

# Ingeniería Eléctrica

Análisis de pérdidas técnicas y no técnicas  
para determinar la rentabilidad de la línea  
73T30 (115 KV) Tapijulapa-Simojovel

Reporte de Residencia

**Fernando Alvarado Aguilar 13270384**

Asesor interno

**Ing. Salvador Hernández Garduza**

Asesor Externo

**Ing. Ángel Gabriel Bustillos Nucamendi**

Diciembre de 2017



## Abreviaturas

**73T30:** nomenclatura de la línea de 115 KV que identifica a la LST Tapijulapa - Simojovel  
**A:** Amper, Ampers  
**AT:** Alta Tensión  
**CFE:** Comisión Federal de Electricidad  
**CPTT:** Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación  
**Fem:** Fuerza Electromotriz  
**ISC:** Ingeniería de Servicios al Cliente  
**KVA:** Kilo-Volts- Amper; unidad de medida de potencia aparente  
**KW:** KiloWatt; KiloWats  
**LST:** Línea de Subtransmisión  
**MT:** Media Tensión  
**SE:** Subestación  
**SED:** Sistema Eléctrico de Distribución  
**SIMOCE:** Sistema de Monitoreo de Calidad de la Energía  
**SMJ: Simojovel**  
**TD:** Transformador de Distribución  
**TPJ:** Tapijulapa  
**V:** Voltaje; Volts

<b>Índice</b>	<b>pag.</b>
<b>Abreviaturas</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Estado del arte</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Justificación</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Metodología</b>	<b>8</b>
<b>2 Fundamento teórico</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Líneas de Subtransmisión aéreas</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Fenómenos eléctricos en líneas de Subtransmisión</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Pérdidas de energía</b>	<b>16</b>
<b>3 Desarrollo</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Validación del proyecto</b>	<b>18</b>
<b>4 Resultados y conclusiones</b>	<b>23</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>25</b>
<b>Anexos</b>	<b>27</b>
<b>Diagrama de Potencia</b>	<b>27</b>
<b>Ubicación de la LST 73T30 en el diagrama de potencia</b>	<b>28</b>
<b>Ubicación geográfica</b>	<b>29</b>
<b>Digitalización de la LST 73T30</b>	<b>30</b>
<b>Energía Recibida por Zonas</b>	<b>31</b>
<b>Comparativo de pérdidas por año</b>	<b>31</b>
<b>Áreas de oportunidad</b>	<b>32</b>
<b>Pérdidas técnicas en TD de Simojovel</b>	<b>33</b>
<b>Gráficas por día SIMOCE</b>	<b>34</b>

# **Análisis de pérdidas técnicas y no técnicas para determinar la rentabilidad de la línea 73T30 (115 KV) Tapijulapa-Simojovel**

## **1 Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

Derivado de los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, surge la Ley de la Industria Eléctrica desde el 11 de agosto de 2014 [1]; a partir de la cual, a su vez, se deriva la Ley de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

CFE es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 35.6 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos.

CFE es una empresa productiva del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propios y gozará de autonomía técnica, operativa y de gestión, tiene como fin el desarrollo de actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales en términos de su objeto, generando valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano como su propietario.

Para cumplir su finalidad, la CFE deberá actuar procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad para minimizar los costos de la industria eléctrica en beneficio de la población y contribuir con el desarrollo nacional [2].

Para brindar el servicio de suministro eléctrico La CFE se divide en 16 divisiones en todo el país, las cuales son Baja California, Noroeste, Norte, Golfo Norte, Golfo Centro, Bajío, Jalisco, Centro Occidente, Centro Sur, Centro oriente, oriente, sureste, peninsular, Valle de México Norte, Valle de México Centro y Valle de México Sur.

Chiapas pertenece a la División Sureste, y como cada División está compuesta por Zonas, encontramos aquí la Zona de Distribución Tuxtla, a la cual pertenece la Subestación (SE) Simojovel de Allende, Chiapas, perteneciente al Área de Distribución Bochil.

Por ser una empresa perteneciente a la industria eléctrica, la CFE tiene un plan para estar a la altura del constante crecimiento de la demanda eléctrica. Así mismo y de acuerdo con la prospectiva para el desarrollo del mercado eléctrico, se identifican las áreas críticas y prioritarias del SED<sup>1</sup>, así como las necesidades de edificaciones y equipamiento.

---

<sup>1</sup> Sistema Eléctrico de Distribución

Esto incluye la integración de programas multianuales de inversión para la aplicación efectiva de los recursos financieros en la creación de nueva infraestructura y la modernización con enfoque de competitividad y sustentabilidad.

El Plan Rector considera en primera instancia garantizar en el corto y mediano plazos, con oportunidad, suficiencia y calidad, el suministro de energía eléctrica a los clientes, mejorando sustancialmente el desempeño operativo de la distribución. Adicionalmente proporciona la guía de crecimiento en el largo plazo (20 años) para cada zona de distribución y consecuentemente para la División correspondiente [3].

Dicho crecimiento no sólo está enfocado a la construcción de nuevas Redes de Transmisión y/o distribución, sino también a la modernización de las instalaciones ya existentes, pues también el mantenimiento es factor de atención para el plan estratégico.

Toda modificación prevé mejoras, en donde se identifiquen puntos críticos de operación con miras a la sustentabilidad; y algo que preocupa es la pérdida de energía, por un lado las pérdidas técnicas ya están consideradas en la transmisión de la energía y son un fenómeno físico inevitable y todas las compañías de suministro eléctrico en todo el mundo se atiende esta problemática.

En países en vías de desarrollo, es una práctica común el tener las pérdidas técnicas como el 15 % al realizar los cálculos prácticos.

El principal factor es la resistencia del conductor, es el más significativo y Las pérdidas se presentan en función de los cuadrados de las corrientes de cargas (Amperes) las cuales están directamente relacionadas con los cuadrados de las demandas [4], siendo la resistencia una constante si la longitud o el diámetro del conductor no varía.

Ahora bien, México reportó a través de la CFE, en su informe 2015 que actualmente, la dirección de la CFE ha estado en el proceso de implementación de programas para disminuir las pérdidas eléctricas en 1% cada año hasta alcanzar las metas propuestas a nivel internacional, o sea, un 8% como máximo.

Del mismo modo, comúnmente se presentan pérdidas no técnicas, las cuales se refieren a fallas en la medición y el hurto de energía por los usuarios finales, de la totalidad de las pérdidas no técnicas, el impacto más negativo es el que resulta de la cultura del no pago en algunas regiones del sureste [5].

Ante este escenario la SE Simojovel está alimentada por línea de subtransmisión (LST) 73T30, (115 KV) que va de Tapijulapa a Simojovel, perteneciente al Municipio de Tacotalpa, Tabasco. Dicha línea por el voltaje se clasifica en el rango de subtransmisión. Considerada una línea corta, igual está sometida a los fenómenos físico que implican las pérdidas técnicas.

