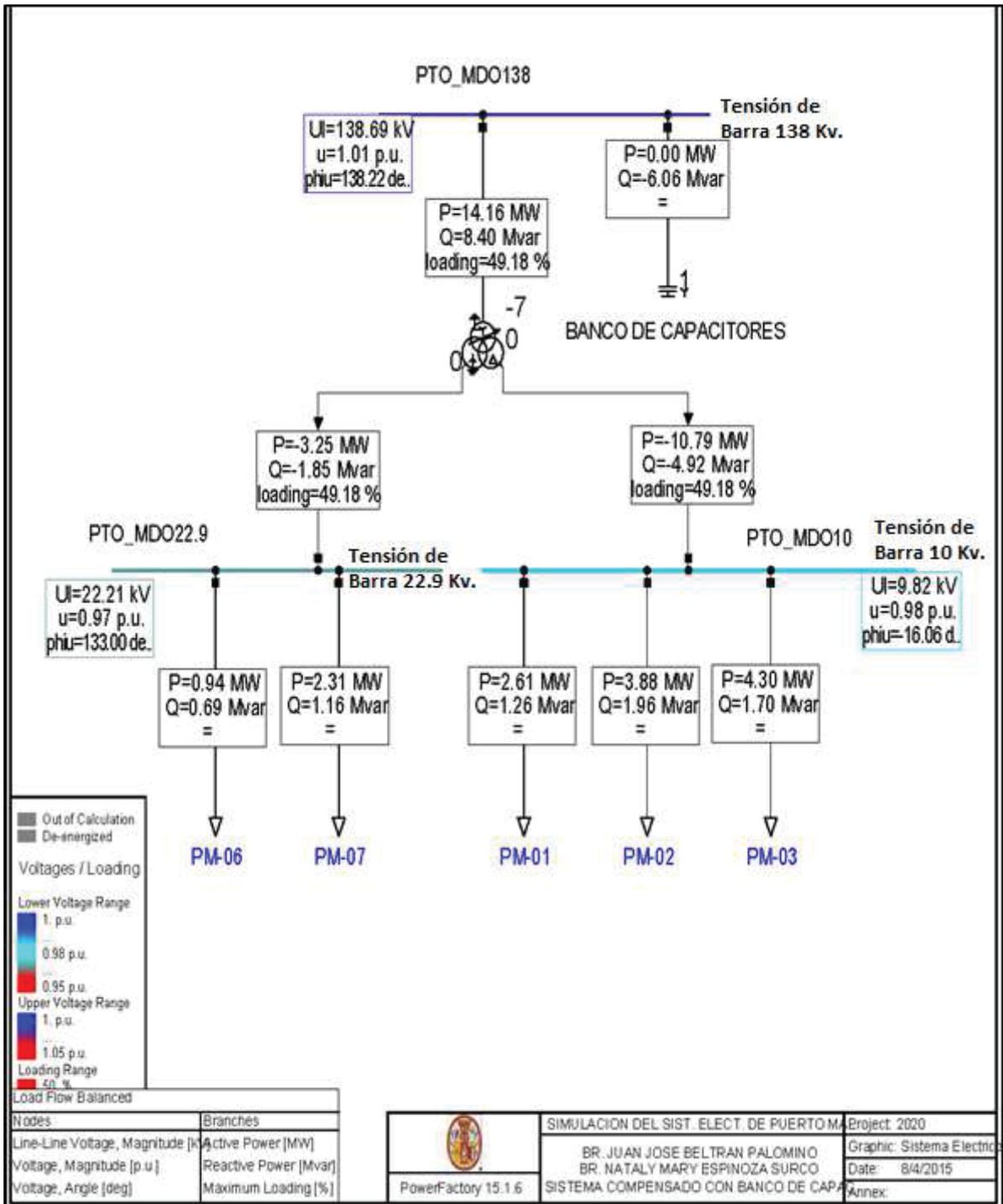
### **5.2.1 COMPENSACIÓN EN LA SET PUERTO MALDONADO.**

#### **5.2.1.1 COMPENSACIÓN CAPACITIVA.**

Normalmente la compensación capacitiva se realiza en paralelo a la carga donde existe una demanda de potencia reactiva inductiva o capacitiva. En este caso se trata de disminuir la caída de tensión en las líneas del sistema debido al efecto inductivo, y con mayor razón debido al crecimiento de carga inductiva y manteniendo el factor de potencia en las cargas crecientes proyectadas.

La implementación del compensador capacitivo en el Sistema Eléctrico Puerto Maldonado se puede apreciar en la siguiente **Figura Nº 5. 1**:

Figura N°5. 1: Implementación de Compensación Capacitiva



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

Los resultados de flujo de potencia con la implementación de compensación capacitiva Shunt ubicado en la barra 138. kV. Para poder compensar los niveles de tensión del mismo que podemos mostrarlos en la siguiente **Tabla N° 5 . 2:**

**Tabla N°5. 2: CAIDA DE TENSIÓN CON COMPENSACIÓN CAPACITIVA. 2020**  
**Perfil de tensión compensación capacitiva**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este		Study Case: MAn24		Annex: / 10	
rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0 +5 +10
PTO_MD0138	138.00	1.000	138.00	138.28		
PTO_MD010	10.00	0.987	9.87	-16.05		■
PTO_MD022.9	22.90	0.975	22.33	133.02		■

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]**

Del **Figura N° 5. 1** se observa que con la instalación de un compensador capacitivo de 6 MVAR en paralelo en la barra de 138 kV, la tensión en las barras disminuyen en 5.00 %, 2.00% y 3.00% respectivamente.

Del compensador propuesto para la solución de las caídas de tensión podemos mencionar algunas de sus especificaciones técnicas:

Punto de instalación : Barra Pto Maldonado 138 kV.

Nombre de la barra al cual se encuentra conectado : Barra Pto Maldonado 138 kV.

Tensión nominal : 138 kV.

Capacidad máxima de absorción de reactivos : 6 Mvar.

Frecuencia : 60Hz.

Altura de Instalación : 1800 msnm.

Este tipo de compensación es el medio más económico para producir potencia reactiva, pueden estar fijos o maniobrados mecánicamente.

Las ventajas de este tipo de compensación son el bajo costo y su flexibilidad de instalación y operación.

### 5.2.1.2 COMPENSACIÓN ESTÁTICA DE REACTIVOS (SVS).

Conocidos también como banco de inductores o capacitores automáticos variables. El funcionamiento del compensador estático de reactivos (Static Var System), se basa

en la utilización de tiristores conjuntamente con condensadores y bobinas (inductores), y su configuración consiste en un arreglo de compensadores en paralelo, usualmente TCR (Reactor Controlado por Tiristores) como TSC (Condensador Conmutado por Tiristores) de manera de contar con la posibilidad de realizar compensación capacitiva o inductiva. Los compensadores operan coordinados por un sistema de control, cuya estrategia más común es mantener la tensión en el punto de conexión en un valor fijo específico.

Un SVS está conformado por un banco de capacitores fijo y un banco de reactores en paralelo.

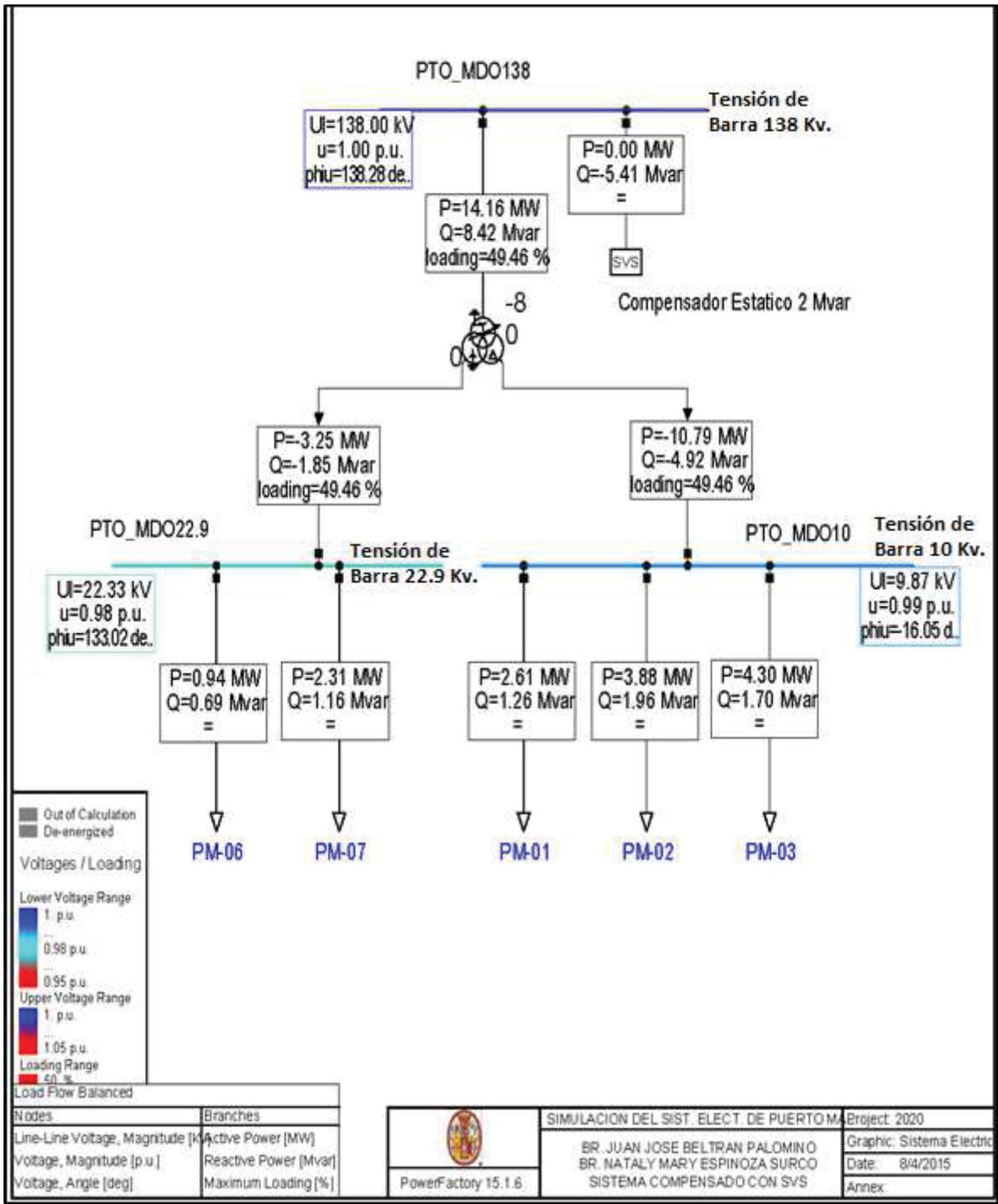
Estos compensadores pueden entregar (potencia capacitiva) o absorber (potencia inductiva) potencia reactiva de la red, permitiendo de esta forma:

- Regular el voltaje
- Mejorar la estabilidad (estado estable y dinámica)
- Evitar sobrevoltajes.
- Reducir desbalances de corriente.

La utilidad o ventaja del SVS está en su capacidad para cambiar su capacitancia-inductancia a alta velocidad, haciendo uso de electrónica de potencia, así mismo las desventajas que estos dispositivos presentan es el alto costo para su implementación.

La implementación del compensador estático de reactivos (SVS) en la barra de 138 kV de Puerto Maldonado se puede apreciar en el siguiente **Figura N° 5.2:**

Figura N° 5. 2: Implementación de Compensación Estático de Reactivos (SVS)



Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

Los resultados de la corrida de flujo con la implementación de compensación SVS en paralelo ubicado en la barra de Puerto Maldonado 138 kV. Del mismo modo que podemos mostrarlos en la siguiente Tabla N° 5 – 3:

**Tabla N°5. 3: CAIDA DE TENSIÓN CON COMPENSACIÓN ESTÁTICO DE REACTIVOS. 2022 Perfil de tensión con svcs 2020**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este				Study Case: MAn24		Annex: / 10		
rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0	+5	+10	
PTO_MD0138	138.00	1.000	138.00	138.28					
PTO_MD010	10.00	0.987	9.87	-16.05					
PTO_MD022.9	22.90	0.975	22.33	133.02					

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]**

De la **Tabla N° 5 .3** se observa que con la instalación de un compensador SVS de 2 MVAR en paralelo, la tensión en la barra de Puerto Maldonado 138 kV se aprecia que los niveles de tensión han sido compensados de manera similar que con el banco de capacitores, y también disminuye las caídas de tensión en las demás barras, tanto de alta y media tensión.

Del compensador propuesto para el mejoramiento de las caídas de tensión podemos mencionar algunas de sus especificaciones técnicas:

Punto de instalación : S.E. Puerto Maldonado

Nombre de la barra al cual se encuentra conectado: Barra Pto Maldonado 138 kV.

Tensión nominal : 138 kV.

Capacidad máxima de absorción de reactivos : 2 MVAR.

Frecuencia : 60Hz.

Altura de Instalación : 1800 msnm.

### 5.2.2 COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION.

Debido a que en el año 2020 las caídas de tensión en los alimentadores de media tensión en 22.9 y 10 KV. superan aun los límites permisibles de caídas de tensión, se realiza el análisis con compensación capacitiva y SVS desde el año 2020 al 2023 con la implementación de 6 Mvar y 2 Mvar respectivamente en las subestación de Puerto Maldonado en la barra 138 kV.

**Tabla N°5. 4: CUADRO COMPARATIVO DE COMPENSACION CAPACITIVA Y SVS DEL 2020 AL 2023 Perfil de tensiones 2020**

Grid: Area Sur Este		System Stage: Area Sur Este			Study Case: MAn24		Annex: / 10		
	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0 +5 +10		
PTO_MDO138	138.00	1.000	138.00	138.28					
PTO_MDO10	10.00	0.987	9.87	-16.05			■		
PTO_MDO22.9	22.90	0.975	22.33	133.02			■		

Grid: Area Sur Este		System Stage: Area Sur Este			Study Case: MAn24		Annex: / 10		
	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0 +5 +10		
PTO_MDO138	138.00	1.000	138.00	138.28					
PTO_MDO10	10.00	0.987	9.87	-16.05			■		
PTO_MDO22.9	22.90	0.975	22.33	133.02			■		

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

De la **Tabla N° 5.4** se puede observar que con la implementación de la compensación capacitiva de 6 MVAR en paralelo en el año 2020, las caídas de tensión en la línea barra Puerto Maldonado en 138 kV para el año 2020 reducen las caídas y son menores al 5.00 %, y se estaría mejorando el perfil de tensiones con un 4.39 %, similarmente pasa cuando se implementa un SVS de 2 MVAR, pues se logra compensar la caída de, los resultados se aprecian en la siguiente Tabla N° 5 – 5:

**Tabla N°5. 5: CUADRO COMPARATIVO DE COMPENSACION CAPATIVA Y SVS DEL 2023 AL 2023**

Grid: Área Sur	Este	System Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4	Generation	Motor	Load	Load		
	rtd. V [kV]	Bus-voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	1.01	80.07	138.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.67	-16.06	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	4.92
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 82	133.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	1.85

Grid: Área Sur	Este	System	Stage: Área Sur	Este	Study Case: MAn2 4					
	rtd. V		Bus-voltage		Generation	Motor	Load	Load		
	[kV]	[p.u.]	[kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
PTO MD013 8	138.00	1.00	79.56	137.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTO MDO10	10.00	0.98	5.68	-16.81	0.00	0.00	0.00	0.00	11.34	5.17
PTO MD022.9	22.90	0.97	12. 83	132.21	0.00	0.00	0.00	0.00	3.38	1.93

Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]

De la **Tabla N° 5 . 5** se puede observar que con la implementación de 6 MVAR más, en la Barra de Puerto Maldonado 138 kV, se estaría mejorando los problemas de caídas de tensión en las líneas del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado para el presente horizonte en estudio.

### 5.2.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.

Realizado el análisis anterior con compensación capacitiva y SVS desde el año 2020 al 2023 podemos observar que los niveles de tensión disminuyeron significativamente, cuando se aplicó la compensación en la barra de 138 kV. así mismo para la selección de la mejor alternativa se muestra en la Tabla N° 5.1 con sus características principales.

**Tabla N°5. 6: COMPARACION DE LOS FACTS**

DISPOSITIVO DE COMPENSACION	FUNCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>SVS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regula el factor de potencia</li> <li>- Eleva la capacidad de transmisión</li> <li>- Compensación de reactivos</li> <li>- Amortiguamiento de las oscilaciones</li> <li>- Estabilización transitoria y dinámica</li> <li>- Reduce desbalance de corriente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La utilidad o ventaja del SVS estriba en su capacidad para cambiar su capacitancia-inductancia a alta velocidad, haciendo uso de electrónica de potencia.</li> <li>- Tiempo de respuesta del sistema de regulación menores a 20ms.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo para su instalación por sus componentes de electrónica de potencia</li> </ul>
<b>CAPACITIVO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de tensión en estado estacionario</li> <li>- Reducción de armónicos</li> <li>- Suministra potencia reactiva</li> <li>- Aumenta la capacidad de transmisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo y su flexibilidad de instalación y operación corrigen el factor de potencia y el control de la tensión operados mediante interruptores de manera automática con un relé de tensión o manualmente</li> <li>- Tiempo de respuesta del sistema de regulación menores a 15 ms.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La potencia reactiva depende del cuadrado de su tensión, proveen el mínimo soporte de la tensión cuando su aporte es más necesario.</li> </ul>

La compensación capacitiva viene hacer la mejor alternativa en cuanto a la problemática de caída de tensión, evaluado técnicamente permite una compensación de la potencia reactiva en la barra de 138 kV. el cual mejora el nivel de tensión en las barras aguas abajo y por ende en los alimentadores de PM01, PM02, PM03, PM06 y PM07.

La implementación de compensadores capacitivos desde el punto de vista económico es viable, porque su inversión es mucho menor a comparación de los compensadores SVS. Por lo tanto la compensación capacitiva es técnica y económicamente viable.

### 5.3 RESULTADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPENSADORES Y DE NUEVOS TRANSFORMADORES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.

Planteada las soluciones a los problemas suscitados en el horizonte de estudio como son caídas de tensión en las líneas y sobrecarga de transformadores y líneas, se realizó la implementación de dichas soluciones al Sistema Puerto Maldonado para su análisis en el año 2020.

#### 5.3.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

##### 5.3.1.1 RESULTADOS DEL FLUJO PARA LOS TRANSFORMADORES.

**Tabla N°5. 7: RESULTADOS DE FLUJO DE POTENCIA PARA TRANSFORMADORES 2023**

ELEMENTO	TIPO	POT. ACTIVA	POT. REACTIVA	CORRIENTE	ANGULO	LIDAD	PÉRDIDAS P	PÉRDIDAS Q
NOMBRE		MW	MVAR	KA	°	%	KW	MVAR
Puerto Maldonado 138/22.9/10 kV	Transformador Trifasico de 3 Dev.	- 3.127	-0.141	0.079	- 177.42	78.4	0.39	0.143

Fuente: Electro sur Este S.A.A. [E.P.]

Como se puede observar en la Tabla N° 5 – 7, el transformador de Puerto Maldonado 138/22.9/10 kV compensado con un banco de capacitores de 6 MVAR, se podrá garantizar la cobertura de la demanda de los clientes en todo el horizonte de estudio.

##### 5.3.1.2 RESULTADOS DE CAIDAS DE TENSIÓN.

Así mismo, se analiza el comportamiento de los perfiles de tensión en las líneas del sistema eléctrico en estudio como se muestra en el siguiente Tabla N° 5.8.

**Tabla N°5. 8: PERFILES DE TENSION DEL SISTEMA PUERTO MALDONADO  
Perfil de puerto Maldonado compensado con capacitores**

Grid: Area Sur Este	System Stage: Area Sur Este		Study Case: MAn24		Annex:		/ 10	
rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%]		
						0	+5	+10
PTO_MDO138	138.00	0.999	137.80	137.76				
PTO_MDO10	10.00	0.983	9.83	-16.81				
PTO_MDO22.9	22.90	0.970	22.22	132.21				

**Fuente: Electro sur Este S.A.A. - Oficina SID. [E.P.]**

Del cálculo realizado con la implementación de los compensadores en el sistema Eléctrico Puerto Maldonado en la Tabla N° 5. 8 podemos observar que en el horizonte de estudio la cargabilidad de las líneas no superan el límite máximo de caídas de tensión.

#### 5.4 ALCANCE DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LOS DISPOSITIVOS FACTS EN EL SUB-SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.

##### 5.4.1 ECONÓMICO

El incremento de la energía eléctrica producto del crecimiento de la demanda obliga a buscar cómo llevar mayor cantidad de potencia para satisfacer tal demanda; se puede optar por la construcción de una nueva línea de transmisión, pero resulta en costos de inversión sumamente altos, además de las dificultades técnicas en cuanto a poder conseguir los derechos de paso.

Como una alternativa más eficiente está la instalación de dispositivos FACTS en el sistema, lo que permitirá incrementar la capacidad de las líneas de transmisión.

Entre los beneficios económicos en la utilización de FACTS se puede mencionar los siguientes:

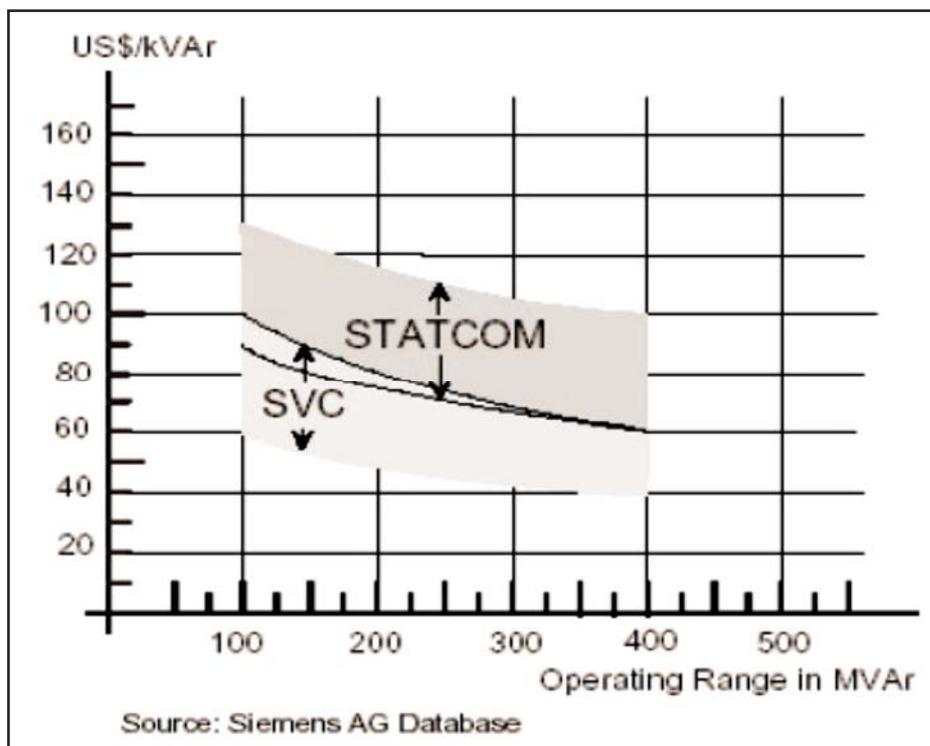
Ventas adicionales, debido al incremento de la capacidad de transmisión.

Mejoramiento de los niveles de tensión.

Evitar o retrasar la inversión en la construcción de nuevas líneas de transmisión.

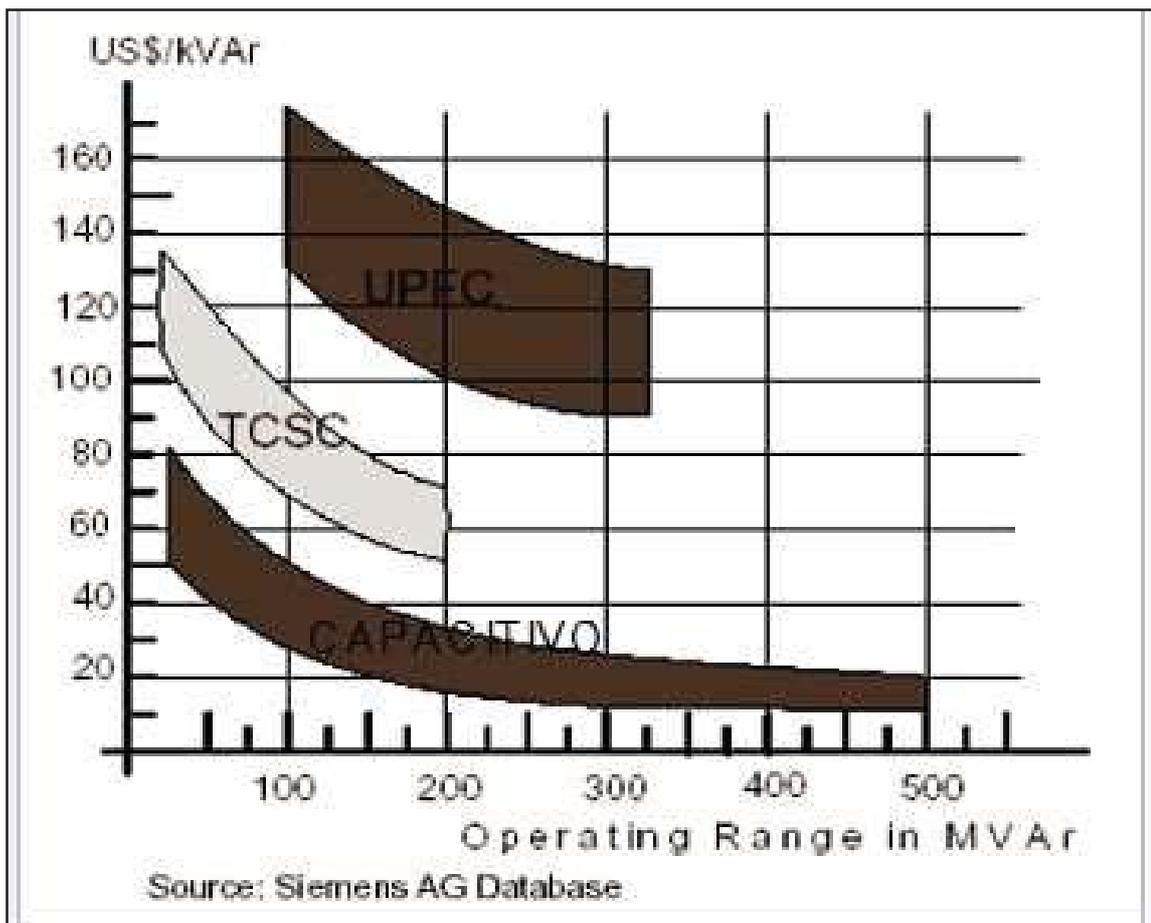
Los costos de los dispositivos FACTS varían de acuerdo al tipo de controlador y a la capacidad del mismo, así se tiene que de acuerdo con la Figura 5.3 muestra que los compensadores SVS y STATCOM tienen un costo de inversión típico global de alrededor de 100 US\$/kVAr por cada 100 MVar de rango de operación y que también estos dispositivos son diseñados para trabajar con cargas muy superiores en comparación con la carga que tenemos en las barras del sistema de la Subestación de Puerto Maldonado y de acuerdo con la Figura 5.4 muestra que los compensadores CAPACITIVOS tienen un costo de inversión típico global de alrededor de 50 US\$/kVAr por cada 25 MVar de rango de operación a diferencia del sistema SVS estos dispositivos pueden ser diseñados para trabajar con cargas mucho menores que las de SVS, lo cual hace que esta sea la alternativa elegida para mejorar el sistema eléctrico en estudio, a continuación mostramos los siguientes gráficos donde se muestra los principales dispositivos FACTS:

**Figura N°5. 3: Costo de inversión típico global para un SVS y STATCOM**



Fuente: Siemens AG Database 2010.