Sin embargo, le aqueja el problema del mantenimiento que se complica por su disposición geográfica, pues de Tapijulapa a Simojovel hay distancia aproximada de 73 kilómetros entre las dos localidades, rodeando por Huitiupan y Amatan; pero el circuito lleva un trazo más recto atravesando por la sierra de Huitiupan.

Esa disposición complica en su revisión y mantenimiento, ya que los caminos son de difícil acceso a través de la sierra y no sólo la entrada de los vehículos, sino que en la mayor cantidad de estructuras el personal de mantenimiento debe entrar caminando.

Cabe señalar que esta línea originalmente fue diseñada a 34.5 KV, por lo que las primeras 61 estructuras son torres autoportadas y otras 83 estructuras están constituidas por postera de madera, representando estas últimas un kilometraje menor, pero una mayor cantidad de estructuras que atender y que implican mayor tiempo de atención porque los conductores van dispuestos a menor altura.

Así se ve un diseño adaptado a las necesidades del momento en que se puso en marcha la línea como subtransmisión a 115 KV, pero no adecuado a las condiciones que hoy en día demanda el mantenimiento, sobre todo considerado en el tiempo que ha estado en operación y proyectado a futuro.

Las comunidades que existen donde atraviesa la LST73T30 generalmente se dedican a la agricultura y en un menor porcentaje a la ganadería, pero grandes extensiones de tierra representa maleza que el clima propicia a su rápido crecimiento y constantemente se debe dar atención, ya que representan peligro para los habitantes y animales por la inducción de la línea a 115 KV y también son un latente factor de falla e interrupción del suministro eléctrico.

También se presentan quemaduras en época de cultivo y en otros casos incendios forestales, que de igual forma por la altura de la línea llegan a provocar disparos en las protecciones del circuito provocando interrupciones, pero igualmente, las estructuras de madera corren riesgo de quemarse y colapsar.

A esto último podemos sumar el vandalismo, ya que se tiene identificada una estructura de madera, específicamente la estructura 64, en la que uno de los postes de madera ha sido visiblemente dañado por obra humana cortando parte de la corteza del poste, lo que indica una señal de alerta sobre sufrir otro colapso esta vez provocado al cortar los postes.

Ante una emergencia de este tipo no se tendría como alimentar a la SE Simojovel, pues la LST 73T30 es una línea Radial<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Los circuitos se conectan en dos formas, Radial y en anillo. El sistema radial se refiere a un circuito con una única fuente de alimentación en un único sentido, mientras que una conexión en anillo indica que hay flujo de energía en dos sentidos diferente y por otra fuente de alimentación alterna.

Sin embargo, las pérdidas técnicas y los problemas de diseño no son lo único de lo que hay que preocuparse, pues también están los usuarios que como en toda sociedad practican el robo de energía y además hay presencia de resistencias civiles, comunidades que se rigen por usos y costumbres y de manera declarada se pronuncian contra el pago de la energía eléctrica.

En dicho caso nos referimos a que también se tienen evidentes pérdidas no técnicas. Las cuales aunadas a las pérdidas técnicas se deben analizar para determinar la rentabilidad de la línea 73T30 (115KV) Tapijulapa – Simojovel.

## **1.2 Estado del Arte**

Actualmente se pueden encontrar numerosos trabajos sobre pérdidas en circuitos de Media Tensión, sin embargo pocos a nivel subtransmisión; lo que nos indica que esta problemática es preocupante en todas partes del mundo.

Entonces, si hablamos de un problema que trae consigo consecuencias, que al final de cuentas se traducen en pérdidas económicas, es importante hablar sobre el diseño de las redes de Subtransmisión, ya que son líneas que suministran energía a grandes centros de consumo, y por ende, se deben prever gastos innecesarios.

Lo que se menciona en el párrafo anterior es debido a que en los trabajos de investigación sobre pérdidas se centran en cuantificar la energía perdida en cuestiones técnicas, pero poco se habla sobre las pérdidas no técnicas que puede haber en una línea ni de Media Tensión, y por ende, se traduce en pérdidas para la CFE, y podemos al final de cuentas hablar sobre rentabilidad de la línea que suministra

Y específicamente a esta línea no se le ha hecho ningún análisis de esta índole, porque tampoco se tienen registros de lecturas historiales de este circuito, ya que no se cuenta con medidores incorporados al sistema de monitoreo de la CFE, aunque sí se tiene un medidor que sólo se puede consultar de manera local desde la zona Villahermosa, y específicamente en la subestación Tapijulapa.

Y los reportes que se puedan tener son para saber un promedio de carga de la línea y las interrupciones por falla, pero no se ha tratado desde la perspectiva de la rentabilidad.

## **1.3 Justificación**

Vale la pena hacer el análisis de pérdidas para saber qué tan rentable es la LST 73T30, para así tener un punto de referencia cuánta energía entrega la línea, y a partir de ella poder determinar un porcentaje de pérdidas en general, y de manera específica descubrir las técnicas y las no técnicas.

Se vuelve muy importante este estudio, ya que se siguen construyendo líneas de subtransmisión, y los resultados de este estudio no sólo nos sirven para sugerir modificaciones en el diseño de la LST 73T30, sino para otras líneas con características similares y para las de nueva creación.

EL impacto social de este estudio radica en el contexto opera la LST 73T30, pues por las características que presenta los dueños de los terrenos por los que se conduce el circuito declaran el temor de la poca altura de la línea con respecto al suelo, al igual que en la escuela secundaria técnica donde personal directivo reclama atención para dar altura a dichos conductores, sobre todo por el nivel de tensión con el que operan.

También se pretende alcanzar sustentabilidad, al definir un rediseño de las estructuras de madera; por un lado aumentar la altura de los conductores y por otro lograr economizar el costo de mantenimiento al reducir el número de estructuras a atender y reducir el riesgo de colapso por incendios y/o vandalismo en los postes de madera.

Reducir las horas hombre en mantenimiento, suponen mayor espacio para la cuadrilla de mantenimiento para realizar otras actividades, como lo puede ser la búsqueda e identificación de usos ilícitos que puedan ser recuperación de las pérdidas no técnicas.

Así como descubrir las pérdidas no técnicas nos dan las bases para solicitar el apoyo legal que se requiere para atender la situación que se presenta en las localidades con Resistencia Civil.

Al final de cuentas las pérdidas técnicas y no técnicas nos darán los parámetros de qué tan rentable es la línea en estos momentos. Pero en las condiciones en que se encuentra, no solamente es economía sino seguridad, ya que en los colapsos de estructuras, las probabilidades de accidentes pueden ser catastróficas, por daño a equipo y a terceros.