Figura N°5. 4: Costo de inversión típico global para un CAPACITIVO



Fuente: Presiones Índice para suministro de FSC, Siemens AG Database 2010 - .

Los gráficos anteriores representan una aproximación a los precios de algunos dispositivos FACTS de acuerdo al rango de operación en MVAR, estos se miden en dólares por kVA. Instalado como se puede apreciar el diagrama respectivo.

#### 5.4.2 TÉCNICOS

Técnicamente la incorporación de dispositivos FACTS en un Sistema Eléctrico representa una mejora debido a la avanzada tecnología de los mismos. El uso de la electrónica de potencia permite que estos sean controlados con una mayor precisión, así mismo no se presenta el desgaste que ocurre con los dispositivos de accionamiento mecánico por lo que su tiempo de vida es mucho mayor.

Así, desde el punto de vista técnico, la incorporación de dispositivos FACTS a un Sistema Eléctrico representa una mejora tecnológica que permite optimizar la operación del mismo.

#### 5.4.3 PUNTO DE INSTALACION

Existen tres factores importantes a considerar cuando se ha tomado la decisión de instalar un dispositivo FACTS: el tipo de dispositivo, la capacidad requerida y la ubicación que optimice el funcionamiento del dispositivo. De estos factores, el último es de suma importancia, ya que la ubicación de los FACTS depende del efecto deseado y de las características propias del sistema. En el presente tema de tesis se ha elegido la compensación capacitiva como dispositivo FACTS a usar, y se desea mantener los niveles de tensión lo más cercano del valor nominal. Para ello es necesario ubicar los FACTS, en los centros de carga importante y en las subestaciones de importancia.

#### 5.4.4 ALCANCE DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LOS TRANSFORMADORES EN EL SUBSISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO.

**Tabla N°5. 9: Costos de los Transformadores a implementar**

NOMBRE	Equipos Principales (US \$)	Equipos Complementarios (US \$)	Fletes Suministros (US \$)	Montaje Electromecánico (US \$)	Obras Civiles (US \$)	Pruebas y Puesta en Servicio (US \$)	Ingeniería de Detalle (US \$)	Total Directo (US \$)	Gastos Generales del Contratista (US \$)	TOTAL GENERAL (US \$)
Trafo. Trifasico de tres devanados	128,357.63	9,235.14	621.42	12,824.19	8,731.19	1658	5978.23	167,405.80	13,392.46	180,798.26

Fuente: OSINERGMIN [E.P.]

#### 5.5 EVALUACION DE CAMBIO DE CONDUCTORES.

No se realizó el análisis de la condición de cambio de conductores porque según el análisis y con los sistemas de compensación utilizada se puede tranquilamente realizar la compensación de la tensión. Sin embargo, es de preverse que en futuros escenarios se dispondrá la implementación de redes eléctricas a niveles de tensión mayores de 138 kV. Lo cual con llevar a un cambio que ya es decisión gubernamental.

## CONCLUSIONES

1. Al proyectar las demandas de consumo en cada barra del Sistema Eléctrico de puerto Maldonado se muestra un incremento en la caída de tensión en los años próximos que superan los parámetros mínimos de caída, visualizando un escenario hasta el año en estudio 2023 se presentan niveles de caída de tensión de un 7.4% en los alimentadores PM-01, PM-02 Y PM-03 y de un 8.9% en los alimentadores PM-6 y PM-07, así mismo tienen una caída de 6% , en la barra Pto Maldonado 138 kV.
2. Los medios por los cuales se pueden corregir las caídas de tensión son los bancos de capacitores de 6 Mvar para reducir los niveles de tensión hasta niveles permisibles de caídas de tensión y también sistemas SVS de 2Mvar.
3. Mediante la simulación proyectado al 2023 del Sistema Eléctrico de puerto Maldonado en sus redes de media tensión de acuerdo a los resultados obtenidos, se prevé una caída de tensión en la barra Pto Maldonado 138 kV presenta de 6.6%, en los alimentadores PM-01, PM-02 Y PM-03 una caída tensión de 7.4% y en los alimentadores PM-6 y PM-07 tienen una caída del orden del 8.9%.
4. La mejor alternativa para lograr reducir la caída de tensión a niveles permisibles son los bancos de capacitores dado que la inversión económica que necesitaría sería mucho menor a la de sistemas SVS.
5. Los costos de los dispositivos FACTS varían de acuerdo al tipo de controlador y a la capacidad del mismo, así se tiene que los compensadores SVS y STATCOM tienen un costo de inversión típico global de alrededor de 100 US\$/kVAr por cada 100 MVA de rango de operación y que también estos dispositivos son diseñados para trabajar con cargas muy superiores en comparación con la carga que tenemos en las barras del sistema de la Subestación de Puerto Maldonado y de los compensadores CAPACITIVOS tienen un costo de inversión típico global de alrededor de 50 US\$/kVAr por cada 25 MVA de rango de operación a diferencia del sistema SVS estos dispositivos pueden ser diseñados para trabajar con cargas mucho menores que las de SVS, lo cual hace que esta sea la alternativa elegida para mejorar el sistema eléctrico en estudio, a continuación mostramos los siguientes gráficos donde se muestra los principales dispositivos FACTS:

## RECOMENDACIONES

1. Desarrollar estudios de cargabilidad del transformador de la subestación de puerto Maldonado en la línea de 138 kV., tendientes a garantizar el tiempo de vida útil.
2. Se recomienda actualizar la data del Sistema Eléctrico Puerto Maldonado con información actualizada de la empresa Electro Sur Este.

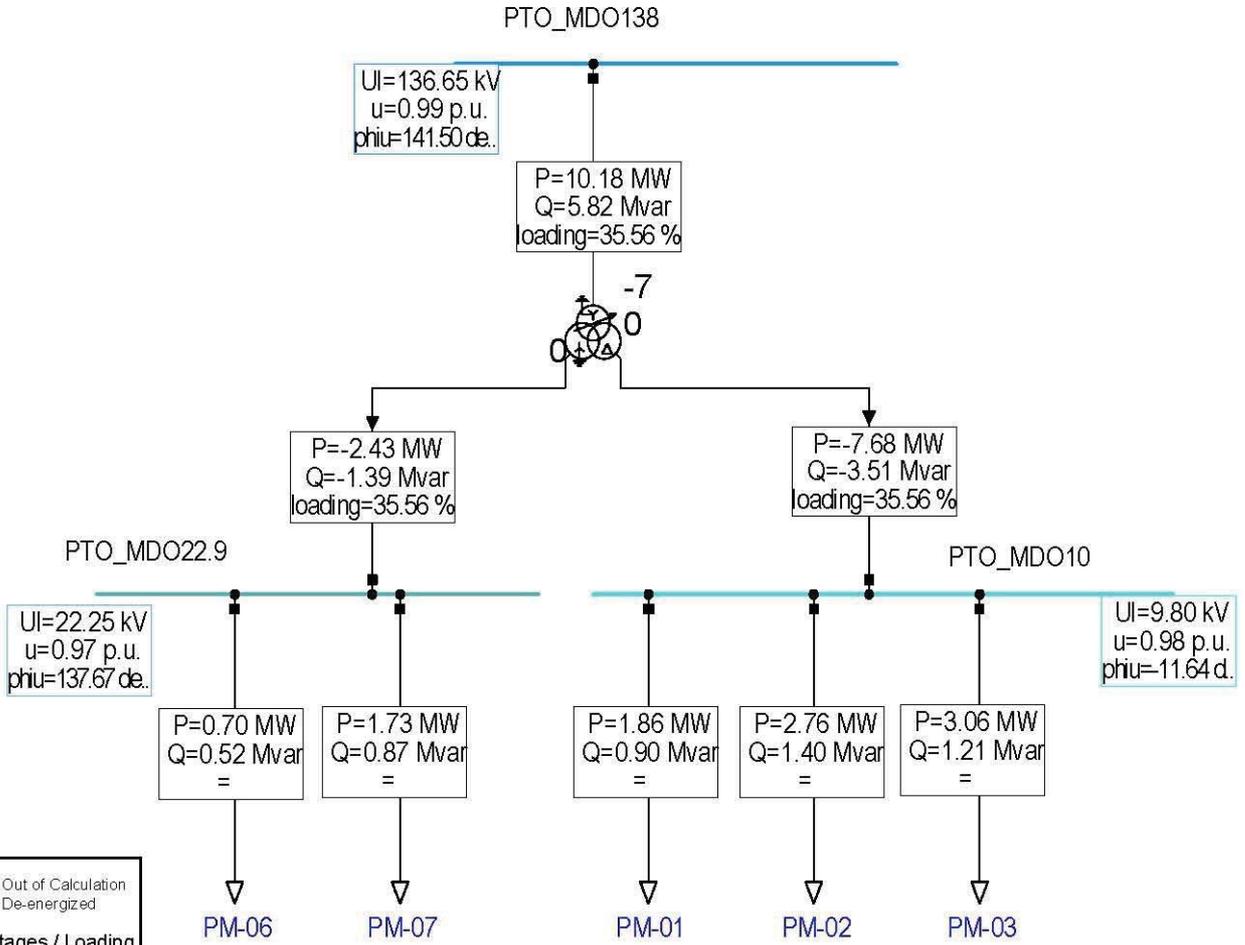
## BIBLIOGRAFIA

- [1]. [Dirección General de Electricidad - Ministerio de energía y Minas, Código Nacional de Electricidad Sistema de Distribución tomo IV
- [2]. [Ministerio de Energía y Minas, brochure “Perú sector eléctrico 2010”.
- [3]. [Espinosa y Lara Roberto, “Sistemas de distribución”, Sistemas editoriales técnicos S.A.de.C.V., 1990.
- [4]. [Dirección General de Electricidad - Ministerio de energía y Minas, “Normas Técnica de Calidad de los servicios Eléctricos”, 1997
- [5]. Dirección General de Electricidad - Ministerio de Energía y Minas “Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas”, 2008
- [6]. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia-Stevenson.1979
- [7]. Plan Nacional de Electrificación Rural 2006-2015 (PNER).
- [8]. Plan de Electrificación Rural 2008-2017 de la Dirección General de Electrificación Rural (DGER).
- [9]. [Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento DL. Nro 25844 y D.S. Nro 009-93-EM.
- [10]. Análisis de Coordinación de Protección PSE Chacapunte en 22.9 kV del Departamento de Madre de Dios.
- [11]. Carrasco Díaz, Sergio. Metodología De La Investigación
- [12]. Luis Felipe Miranda , Esperanza Medina –“Investigando Ingeniería”, 1998
- [13]. Ing. Agustín Gutiérrez Paucar- “Teoría y Análisis de Máquinas Eléctricas,2000
- [14]. Víctor Sánchez Huerta-“ Perturbación en la Red Eléctrica”- ,2006
- [15]. [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)
- [16]. [www.osinergmin.gob.pe](http://www.osinergmin.gob.pe)
- [17]. [www.else.com.pe](http://www.else.com.pe)

## ANEXOS

1. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2013
2. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2014
3. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2015
4. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2016
5. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2017
6. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2018
7. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2019
8. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020
9. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020 COMPENSACIÓN CAPACITIVA.
10. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2020, COMPENSADO CON SVS.
11. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2021
12. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2021 COMPENSACIÓN CAPACITIVA.
13. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2021 COMPENSACIÓN SVS
14. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2022
15. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2022 COMPENSACIÓN CAPACITIVA
16. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2022 COMPENSACIÓN SVS
17. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2023
18. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2023 COMPENSACIÓN CAPACITIVA
19. SISTEMA ELÉCTRICO PUERTO MALDONADO AÑO 2023 COMPENSACIÓN SVS

**Anexo 01**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2013**



Out of Calculation  
 De-energized

**Voltages / Loading**

Lower Voltage Range

- 1. p.u.
- ...
- 0.98 p.u.
- ...
- 0.95 p.u.

Upper Voltage Range

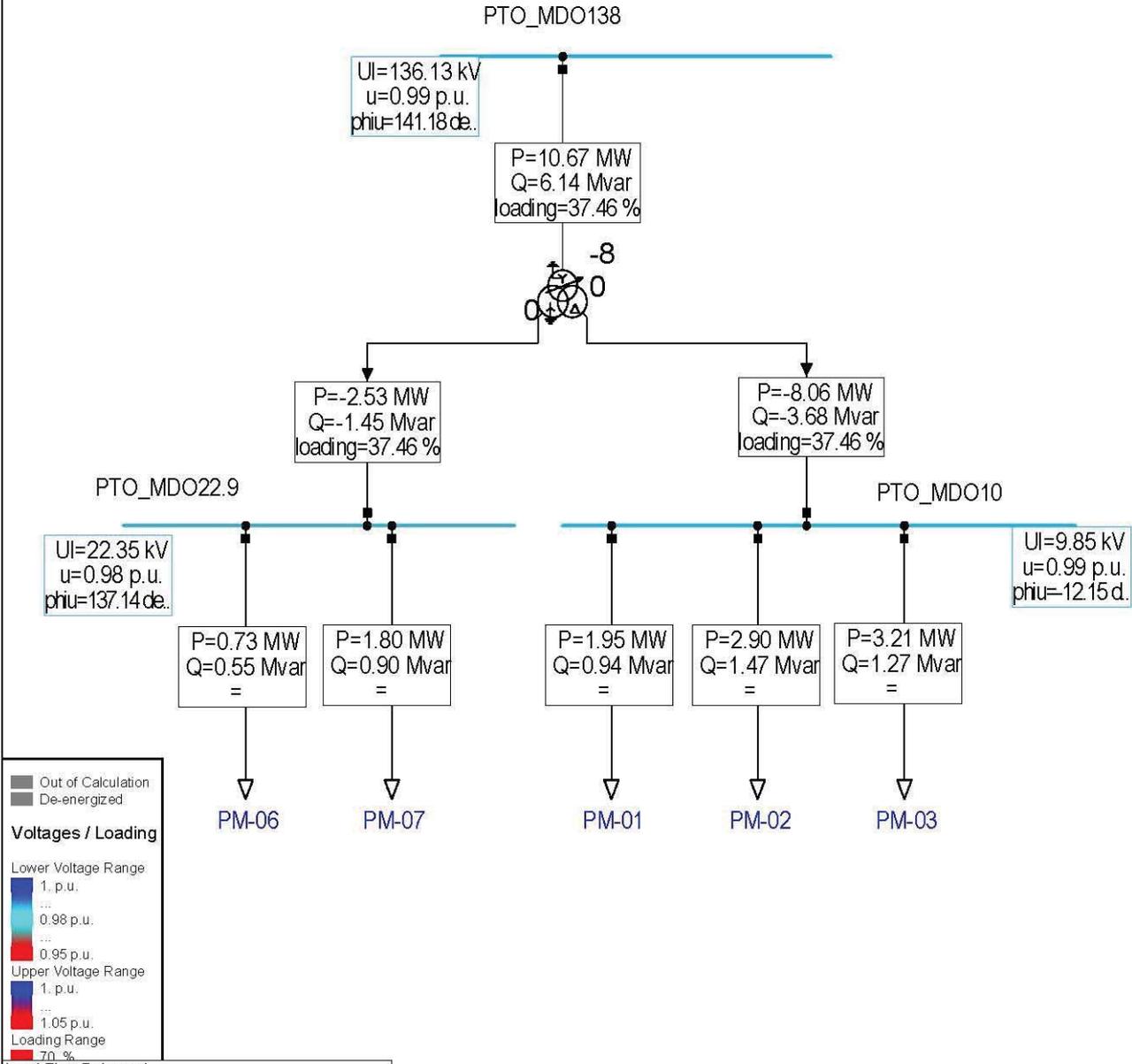
- 1. p.u.
- ...
- 1.05 p.u.

Loading Range

- 70. %
- ...
- 100. %

	SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO	Project: 2013
	BR. JUAN JOSE BELTRAN PALOMINO BR. NATHALY MARY ESPINOZA SURCO	Graphic: Sistema Electrico
PowerFactory 15.1.6	SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO	Date: 8/4/2015
		Annex:

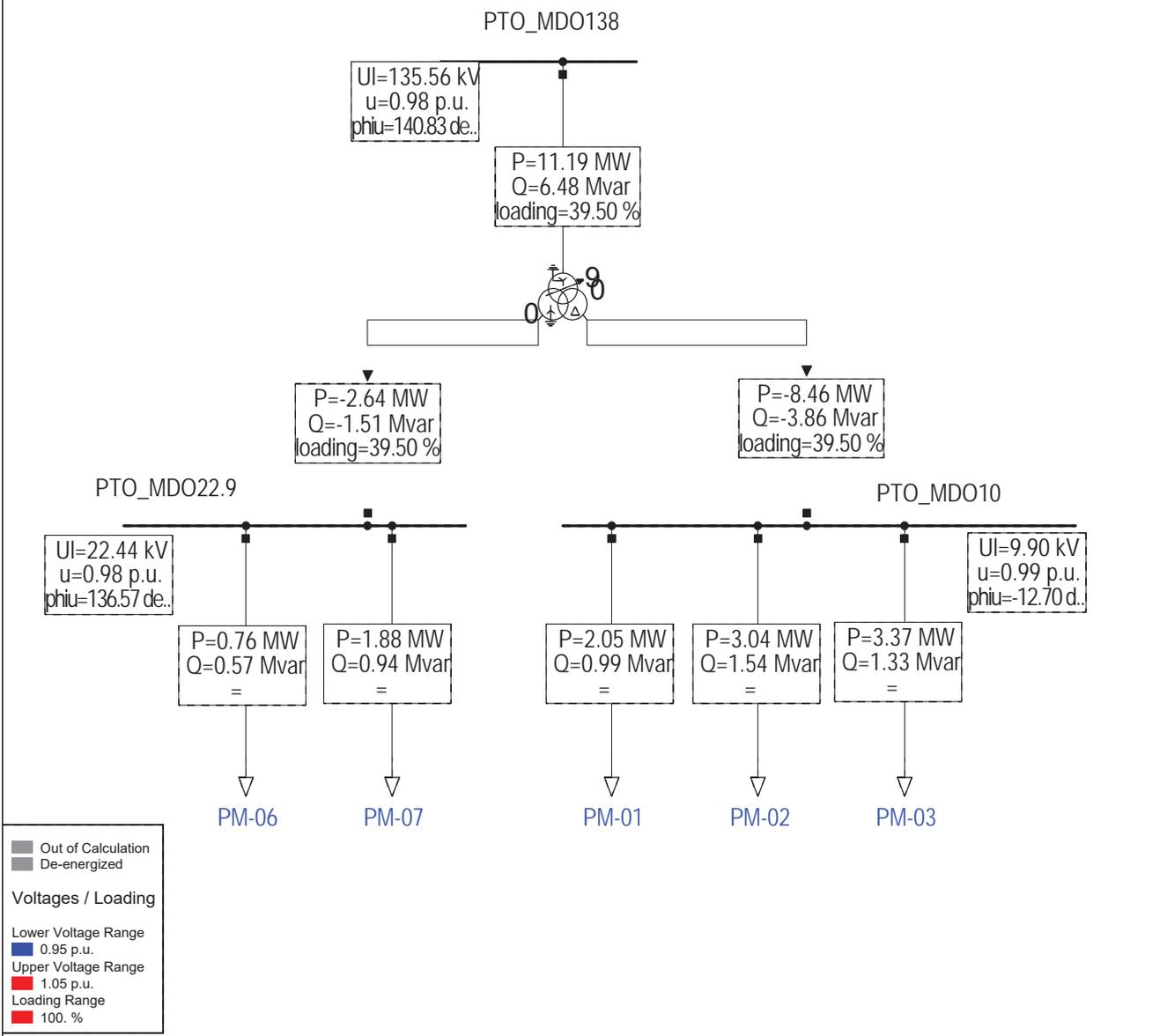
Anexo 02  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
 AÑO 2014



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]

PowerFactory 15.1.6	SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO	Project: 2014
	BR. JUAN JOSE BELTRAN PALOMINO BR. NATHALY MARY ESPINOZA SURCO	Graphic: Sistema Electrico
	SISTEMA COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES	Date: 8/4/2015
		Annex:

**Anexo 03**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2015**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



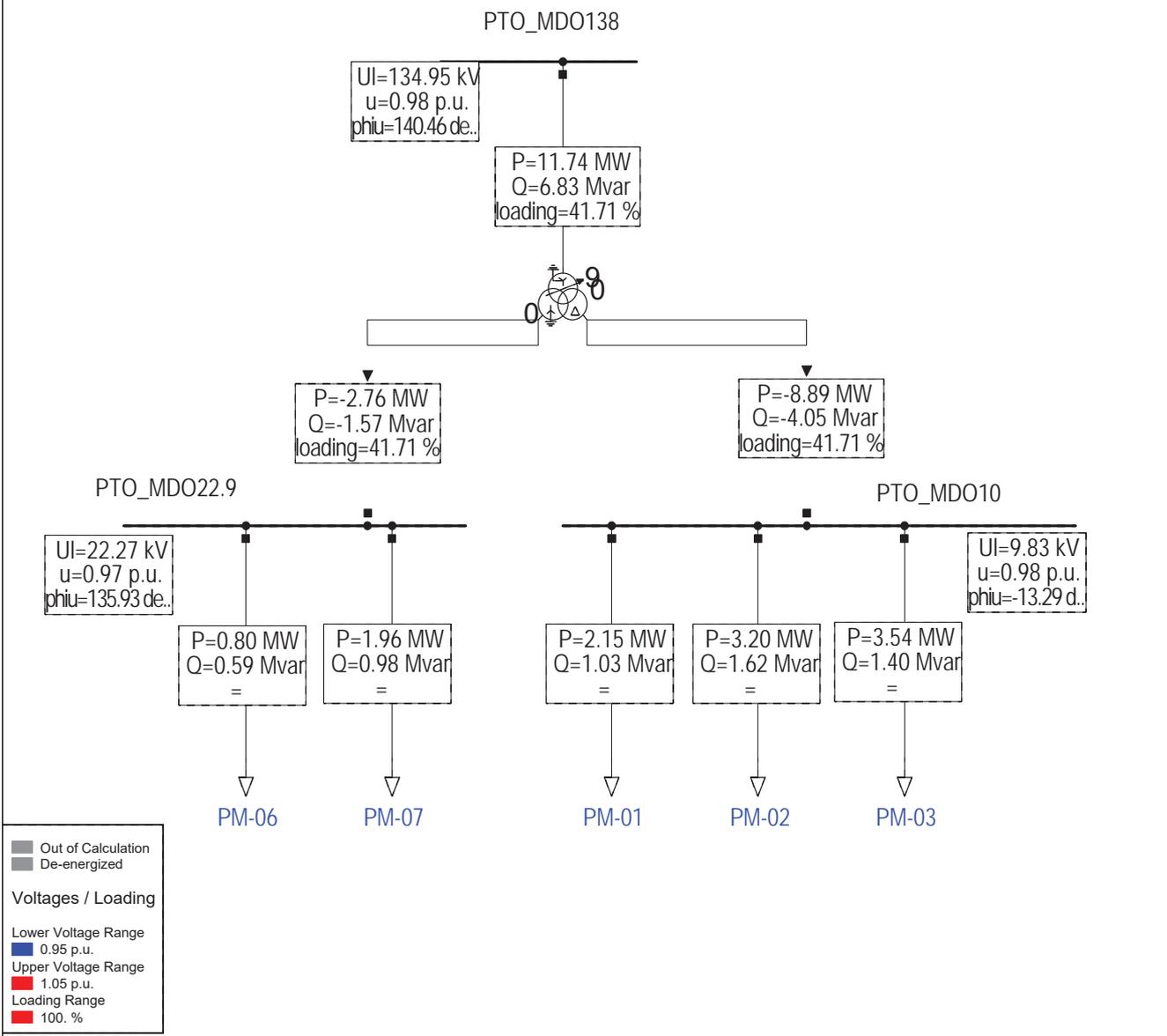
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2015
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 03

**Anexo 04**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2016**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



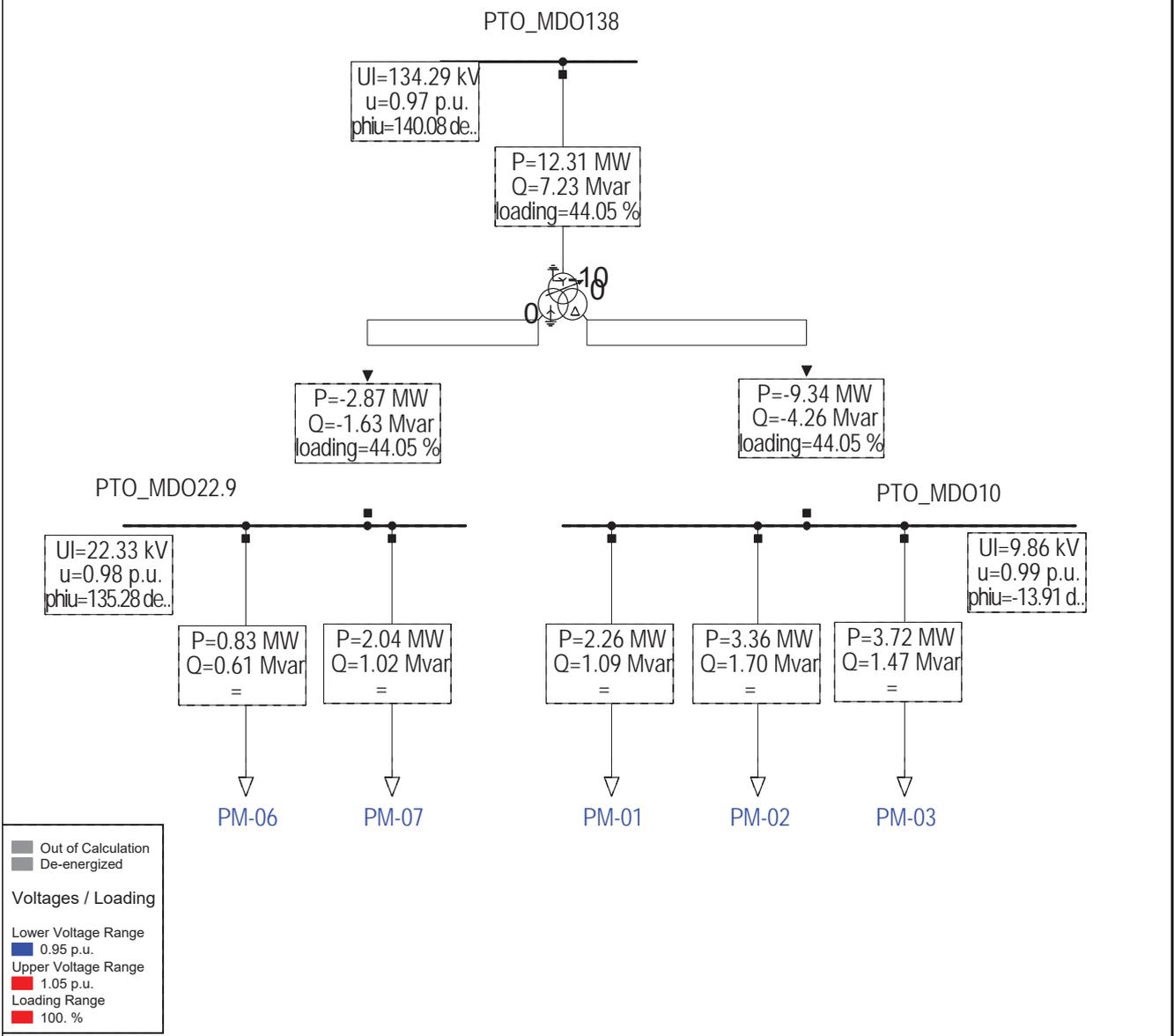
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2016
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 04