De tal forma que un rediseño aumente la confiabilidad y disminuya el gasto de mantenimiento y menor uso de materiales necesarios como lo son aisladores, apartarrayos, disminuyendo las pérdidas técnicas en el dieléctrico.

## **1.4 Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar si la LST 73T30 es rentable para CFE Distribución Tuxtla, basándose en el análisis de las pérdidas técnicas y no técnicas que la línea tenga.

### **Objetivos específicos**

Identificar y analizar las pérdidas técnicas que presenta la LST 73T30

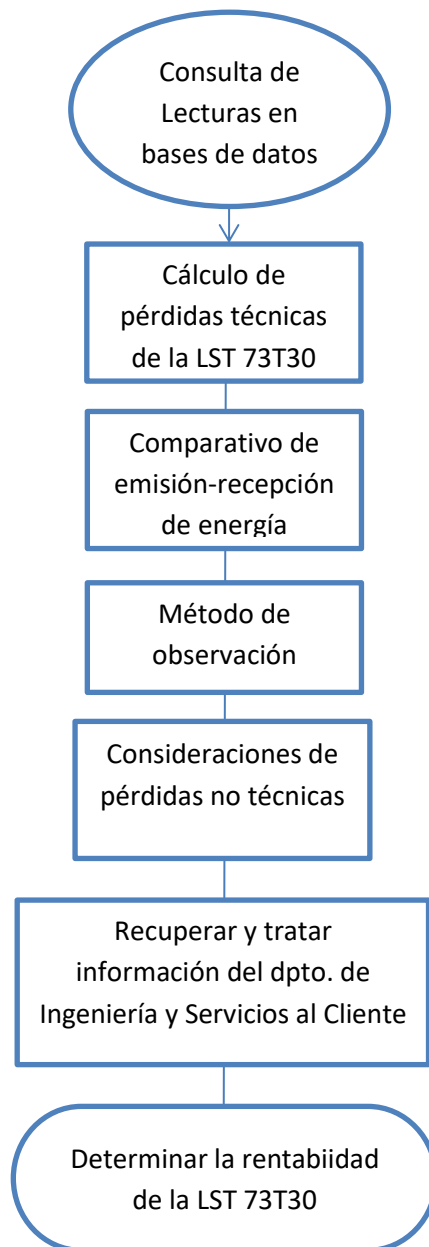


Analizar las pérdidas no técnicas que se presentan en la distribución de la energía que suministra la LST 73T30 en la SE Simojovel

Contrastar las pérdidas técnicas y no técnicas del departamento de Medición y Servicios para dar un significado a lo que alienta la LST 73T30

Actualmente, en Comisión Federal de Electricidad se hace mantenimiento a preventivo, predictivo y correctivo; siendo el segundo un mantenimiento pensado a futuro, tratando de satisfacer la demanda de energía por el acelerado crecimiento de las ciudades y por el desarrollo de industria. Así que es preciso analizar el circuito 73T30, para hacer el análisis y recomendaciones para futuras construcciones de líneas de subtransmisión.

### 1.5 Metodología



Los circuitos de subtransmisión y distribución cuentan con un sistema SCADA, denominado SIMOCE (Sistema de Monitoreo y Control de la Energía), que es propiedad de la CFE, donde se puede tener la lectura del amperaje y tensión de cada circuito, con lo que también se puede calcular la potencia instantánea. En base a ello y al historial que el programa va guardando se puede conocer potencias y tener una base para los cálculos pérdidas técnicas derivados de la transmisión de la energía. El uso de esta herramienta es primordial ya que se pueden comparar las lecturas a diferente hora del día y obtener información de días o semanas diferentes, pudiendo así generar gráficas.

Por medio de modelos matemáticos, escoger uno para el cálculo de las pérdidas técnicas en la línea 73T30; ya que es una línea radial y se le conoce características como longitud, dimensión, tipo y material de los conductores, de tal modo que se pueda obtener el dato de la energía que la línea suministradora pierde en la transportación. Obviamente, el resultado de este cálculo serán las pérdidas técnicas.

Los datos que proporciona el Sistema de Monitoreo de Calidad la Energía (SIMOCE) son los datos de salida, es decir, la cantidad de energía emitida, antes de la transportación, por lo tanto los cálculos de pérdidas técnicas nos darán un parámetro de pérdidas técnicas y saber que hasta la SE Simojovel no llega el cien por ciento de energía que registran los sistemas.

Sin embargo, hay una manera de hacer un comparativo respecto a la emisión con la recepción de la energía, ya que en la SE Simojovel existes tres circuitos, los cuales también podemos monitorear antes de la transportación de la energía hacia los usuarios finales de cuánta potencia maneja cada uno y la suma de los tres circuitos será el total de lo recibido.

Haciendo lo anterior, podremos tener los datos de salida y de llegada de la energía para saber cuánto pierde en la transportación la LST 73T30, lo cual también sería un método de comprobación de qué los cálculos realizados matemáticamente sean correctos.

La zona donde opera la SE Simojovel es una zona conflictiva, donde se presenta resistencia civil y por medio del tradicional método de la observación es preciso identificar los comportamientos de las comunidades, zonas en rebeldía, comunidades declaradas en contra del pago de la energía eléctrica y otras con morosidad en el pago.

La observación sería un método sencillo, pero eficaz para identificar el estado de los circuitos en media y baja tensión y determinar características y condiciones bajo las que operan para tener un panorama también aunado a las pérdidas que se presentan y que directamente afectan la razón de ser la LST 73T30 y al final de cuentas su rentabilidad.

La Observación, de igual modo, nos ayuda a tener consideraciones con respecto a las pérdidas no técnicas, pues la sociedad al regirse por usos y costumbres, y en ocasiones

fuera de la legalidad, sería importante determinar quiénes son los principales consumidores, los que presentan robo de energía, la falta de equipos de medición o lo que resulte.

La CFE cuenta con un departamento denominado Ingeniería y Servicios al Cliente (ISC) que se encarga de hacer estudios de medición en los circuitos existentes en la Zona Tuxtla, la obtención de los datos que pueda proporcionar de los circuitos de media tensión de la SE Simojovel serían importantes para ordenarlos y manejarlos para identificar pérdidas.

Conocer con la ayuda de los datos obtenidos la cantidad de energía que sí es medida en baja tensión, y tener un panorama de lo que no posee medición y proyectarse hacia las pérdidas técnicas en los circuitos de Distribución, de tal modo que se pueda ir cercando una cantidad de energía fuera de la medición y de las pérdidas técnicas para considerarlas como pérdidas no técnicas en los circuitos de Distribución.

Con todos los elementos anteriores en mano, se puede determinar la rentabilidad de la LST-73T30, pues su razón de ser, como parte de los objetivos de la CFE, es aportar plusvalía con sustentabilidad. He ahí la importancia del análisis de las pérdidas técnicas y no técnicas de la LST 73T30, pues sin rentabilidad la línea no tiene razón de ser.