**Anexo 05**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2017**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



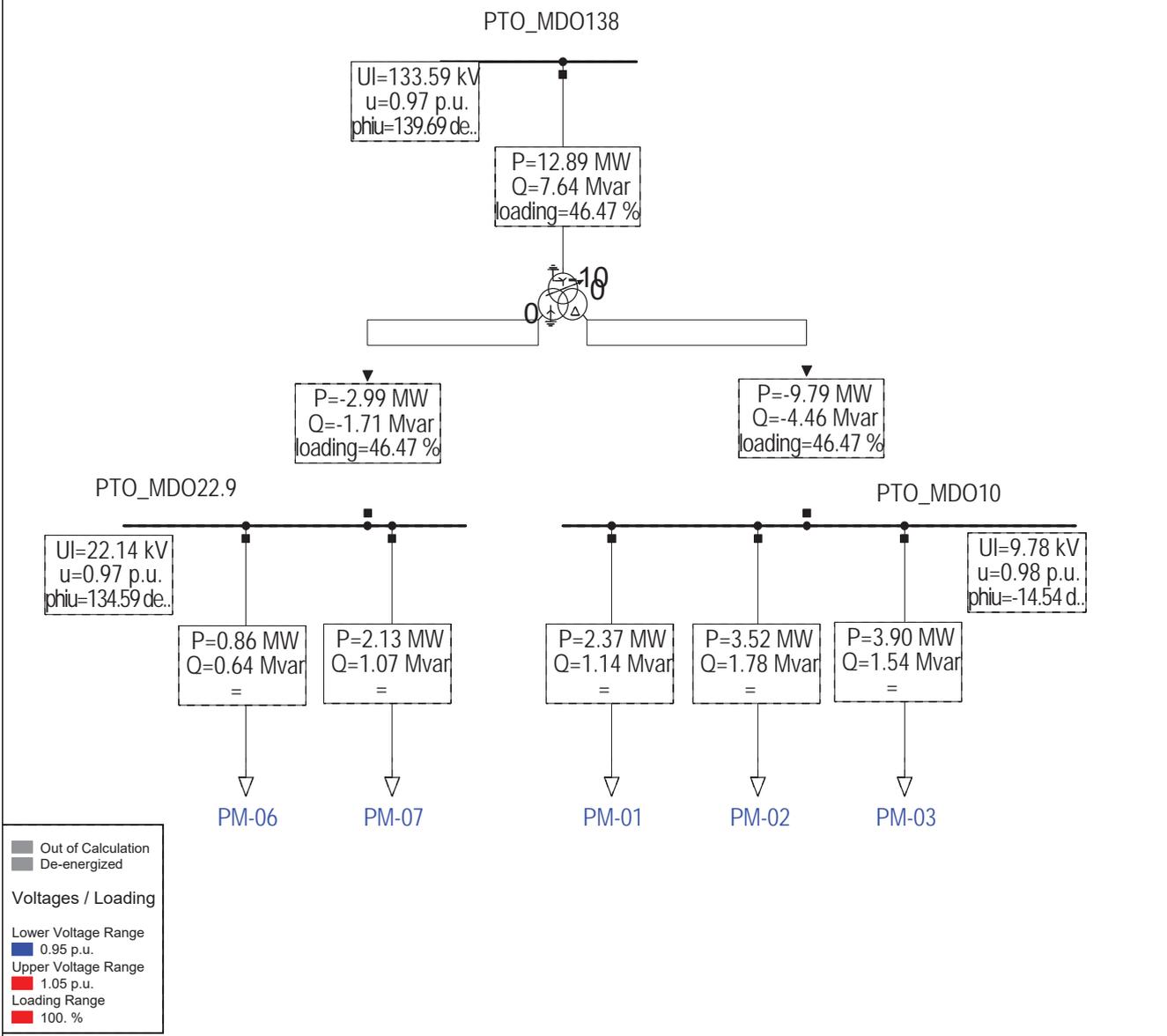
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2017
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 05

**Anexo 06**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2018**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

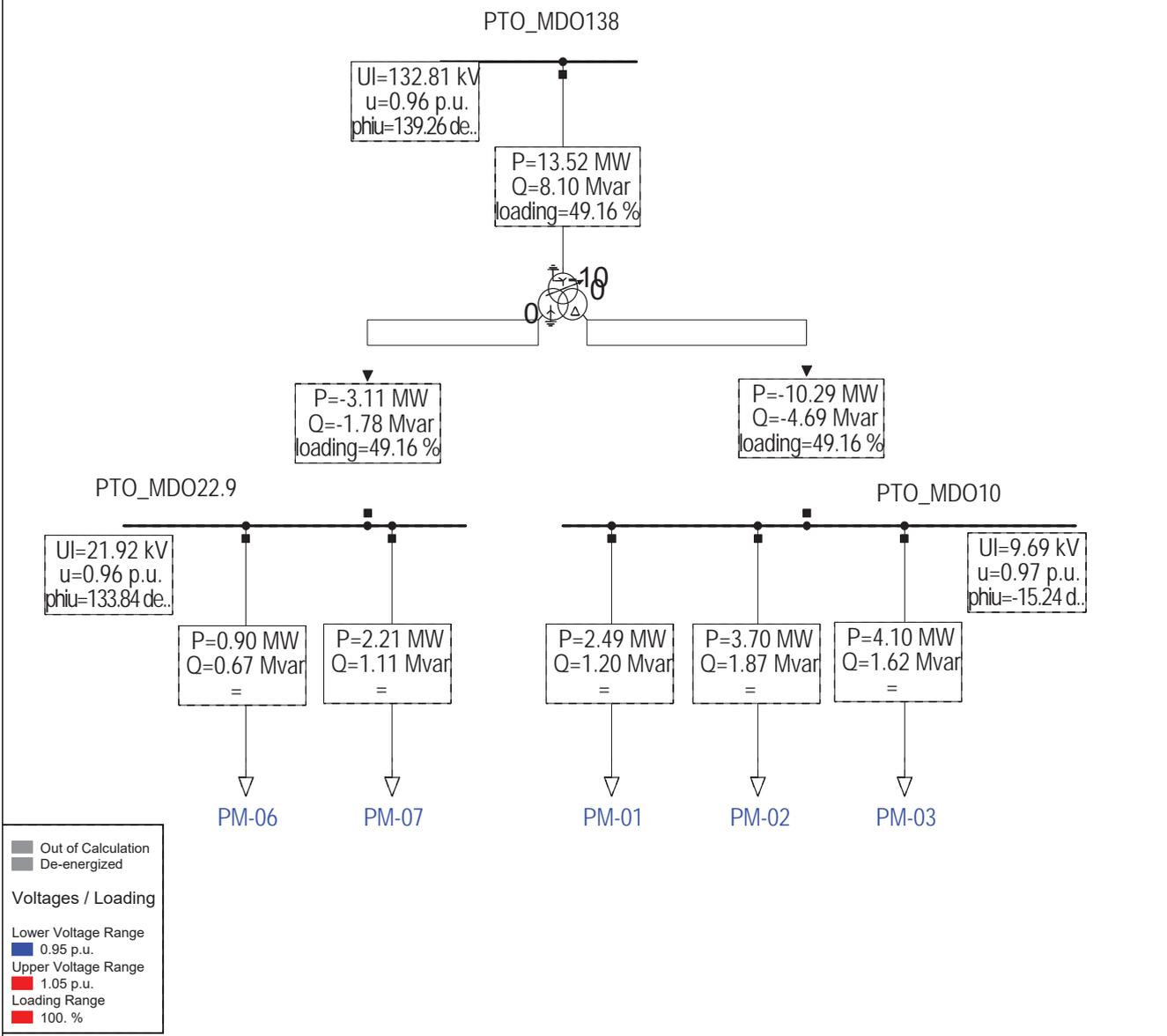
Project: 2018

Graphic: Sistema Electrico

Date: 8/4/2015

Annex: 06

**Anexo 07**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2019**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



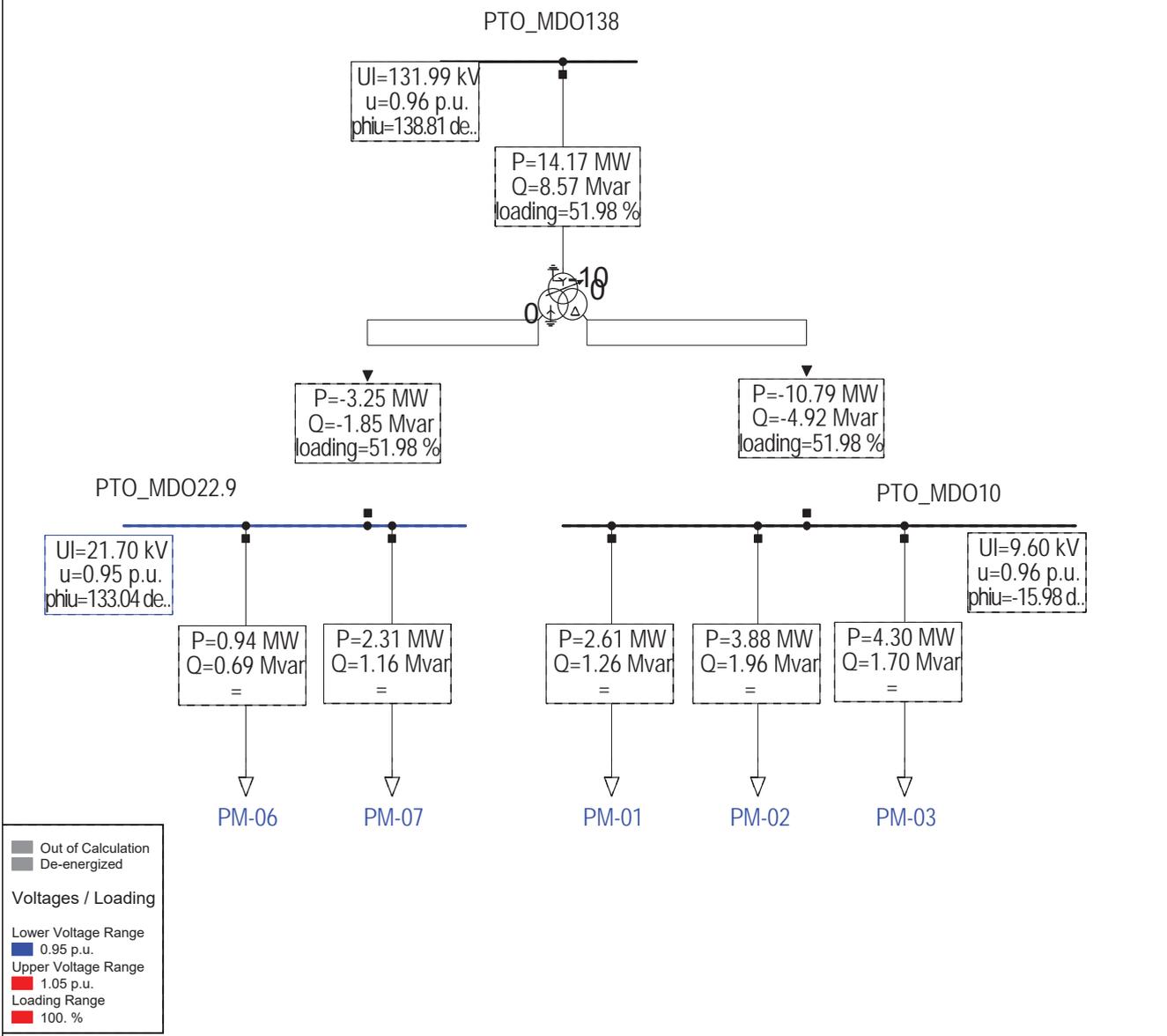
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2019
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 07

**Anexo 08**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2020**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



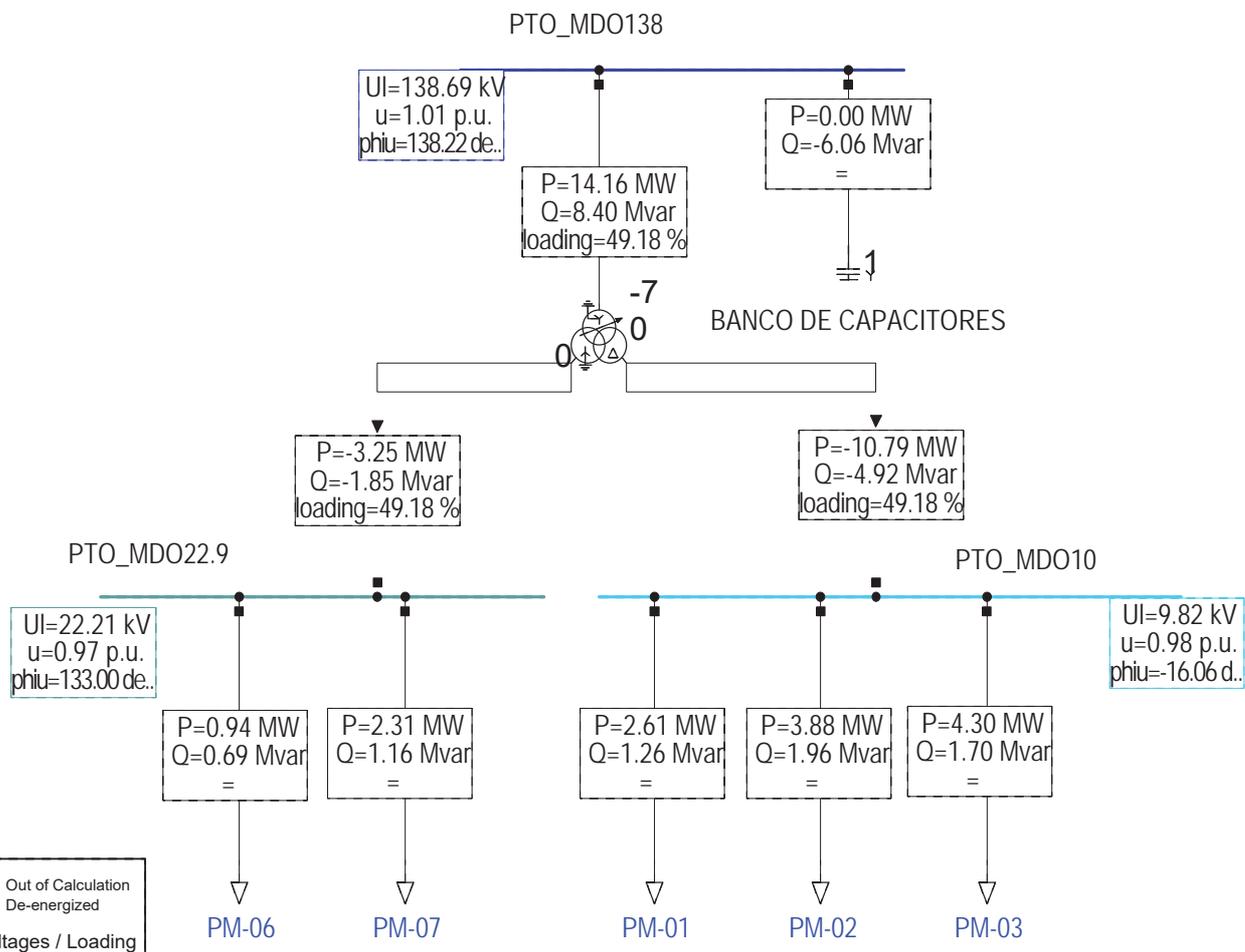
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2020
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 08

**Anexo 09**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2020 SISTEMA COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES**



**Legend**

- Out of Calculation
- De-energized

**Voltages / Loading**

Lower Voltage Range

- 1. p.u.
- 0.98 p.u.
- 0.95 p.u.

Upper Voltage Range

- 1. p.u.
- 1.05 p.u.

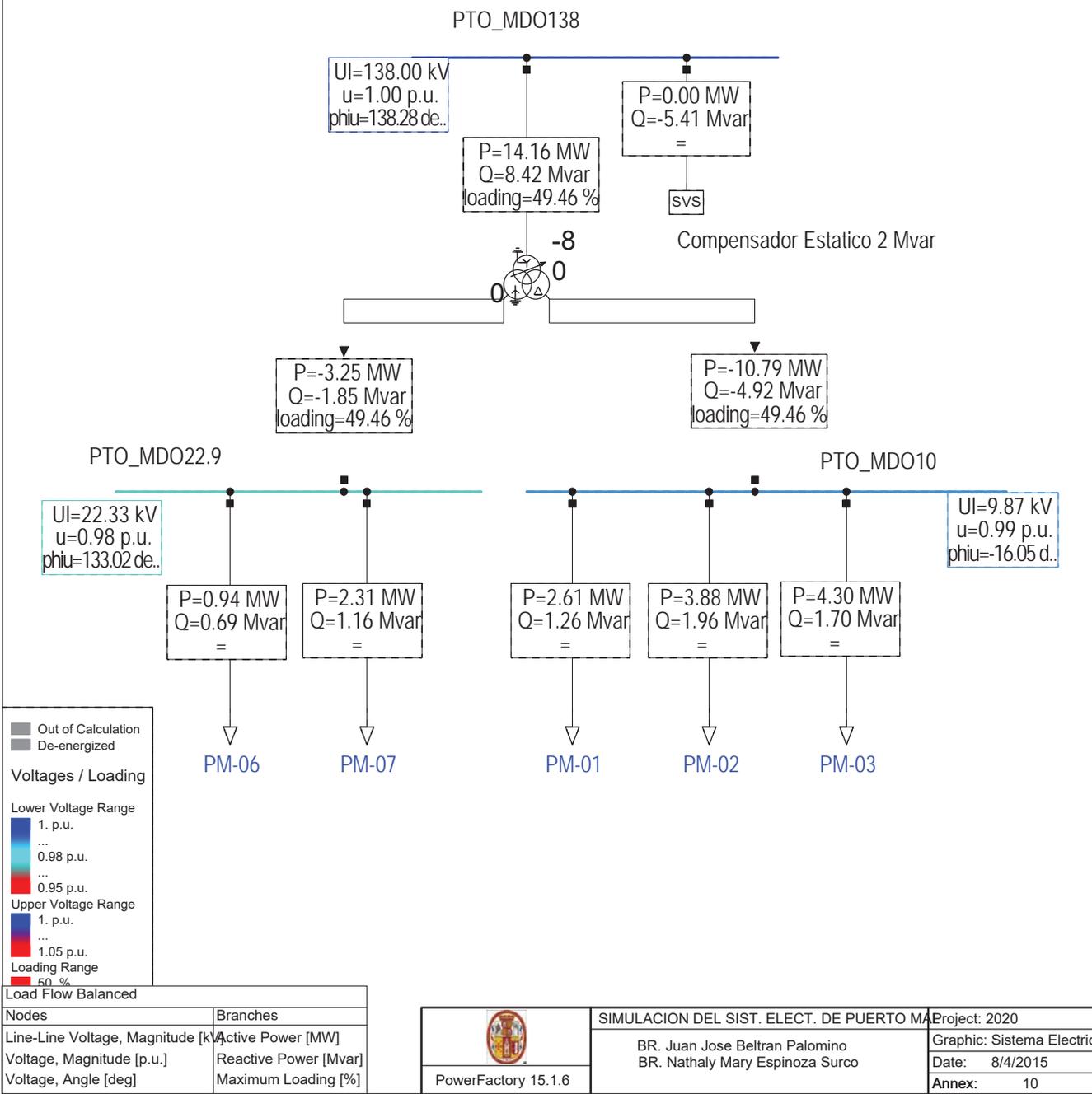
Loading Range

- 50 %

Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]

 PowerFactory 15.1.6	SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO	Project: 2020
	BR. Juan Jose Beltran Palomino BR. Nathaly Mary Espinoza Surco	Graphic: Sistema Electrico Date: 8/4/2015 Annex: 09

**Anexo 10**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2020 SISTEMA COMPENSADO CON SVS**



Out of Calculation  
 De-energized  
**Voltages / Loading**  
 Lower Voltage Range  
 1. p.u.  
 ...  
 0.98 p.u.  
 ...  
 0.95 p.u.  
 Upper Voltage Range  
 1. p.u.  
 ...  
 1.05 p.u.  
 Loading Range  
 50 %

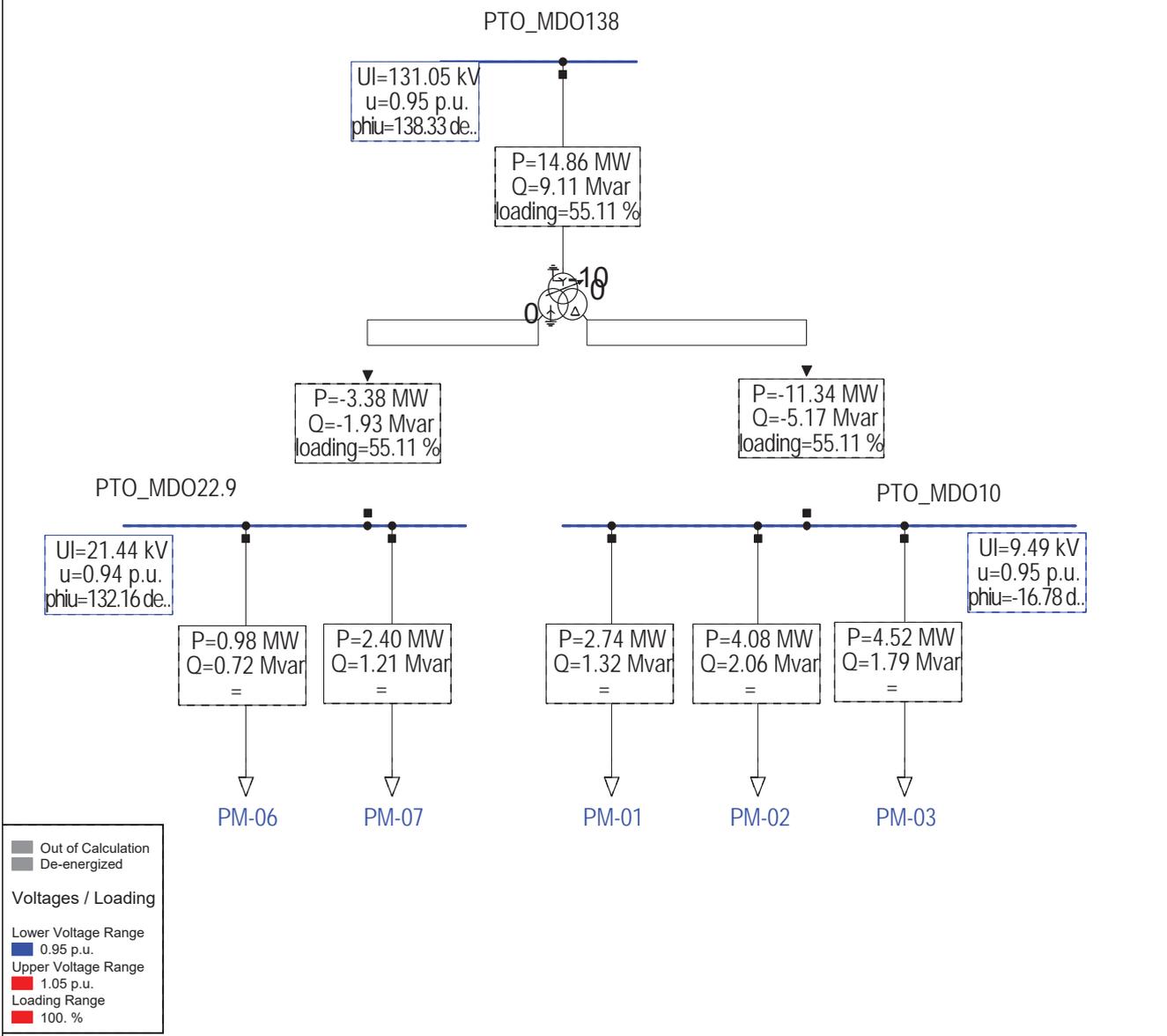
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]

  
 PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO  
 BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2020
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 10

**Anexo 11**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2021**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



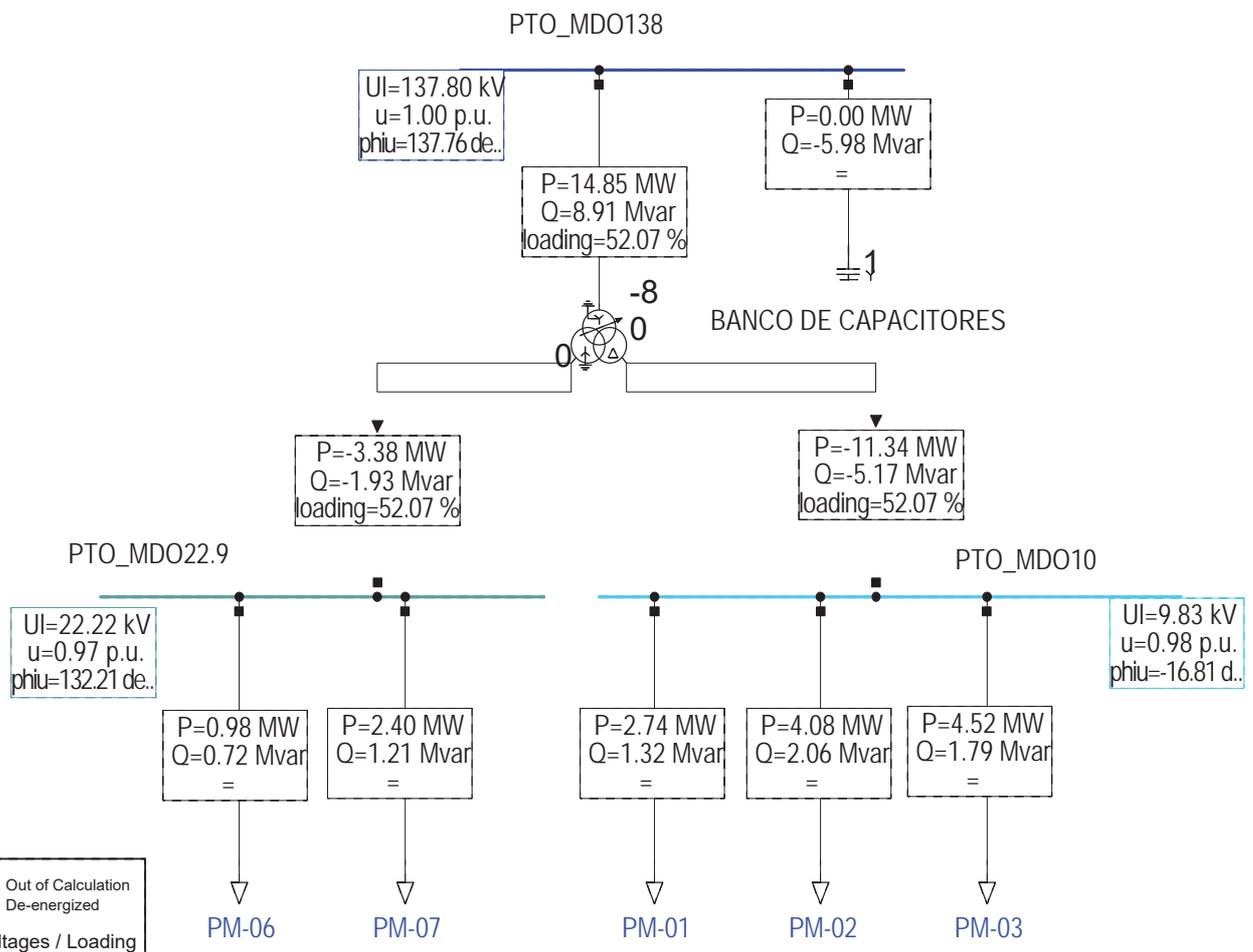
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2021
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 11