## **2 Fundamento Teórico**

### **2.1 Líneas de Subtransmisión aéreas**

El crecimiento del desarrollo tecnológico, la expansión de la industria y el crecimiento poblacional demanda constantemente más energía eléctrica, por lo que es importante seguir construyendo circuitos alimentadores; pues tradicionalmente las centrales generadoras están alejadas de los centros de consumo y por ello es preciso usar líneas de transmisión y subtransmisión.

El SEN<sup>3</sup> está constituido por redes eléctricas en diferentes niveles de tensión: La red troncal se integra por líneas de transmisión y subestaciones de potencia en muy alta tensión (400 KV y 230 KV), que transportan grandes cantidades de energía entre regiones. Es alimentada por las centrales generadoras y abastece al sistema de subtransmisión, así como a las instalaciones de 400 KV y 230 KV de algunos usuarios industriales.

Las redes de subtransmisión en alta tensión (entre 161 KV y 69 KV) tienen una cobertura regional. Suministran energía a las de distribución en media tensión y a las cargas conectadas en esos voltajes

---

<sup>3</sup> Sistema Eléctrico Nacional

Las redes de distribución en media tensión (entre 60 KV y 2.4 KV) distribuyen la energía dentro de zonas geográficas relativamente pequeñas y la entregan a aquellas en baja tensión y a instalaciones conectadas en este rango de voltaje

Las redes de distribución en baja tensión (240 V o 220 V) alimentan las cargas de los usuarios de bajo consumo

En esta clasificación encontramos que los voltajes que se encuentren entre 69 y 161 KV corresponden a niveles de subtransmisión, por lo tanto, las líneas que se encuentren en este rango son las llamadas LST<sup>4</sup>. Para México los niveles de subtransmisión normalizados, que se encuentran en este rango, son de 138, 115, 85 y 69 kV [6].

La razón de ser de este tipo de línea en alta y muy alta tensión es porque hay que hacer llegar la energía hasta los centros de consumo y necesita elevarse el voltaje para que la caída de tensión no sea tan significativa.

Por lo anterior, a la llegada de un circuito de subtransmisión se requiere de una subestación reductora<sup>5</sup>, por lo tanto, una línea de subtransmisión siempre va de subestación a subestación<sup>6</sup>.

Las centrales Generan a Voltaje relativamente bajos para evitar requerir aislamientos de grande magnitudes, por el factor temperatura, grosor de conductores, etc. Por eso es que a la salida se requiere elevar el voltaje porque ya en la transmisión no resulta para nada económico por la caída de tensión a grandes distancias [7].

Así que se puede decir que una línea de subtransmisión, siempre será una línea alimentadora que viaja de una subestación A hacia una subestación B.

En su construcción se clasifican en dos tipos de líneas, que son subterráneas y aéreas, aunque también las hay del tipo mixtas. Las subterráneas requieren de instalaciones espaciales que van debajo del suelo y los cables conductores son aislados.

Pero en este caso nos referimos a las líneas de subtransmisión aéreas, las cuales como su nombre lo indica van suspendidas en el aire, sostenidas por estructuras de soporte.

Claro que una línea de este tipo no viaja sola, sino que requiere de un medio físico para poder transportarse, como lo son entre otros: los conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda (usados en líneas de alta tensión, para protegerlas de descargas atmosféricas) [8].

---

<sup>4</sup> Siglas que corresponden a Líneas de Sub-Transmisión

<sup>5</sup> Para que los niveles de tensión sean propios para las redes de distribución y puedan ser utilizados por los consumidores finales.

<sup>6</sup> Porque incluso si el usuario es una industria, debe tener su subestación reductora para poder manejar los voltajes en sus equipos.

Para la construcción de líneas de alta tensión existe una normatividad que se debe respetar, porque los diseños normalizados otorgan confiabilidad y seguridad en la operación de estas líneas.

Todo proyecto debe tener sustentos, para que exista un plan antes de empezar la construcción, generalmente incluyen 4 partes:

1. Las memorias descriptivas
2. Las notas de cálculo (Criterios de diseño, secuencia de cálculo, fórmulas básicas de cálculo).
3. Las especificaciones técnicas sobre equipos y elementos
4. Los planos

Todo lo cual constituye el expediente técnico del proyecto teniendo en cuenta las normas del Código Eléctrico Nacional y las normas de cada una de las empresas electrificadoras. El proyectista en lo posible deberá tener presente que sus diseños sean normalizados por las grandes ventajas de diseño y mantenimiento, fabricación, etc [9].

Así tenemos que para diseñar redes de subtransmisión en México se cuenta con normatividad que se debe respetar, tanto como para la construcción en sí como los materiales a utilizar.

Para el caso de las líneas de transmisión la CFE se cuenta con la especificación CFE DCDLTA01<sup>7</sup>, la cual se refiere a puras líneas aéreas y su objeto es definir, tipificar y establecer los lineamientos y requerimientos mínimos, que deben cumplir los diseños de Líneas de Transmisión Aéreas a cargo de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación (CPTT) [10].

Y esta misma especificación abarca las líneas de transmisión con tensiones desde 69 hasta 400 KV, en donde también menciona cada normatividad y los documentos aplicables en las instalaciones, coordinación de aislamientos, amortiguadores, conductores, sistemas de tierra, etc.

Sin embargo desde diciembre de 2013, está vigente otra norma más específica que es la CFE DCCLAAT1 que se refiere a la construcción de líneas aéreas de alta tensión de 69 KV hasta 138 KV y en este caso tiene por objeto, Esta especificación tiene por objeto establecer los requerimientos generales para construir y cuantificar los trabajos de la construcción de Líneas Aéreas de Alta Tensión, por parte de Contratistas y Solicitantes [11].

Estas normas estarán en los anexos, por eso no ahondaremos en las especificaciones técnicas de las líneas que se construyen en los rangos de tensión mencionados.

---

<sup>7</sup> Especificación de CFE para el "Diseño de líneas de transmisión aéreas".

## 2.2 Fenómenos eléctricos en líneas de Subtransmisión

Para estudio de sistemas de potencia, las líneas se simplifican en modelos equivalentes, esta simplificación es realizada en líneas de transmisión consideradas cortas (Menores de 80 km.) y medias (menos de 240 km) limitándose a impedancia, resistencia e inductancia.

Normalmente este tipo de circuitos de potencia poseen cargas trifásicas equilibradas, aunque no tenga una posición equilátera entre fases, no presenta transposición y si las hay no son frecuentes ni muy significativas.