**Anexo 12**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2021 SISTEMA COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES**



Legend for Voltages / Loading:

- Out of Calculation (Grey square)
- De-energized (Dark Grey square)

**Voltages / Loading**

Lower Voltage Range

- 1. p.u. (Blue)
- 0.98 p.u. (Light Blue)
- 0.95 p.u. (Red)

Upper Voltage Range

- 1. p.u. (Blue)
- 1.05 p.u. (Red)

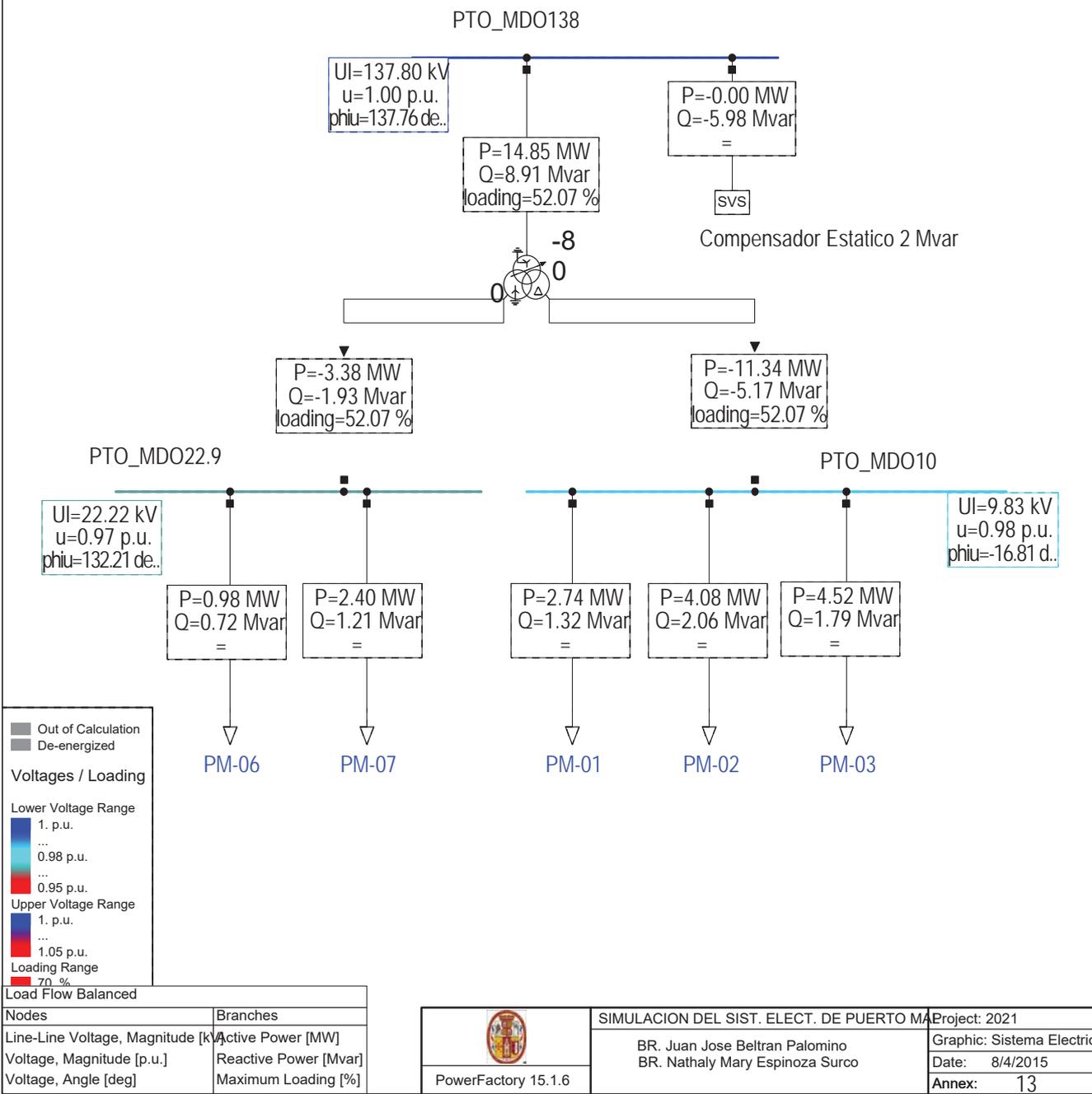
Loading Range

- 70. % (Red)

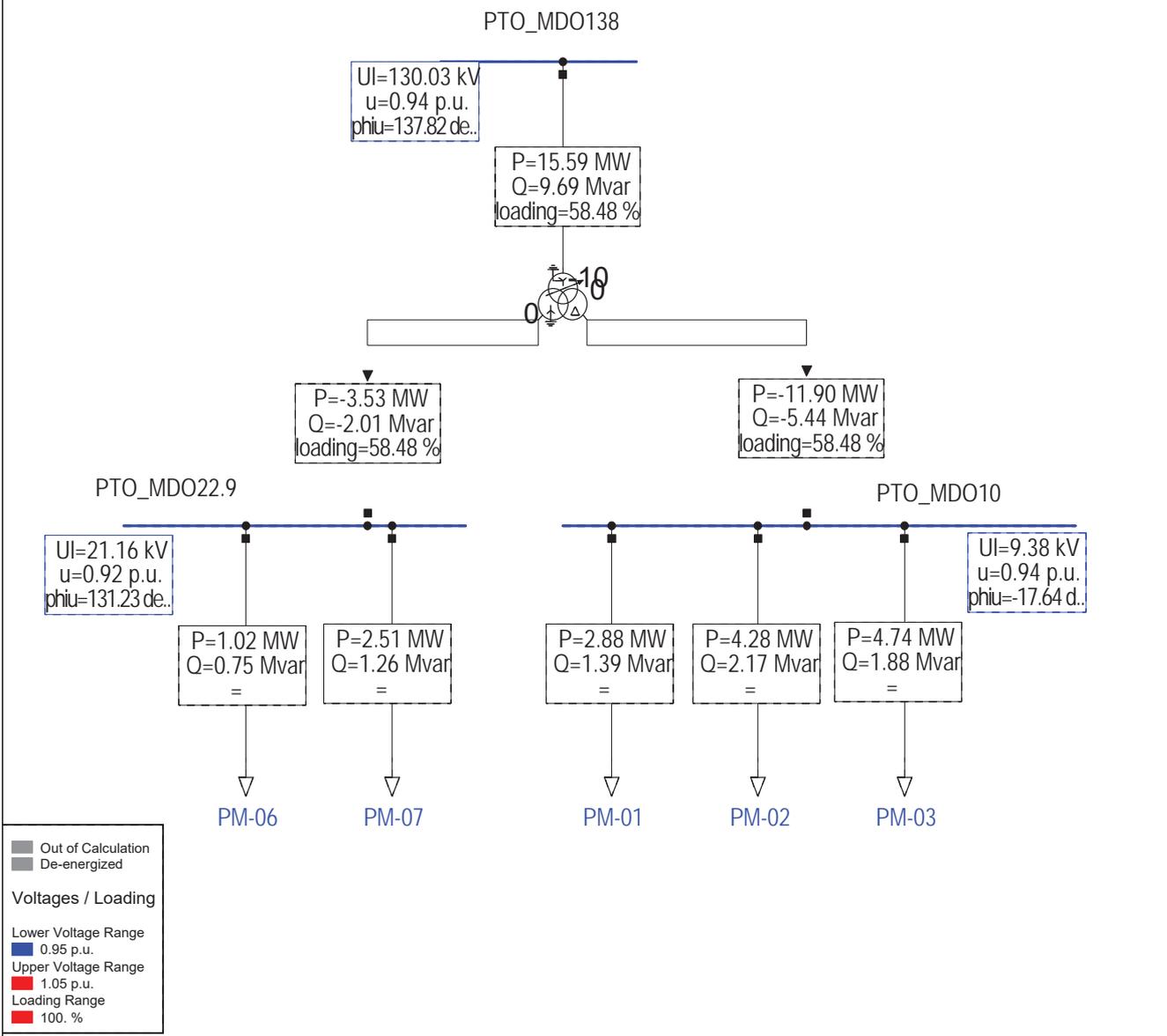
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]

 PowerFactory 15.1.6	SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO	Project: 2022
	BR. Juan Jose Beltran Palomino BR. Nathaly Mary Espinoza Surco	Graphic: Sistema Electrico Date: 8/4/2015 Annex: 12

**Anexo 13**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2021 SISTEMA COMPENSADO CON SVS**



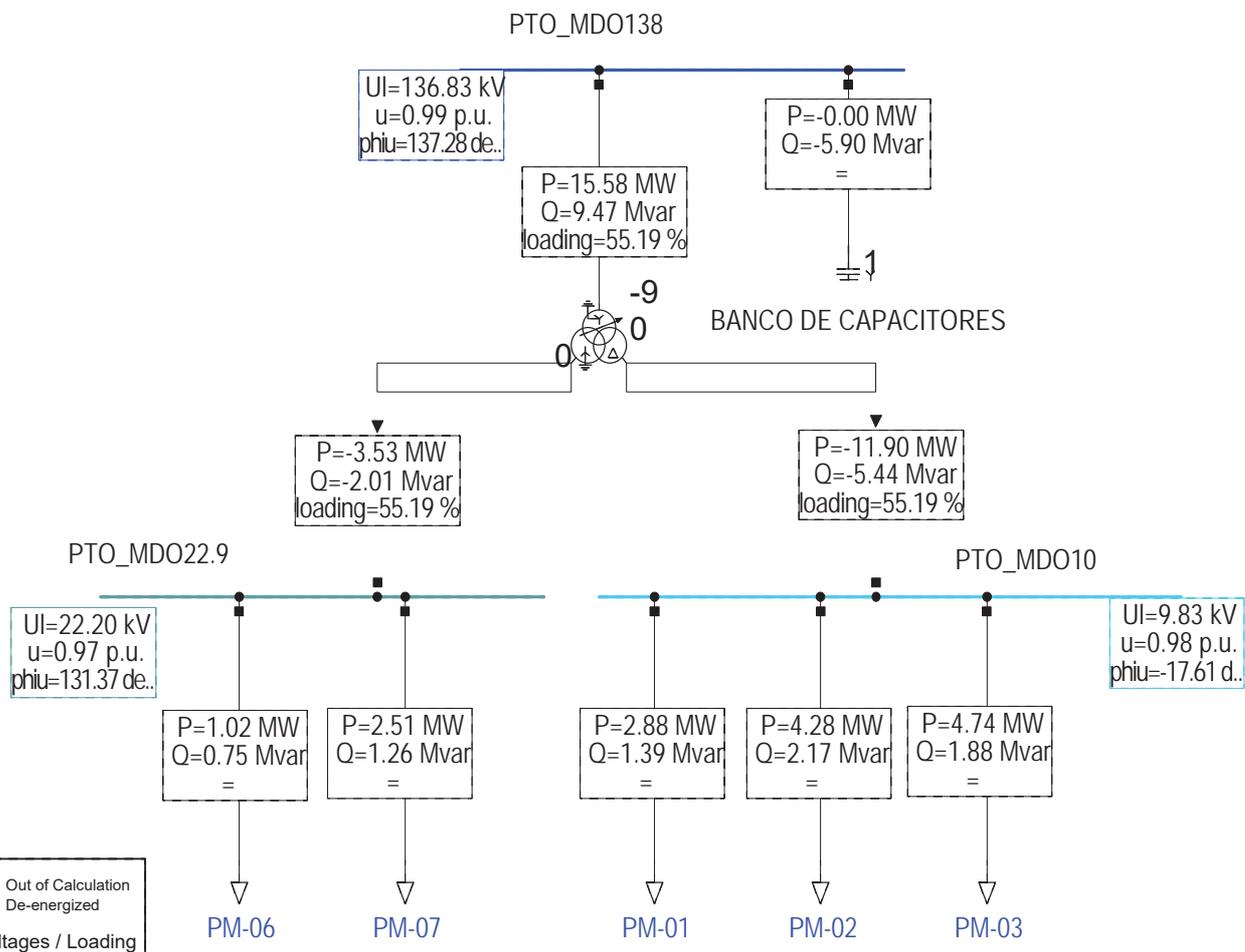
**Anexo 14**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2022**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]