Por ello, se dice que basta con estudiar las condiciones eléctricas de una sola de las fases para obtener el análisis completo del circuito, esto se logra haciendo que las cargas de los circuitos de Distribución sean iguales entre sus fases [12].

Incluso, la representación gráfica se hace con una sola línea, lo que se le conoce como diagrama esquemático o lineal. De este modo se simplifica el circuito para estudiar sus parámetros eléctricos.

La resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia son elementos que conforman la totalidad de los circuitos eléctricos, desde el más simple hasta el más complejo [13]. Y con ellos se crean dos grupos:

1. Parámetros eléctricos longitudinales, formados por resistencia y la inductancia
2. Parámetros eléctricos transversales, formados por la capacitancia y conductancia.

Existen otras magnitudes que matemáticamente sirven de nexo de unión de los parámetros anteriores, algunos de los más importantes pueden ser: Impedancia, admitancia, reactancia inductiva y susceptancia

El grupo número Uno<sup>8</sup> son los que se complementan para formar la impedancia, la consecuencia más importante de la existencia de una resistencia la constituyen las pérdidas por el efecto Joule.

El paso de los electrones a través de un conductor no se logra sin que estos sufran choques con otras partículas atómicas. Es más, estas colisiones no son elásticas y se pierde energía en cada una de ellas. Tal pérdida de energía por unidad de carga se interpreta como una caída de potencial a través del material. La cantidad de energía que pierden los electrones se relaciona con las propiedades físicas del material conductor.

La resistencia de un conductor a la corriente alterna es mayor que la resistencia que presenta el mismo conductor a la corriente directa. Este incremento es ocasionado por dos efectos: el efecto superficial o de la piel, y el efecto de proximidad.

---

<sup>8</sup> El grupo de los parámetros longitudinales

La circulación de corriente alterna en un conductor, presenta una densidad de corriente mayor en la superficie que en el centro del conductor, a este fenómeno se le conoce como "efecto pelicular" o "efecto Kelvin".

Con respecto al efecto proximidad, podemos decir que se presenta por la disposición de los conductores aéreos de igual tensión y frecuencia, pero diferente ángulo vectorial, crea una resta vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia en las caras próximas y en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y aumento aparente de la resistencia efectiva.

La unidad de medida de la resistencia es el Ohm, debido a que fue George Simon Ohm quien formuló su ley fundamental, base de la electricidad, ligando esta resistencia con la tensión y la intensidad circulante por un circuito, mediante la conocida fórmula  $R=U/I$ .

Ya que la resistencia es muy importante, a grandes distancias de conducción el fenómeno se manifiesta aún más. Siendo que la longitud es proporcional a la resistencia del conducto, pues los electrones deberán recorrer esa distancia.

En las líneas de subtransmisión, por el alto nivel de tensión y corriente circulante, hace falta conductores de tamaños considerables para tener capacidad de transportar la energía requerida, pero los diámetros de 20 ó 30 mm de diámetro en un material de cobre o aluminio un solo alambre se comporta como varilla rígida y no como conductores flexibles y adaptables, entonces no serían útiles para usarlos en los circuitos.

Por ello, cuando un conductor excede un determinado diámetro, no se construye sólidamente, sino con la unión varios hilos que forman un cable. Por ello un cable es un conductor compuesto por múltiples hilos enrollados en haz para mantener su forma y consistencia mecánica.

El otro elemento es la inductancia, descubierto por Faraday<sup>9</sup>. Es la propiedad de un elemento del circuito que aprovecha la capacidad de la energía de almacenarse en una bobina en forma de campo magnético. y este fenómeno también es exclusivo de la corriente alterna.

Cuando por un conductor circula una corriente de magnitud variable con el tiempo se crea un flujo magnético variable, el cual se enlaza con los demás conductores del circuito (por los que también circulan corrientes de naturaleza análoga).

Existe una inductancia por flujo interno, a lo largo de un conductor cilíndrico, Se supone que el hilo de vuelta está tan lejos que no afecta apreciablemente el flujo magnético creado por el conductor considerado. Las líneas de flujo son concéntricas al conductor.

---

<sup>9</sup> El descubrimiento de Faraday fue en el año 1831

El flujo externo también se considera para el estudio de la inductancia, pues los enlaces de flujo de un conductor inicialmente aislados debidos a la porción de flujo exterior comprendido entre D1 y D2 metros del centro del conductor. Como las líneas de flujo son círculos concéntricos al conductor, todo el flujo comprendido, está dentro de las superficies cilíndricas concéntricas y en el elemento tubular que está a x metros del centro del conductor [14].

Así se obtiene lo que se llama reactancia inductiva, que depende de la frecuencia del sistema y del valor de la inductancia total (suma de inductancia interna y externa) del cable.

Una forma simplificada para determinar los efectos de las corrientes que circulan en pantallas y cubiertas metálicas es considerar un cable imaginario sin pantalla, que presente una resistencia y reactancia comparable a la que presenta un conductor real, incluidos los efectos de la pantalla.

A la resistencia y reactancia de este cable imaginario se les conoce como Resistencia y Reactancia Aparentes y los valores obtenidos de estos parámetros permiten de una manera directa el cálculo de la impedancia de la línea, caídas de tensión, etc.

Los elementos agrupados en el grupo dos, es decir, los parámetros eléctricos transversales, influyen transversalmente en las líneas de transporte de energía eléctrica, que son la capacitancia y la conductancia. Que a su vez, se agrupan, formando la admitancia.

El comportamiento de cada elemento diere sustancialmente, pues mientras la capacitancia permite acumular energía en forma de campo magnético, la conductancia en un circuito eléctrico constituye las pérdidas producidas por los efectos: aislador y corona.

Por un lado podemos comprender la capacitancia en una línea de subtransmisión como el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores que la conforman. Provocando que los conductores se carguen tal como las placas de un condensador. La capacitancia entre conductores paralelos es la carga por unidad de diferencia de potencial, dependiendo del tamaño de los conductores y la distancia de separación.

El voltaje alterno que conducen las líneas de subtransmisión hace que la carga de los conductores aumente o disminuya con la variación del valor instantáneo del voltaje entre los diversos conductores.

Como la capacitancia es una derivación entre conductores, la corriente de carga fluye aunque se abra el circuito, por ello es muy importante poner a tierra las líneas al momento de ejecutar trabajos con línea desenergizada, ya que de lo contrario se estará trabajando con un voltaje por el efecto de capacitancia que puede ser peligroso.



La capacitancia afecta tanto la caída de voltaje, según la longitud de la línea como a su eficiencia, al factor de potencia y la estabilidad del sistema.

La capacitancia entre dos conductores se define como:  $c=q/v$

Donde  $q$ = carga entre los conductores en Coulombs /Km y  $v$ =diferencia de potencial en Volts.

Y el último parámetro mencionado, es la conductancia, que es la facilidad que un material ofrece como medio para transportar la corriente eléctrica, o sea, aquí tenemos la inversa de la resistencia. Al igual que la capacitancia es un parámetro transversal, opuestos a la resistencia y la inductancia.

La conductancia tiene en cuenta las corrientes de fuga tanto de los aisladores que sostienen las líneas aéreas como las pérdidas de los electrones al saltar a través del aire. La conductancia depende de numerosos factores difíciles de predecir y que no son constantes a lo largo de la línea, en estos factores se encuentran los medioambientales.

La conductancia se divide en dos efectos mayoritarios, que son el efecto aislador y el efecto corna. Y en comparación con los efectos resistivos, inductivos y capacitivos, la conductancia representa un valor muy pequeño como parte de los efectos de un circuito, y no es posible hacer un cálculo exacto, por ello generalmente se desprecia en los cálculos de circuitos.

### **2.3 Pérdidas de energía**

En todo el mundo, las pérdidas de energía, es un problema que las empresas de suministro eléctrico enfrentan y se presentan principalmente en las redes de distribución; y México padece los mismos problemas, porque es un fenómeno físico presente en los conductores.

Por un lado tenemos la naturaleza del fenómeno, pero por otro lado, tenemos las interrupciones del suministro eléctrico por falla o por libranza<sup>10</sup> de la línea, cualquiera de los dos casos, para el suministrador todo se traduce en pérdidas, y las hay de dos tipos:

- 1) Pérdidas Técnicas. Se deben en general a las condiciones propias de las instalaciones. Están provocadas por la circulación de corriente eléctrica a través de la redes de transmisión y distribución. Su magnitud depende entonces de las características de las redes y de la carga a que éstas se ven exigidas.
- 2) Pérdidas no técnicas. Son todas aquellas pérdidas que se presentan ajenas a los fenómenos físicos de transporte de energía, es decir, las que no están consideradas las

---

<sup>10</sup> El procedimiento que indica el Reglamento de Despacho y Operación del Sistema Eléctrico Nacional (REDOSEN) dice que un equipo o línea se considera en libranza cuando se ha comprobado ausencia de potencial y se encuentra debidamente aterrizado.

partes conductivas del circuito y que no pueden ser previstas. Por ejemplo, el robo de energía, las interrupciones por falla y por administración de la medición.

En cuanto a las pérdidas no técnicas, son impredecibles y están ocultas en los sistemas, pues de eso se trata el robo de energía, y aunque las derivaciones ilícitas sean visibles no se pueden calcular a menos que se midan sus parámetros de tensión y amperaje, conociendo el tipo de carga y sus características como tiempo de uso, etc.

Obviamente hacer esas mediciones, primero requiere de la identificación de todos los puntos donde se encuentren las pérdidas no técnicas, luego demandaría mucho tiempo hacer todos los cálculos y los traslados de un punto a otro.

Por ello, lo que sí se calcula son las pérdidas técnicas, de tal forma que si se conoce la potencia emitida en un circuito, calculamos sus pérdidas técnicas y hacemos la diferencia aritmética y encontramos las pérdidas no técnicas:

Perdidas no técnicas= Total de pérdidas – Energía perdida por pérdidas técnicas

El conocimiento de este valor es fundamental para toda empresa de suministro eléctrico, ya que en todo el mundo se presenta este fenómeno; y las pérdidas de energía no técnicas representan afectaciones para el suministrador, y se buscan oportunidades de recuperación de esa energía, ya sea con la corrección y normalización de dichas conexiones ilícitas o mediante el cobro de la energía a quien resulte responsable.

Y el caso de la SE Simojovel es muy peculiar, ya que dicha subestación, que está alimentada por la LST 73T30, a su vez deriva 3 circuitos de Media Tensión (MT). Los cuales distribuyen energía a comunidades cabeceras municipales y comunidades de los municipios de Simojovel, el Bosque Huitiupan y Amatan.

En la Subestación Simojovel se cuenta con un transformador de potencia de 7.5 MVA de capacidad, del cual emanan tres circuitos, que por nomenclatura están identificados como SMJ-4012, SMJ-4022 y SMJ-4032.

El contexto social que se vive es el de rebeldía y resistencia civil, donde grupos de personas se organizan y se proclaman en contra del pago de la energía eléctrica, regidos por usos y costumbres, algunas comunidades instauran sus propias autoridades y exigen

Atendiendo lo que la CFE plantea en su Plan de Negocios 2017-2022, donde expresa que es “imperativo y estratégico reducir pérdidas en media y baja tensión de 13.8%, nivel que se espera alcanzar en 2018 a 10.9% para 2021.

Se espera que se pueda coadyuvar para lograr las metas requeridas, pues en ese mismo informe se declara la necesidad de 24 millones de pesos en los próximos cinco años para ejecutar las obras necesarias para cumplir con la trayectoria de pérdidas.

Dicha cantidad considera costos que pudieran generar los principales conflictos sociales por endurecer el esquema de cobro, regularizar el suministro en asentamientos irregulares (incluso usando a las autoridades competentes) y el fortalecimiento de la infraestructura.

Para el estudio de las pérdidas técnicas se consideran los factores y fenómenos descritos en el apartado 2.2, y esto se logra por medio de modelos matemáticos, aunque actualmente también existen softwares para el cálculo de corto-circuito, caída de tensión y pérdidas; sin embargo no están liberados y su utilización requiere un costo considerable. Por ejemplo, el software utilizado por la CFE es el Sinergy.

Así como el Sinergy, existen en el mercado muchos otros, que nos dan una aproximación en el caso de las pérdidas técnicas y los cuales están basados en modelos matemáticos definidos por los fenómenos presentes en las líneas de transmisión y en su caso las de distribución.

### **3 Desarrollo**

#### **3.1 Validación del proyecto**

La CFE por medio del SIMOCE monitorea y guarda historiales de lecturas de los circuitos en media y alta tensión, se puede acceder a la base de datos a través de la Intranet de CFE, ya que es de uso particular.

Es un sistema constante, que sin embargo, hay ocasiones que no presenta lecturas, pero es útil y de fácil acceso. Sólo se requiere hacer el correcto análisis para una acertada interpretación.

La medición de las líneas de alta tensión no es posible realizarlas de manera directa, por eso es necesario el uso de transformadores de instrumento y dispositivos de medición, los cuales ya están instalados y monitoreados por el SIMOCE.

Por medio de la consulta de datos del SIMOCE, con valores de voltaje, amperaje, demandas máximos y potencia total entregada en un día, es posible generar gráficas, esto se debe hacer durante repetidos días, con lo que se obtiene una plantilla que nos permite definir el comportamiento un circuito.

Pero en la búsqueda de información se encontró que no se cuentan con datos de la LST73T30 en el sistema; esta línea que viene de Tacotalpa tampoco tiene lecturas registradas allí y en la SE Tapijulapa también se carece de ello.