 PowerFactory 15.1.6	SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO	Project: 2022	
	BR. Juan Jose Beltran Palomino BR. Nathaly Mary Espinoza Surco		Graphic: Sistema Electrico
			Date: 8/4/2015
		Annex: 14	

**Anexo 15**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2022 SISTEMA COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES**



**Legend:**

- Out of Calculation (Grey box)
- De-energized (Dark Grey box)

**Voltages / Loading**

**Lower Voltage Range**

- 1. p.u. (Blue)
- 0.98 p.u. (Cyan)
- 0.95 p.u. (Green)

**Upper Voltage Range**

- 1. p.u. (Red)
- 1.05 p.u. (Dark Red)

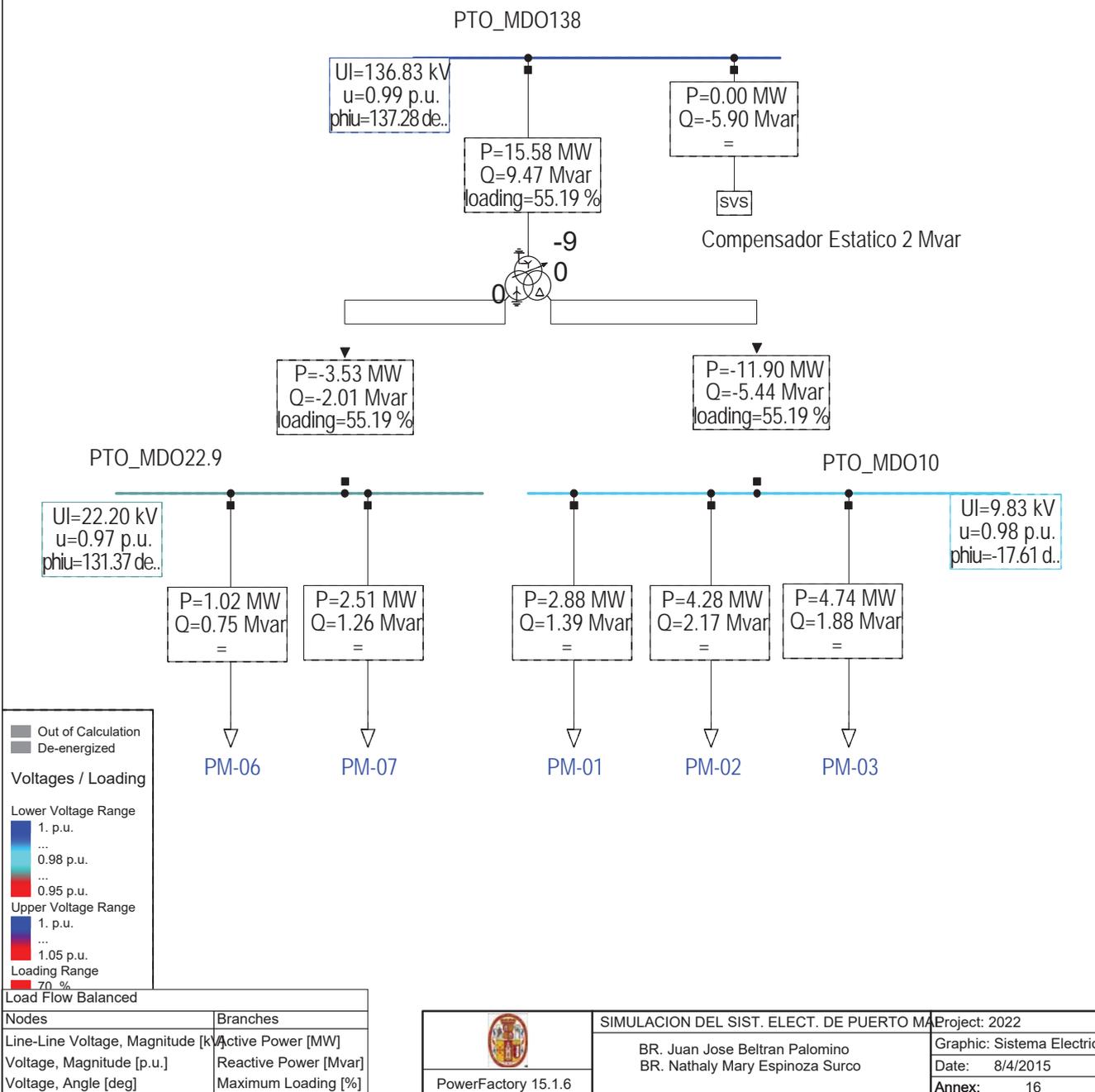
**Loading Range**

- 70. % (Red)

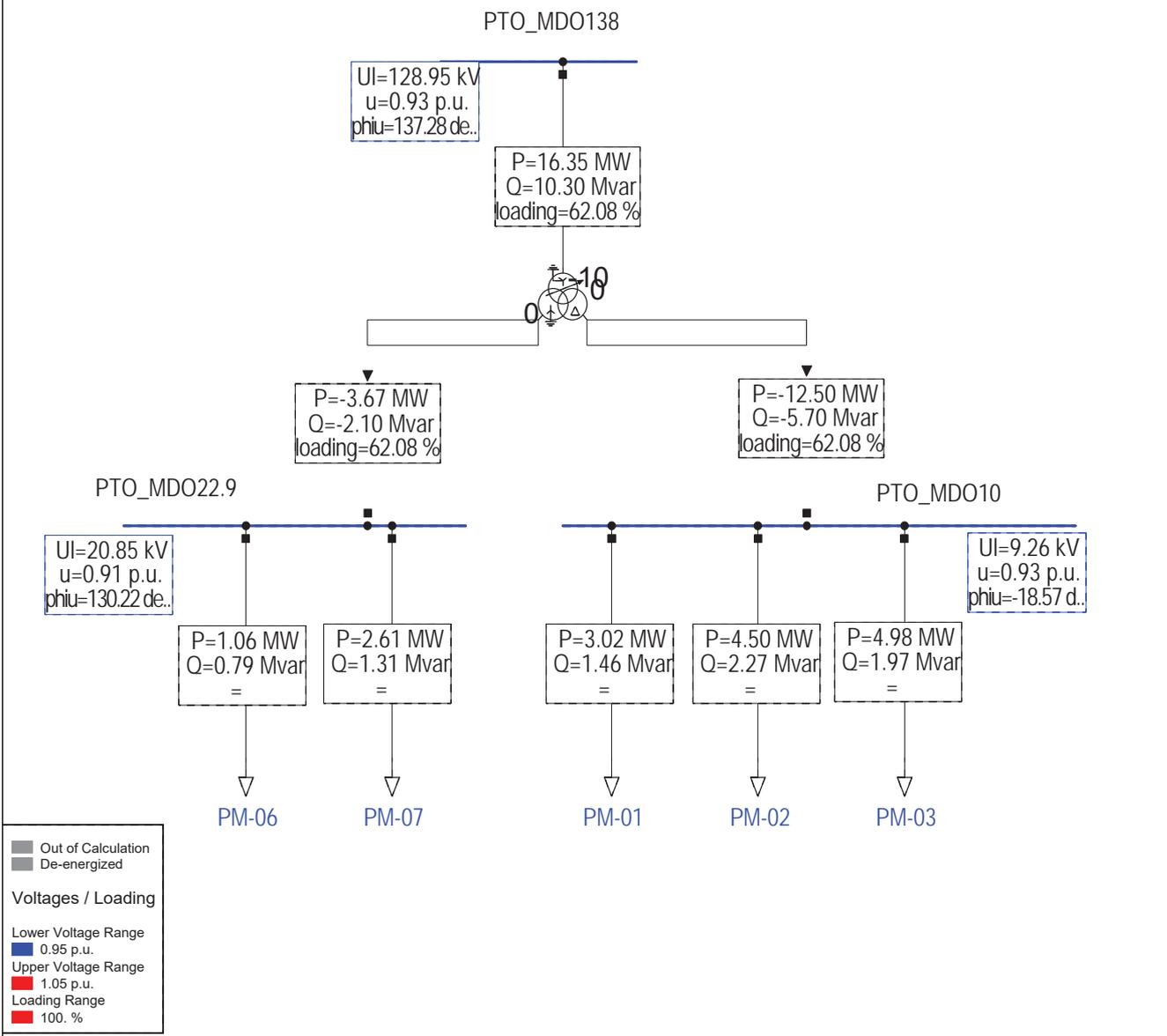
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]

 PowerFactory 15.1.6	SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO	Project: 2022
	BR. Juan Jose Beltran Palomino BR. Nathaly Mary Espinoza Surco	Graphic: Sistema Electrico
		Date: 8/4/2015
		Annex: 15

**Anexo 16**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2022 SISTEMA COMPENSADO CON SVS**



**Anexo 17**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2023**



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



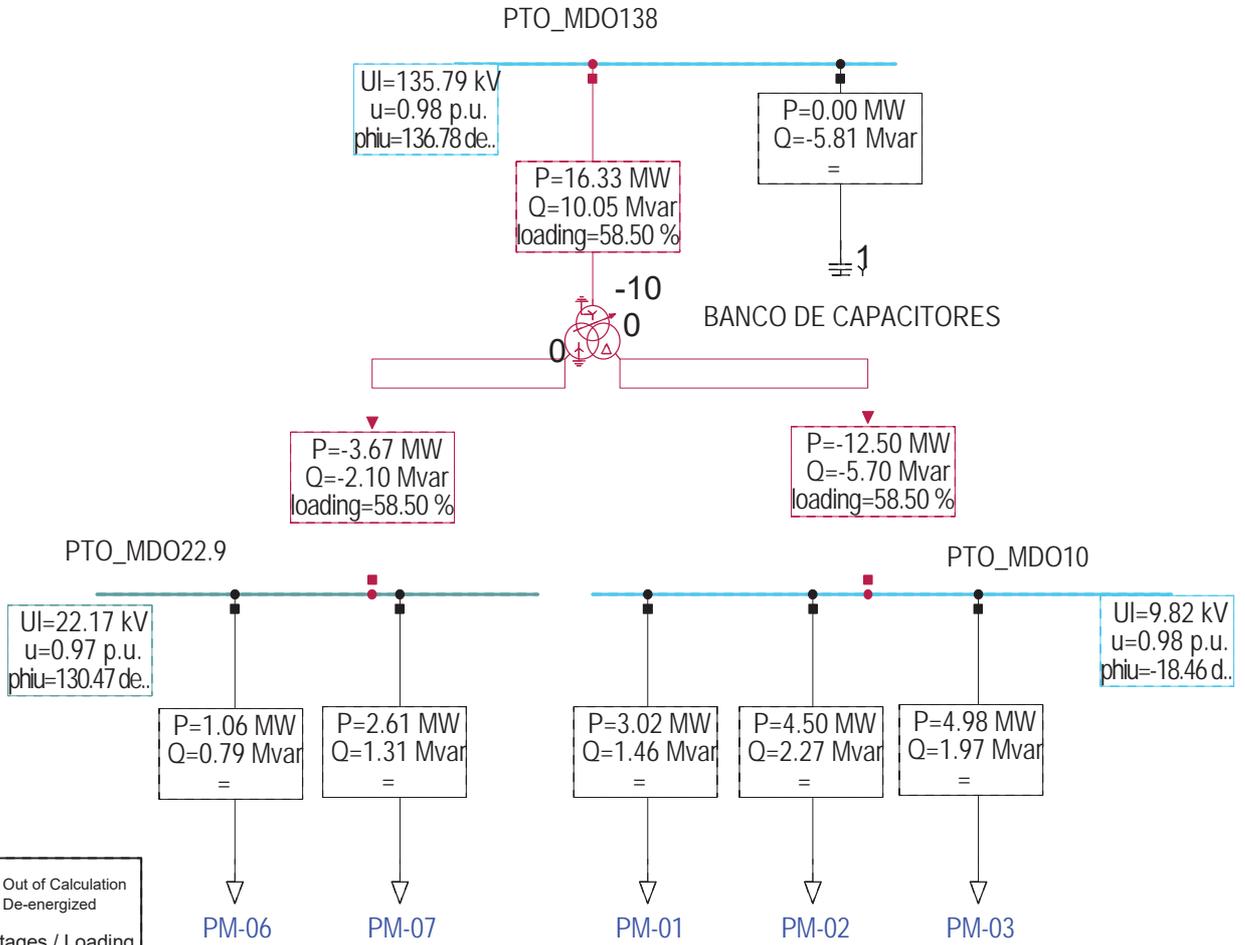
PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2023
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 17

**Anexo 18**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2023 SISTEMA COMPENSADO CON BANCO DE CAPACITORES**



Out of Calculation  
 De-energized  
**Voltages / Loading**  
 Lower Voltage Range  
 1. p.u.  
 ...  
 0.98 p.u.  
 ...  
 0.95 p.u.  
 Upper Voltage Range  
 1. p.u.  
 ...  
 1.05 p.u.  
 Loading Range  
 50 %

Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Maximum Loading [%]



PowerFactory 15.1.6

SIMULACION DEL SIST. ELECT. DE PUERTO MALDONADO

BR. Juan Jose Beltran Palomino  
 BR. Nathaly Mary Espinoza Surco

Project: 2023
Graphic: Sistema Electrico
Date: 8/4/2015
Annex: 18

**Anexo 19**  
**SISTEMA ELECTRICO DE PUERTO MALDONADO**  
**AÑO 2023 SISTEMA COMPENSADO CON SVS**