Obtener las lecturas de la energía entregada nos permitirá tener una aproximación con la que se pueda obtener una resultante de pérdidas técnicas en la transportación de energía en un día ordinario, semana, mes o año. Por eso es que la información se tuvo que solicitar a la Zona Villahermosa, para que proporcionaran las lecturas obtenidas de manera local en la SE Tapijulapa.

Como primera instancia, con los promedios de los valores de nos permiten grafica el comportamiento de la carga y el consumo de energía. Así que se analizan desde el interruptor de banco de la SE Simojovel, el cual por nomenclatura se denomina SMJ 42010.

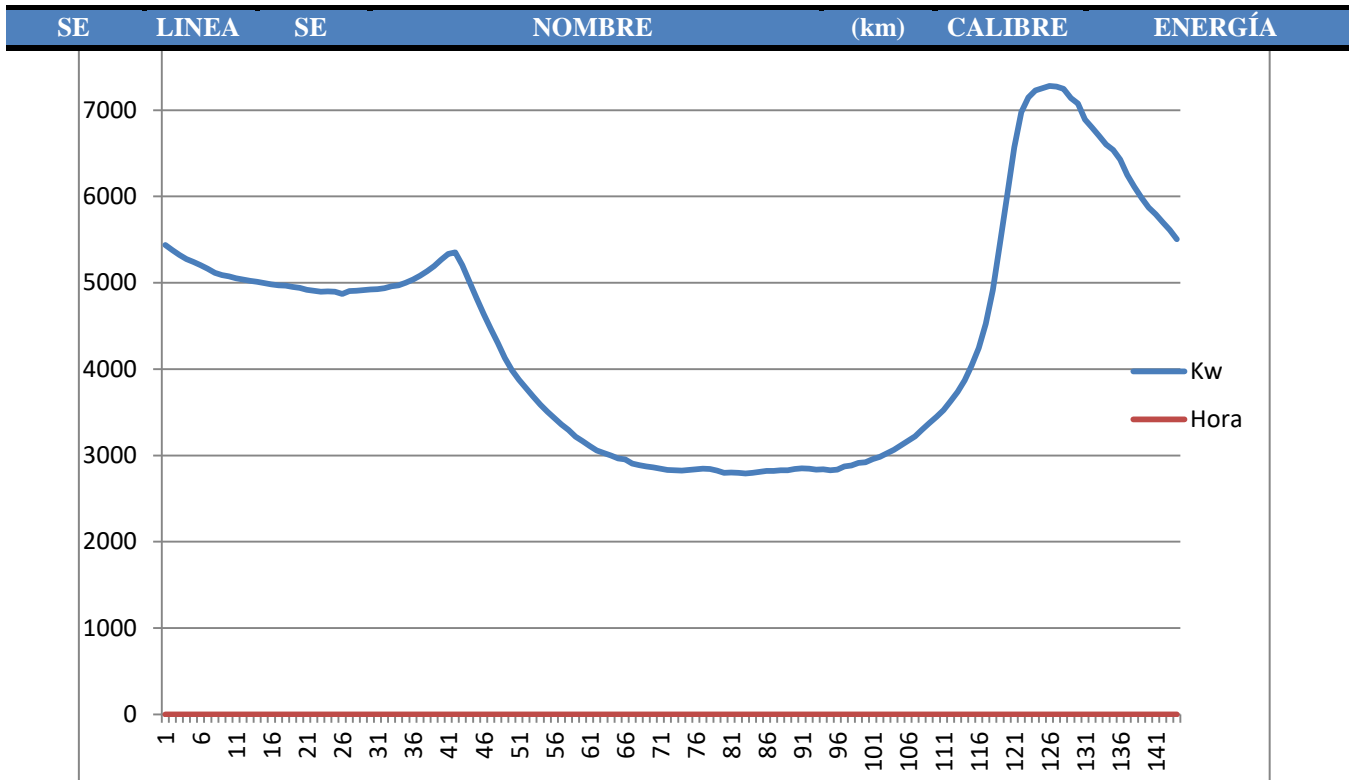
Se realizó un estudio de las lecturas proporcionada por el SIMOCE, realizando sumas por día durante enero de 2017 hasta noviembre de 2017, con ello se pudo determinar un promedio diario en cada mes y así mismo un promedio por día con lo que va del año.

<b>Mes</b>	<b>Energía entregada al Interruptor SMJ42010</b>	<b>Promedio diario en SMJ42010</b>
<b>Enero</b>	3851410.486	124239.0479
<b>Febrero</b>	3636661.676	129880.7741
<b>Marzo</b>	4319618.492	139342.532
<b>Abril</b>	4018662.19	133955.4063
<b>Mayo</b>	4214283.339	135944.6238
<b>Junio</b>	3348973.523	111632.4508
<b>Julio</b>	3295997.717	106322.507
<b>Agosto</b>	3266806.005	105380.8389
<b>Septiembre</b>	3333510.607	111117.0202
<b>Octubre</b>	3529840.984	113865.8382
<b>Noviembre</b>	3594802.724	123578.7545

En la tabla anterior se describe el comportamiento de consumo en KWh que se registra en el interruptor SMJ42010 y el promedio diario que se presenta mes a mes. Y también pudimos obtener un promedio en el consumo diario en lo que va del año, que corresponde a 121387.254 KWh al día.

Y por medio de las lecturas promediadas se realiza una gráfica para determinar la curva característica de la línea, esto se comparó con las gráficas que proporciona el mismo SIMOCE, sin embargo el sistema no permite graficar promedios, sino un día a la vez, y eso es lo que se hizo, comparativo de muchas gráficas y determinar un solo comportamiento durante el transcurso del día.

Con lo que se puede apreciar en la curva del tiempo que la demanda máxima se presenta a partir de las 19:00 hrs y permanece hasta 22:00 hrs; siendo el pico más pronunciado en la gráfica, es decir, el punto de la demanda máxima más recurrente es alrededor de 21:30 hrs.



En cuanto a las pérdidas que se tienen están dados estudios por la misma CFE por medio del software Sinergy, donde pudimos obtener estudios en Alta Tensión, Media Tensión e incluso Baja Tensión. Periódicamente se sube esta información con la finalidad de mantener una base de datos actualizada y también para realizar planificaciones a futuro, proyectando pronósticos eléctricos dependiendo los resultados que se tienen.

El manejo de la información es muy importante y para ello se requiere tener todos los elementos necesarios para consultarlo, pero también para hacer el cotejo y eso algo que se encontró como inconsistencia. Ya que hay elementos que hacen falta.

En un estudio que se realiza a nivel Zona, le corresponde a la Zona Tuxtla a siguiente tabla de pérdidas en líneas de Alta Tensión:

Podemos apreciar que se comprueba lo que la teoría nos dice, en cuanto a que a mayor tensión hay menos pérdidas. Por otro lado, el hecho de que una línea corta en Alta Tensión, considerada así por el poco kilometraje que recorre, hasta son despreciables sus pérdidas.

Encontramos a la LST 73T30 con un porcentaje de 0.02% de pérdidas y que representa 483,132.07 KWh de pérdidas durante el año 2016. Sin embargo, encontramos otra inconsistencia, pues en la tala se puede apreciar que la LST 73T30 está considerada con 28.20 km, dato que se comparó por medio de posicionamiento satelital.

INICIAL	FINAL				PERDIDA		
					kWh	%	
ANG	73520	MAP	ANGOSTURA - MAPASTEPEC	99,64	477-ACSR	128.574,47	0,01
ANG	73530	MAP	ANGOSTURA - MAPASTEPEC (TAP IPD)	99,64	477-ACSR	198.656,84	0,01
ANG	73730	MAP	ANGOSTURA - MAPASTEPEC (PIJ)	88,82	336-ACSR	137.541,65	0,01
ANG	73970	TGD	ANGOSTURA - TUXTLA DOS (TAP S.E. GIA)	56,50	477-ACSR	1.576.745,62	0,07
CIT	73450	ARR	CINTALAPA - ARRIAGA	62,14	477-ACSR	8.847.962,64	0,40
LGZ	73L00	VFD	LA GARZA - VILLAFLORES	18,90	477-ACSR	235.823,31	0,01
MMT	73350	TXS	MANUEL MORENO TORRES - TUXTLA SUR	37,04	477-ACSR	42.140,55	0,01
MMT	73500	OCZ	MANUEL MORENO TORRES - OCOZOCOAUTLA	49,50	477-ACSR	881.131,12	0,04
MMT	73650	TGU	MANUEL MORENO TORRES - TUXTLA UNO	38,00	477-ACSR	236.417,27	0,01
MMT	73660	SOY	MANUEL MORENO TORRES - SOYALO	38,40	3/0-ACSR	917.326,91	0,04
MMT	73800	SAB	MANUEL MORENO TORRES - EL SABINO	30,30	477-ACSR	31.555,05	0,01
MPS	73M00	MPE	MALPASO I -MALPASO III	0,38	XLP-1000	19.041,15	0,01
OCZ	73490	LGZ	OCOZOCOAUTLA - LA GARZA	51,40	477-ACSR	1.111.020,46	0,05
OCZ	73840	CIT	OCOZOCOAUTLA - CINTALAPA	27,75	477- ACSR- AW	3.390.297,12	0,15
RDB	73R20	TGD	REAL DEL BOSQUE - TUXTLA DOS	6,80	1.113,00	402.476,09	0,02
SAB	73370	TXS	EL SABINO - TUXTLA SUR	8,59	477-ACSR	67.841,89	0,02
SAB	73750	TXN	SABINO - TUXTLA NORTE	14,66	477-ACSR	685.451,50	0,03
SAB	73810	OCZ	EL SABINO - OCOZOCOAUTLA	28,00	477-ACSR	1.466.814,45	0,06
SAB	73820	TXS	EL SABINO - TUXTLA SUR	8,07	795-ACSR	63.907,68	0,01
SAB	73990	TGU	EL SABINO - TUXTLA UNO	14,16	477-ACSR	844.124,08	0,04
SOY	73S10	CRI	SOYALO - SAN CRISTOBAL	37,80	477-ACSR	635.177,94	0,03
TGD	73640	TXN	TUXTLA DOS - TUXTLA NORTE	7,10	477-ACSR	139.715,37	0,01
TGU	73760	TXN	TUXTLA UNO - TUXTLA NORTE	5,10	477-ACSR	133.515,68	0,01
TPJ	73T30	SMJ	TAPIJULAPA - SIMOJOVEL	28,20	477-ACSR	483.132,07	0,02
TXS	73360	RDB	TUXTLA SUR - REAL DEL BOSQUE	12,80	1.113,00	203.186,47	0,01
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>			<b>869,69</b>		<b>22.879.577,38</b>	

Y aunque se espera un margen de error, también se espera un dato similar al proporcionado, ya que no puede variar por mucho; y el resultado fue una diferencia de 5.3 km; siendo que en el método de posicionamiento satelital por medio de google earth nos da un total de 33.23 km. Y es que hoy en día se tienen herramientas que antes no se tenían y que es preciso actualizarse para precisamente corroborar datos.

En cuanto a las pérdidas no técnicas, como ya se ha mencionado en el apartado anterior corresponden a la energía que no es facturada por la empresa distribuidora y por lo tanto constituye pérdidas económicas para la empresa. Estas pérdidas pueden obtenerse como la diferencia entre las pérdidas totales y las pérdidas técnicas.

Una de las causas por las que está energía no es facturada se da por usuarios que no tienen un contrato con la empresa y se conectan a la red ilegalmente, también en el caso de usuarios con servicio suspendido y que sin autorización se conectan a la red, en ambas situaciones la energía consumida no es facturada y por lo tanto representa pérdidas. Otra de las causas puede darse por problemas en el equipo de medición lo que provoca una mala facturación, incluso equipo de medición que es alterado por los usuarios y por lo cual se da un reporte erróneo del consumo real [16].

Así también la CFE en la División Sureste considera la tabla siguiente como los principales factores de pérdidas no técnicas.

CONCEPTO	kWh	%
Asentamiento Irregulares	39.709.357,10	19,24
Intervención Equipos Medición	0,00	0,00
Derivaciones Ocultas	0,00	0,00
Servicios Directos Sin Contratos	23.857.160,92	11,56
Usos Ilícitos	97.540.645,38	47,27
Mala Calidad de Medidores	0,00	0,00
Errores de Medición	0,00	0,00
Fallas de Medición	10.823.880,72	5,25
Errores de Incorporación SICOM	0,00	0,00
Estimaciones	0,00	0,00
Errores de Facturación	34.405.575,04	16,67
Medidores Obsoletos	0,00	0,00
Reportes A. C. no Atendidos	0,00	0,00
<b>Total Pérdidas No Técnicas</b>	<b>206.340.345,32</b>	<b>100,00</b>

Como podemos apreciar algunos valores aparecen en ceros, no necesariamente significa que no exista ese tipo de pérdidas en las zonas de distribución pertenecientes a la División Sureste, alguno casos porque si se abate al mínimo esos rubros; pero, por ejemplo, las derivaciones ocultas apartase en ceros porque es un valor que no se conoce y no es posible calcularlo.

Entonces basados en lo que si se conoce podemos hacer los cálculos sugeridos de restar las pérdidas totales menos las pérdidas técnicas, para obtener las pérdidas no técnicas. Y para hacer esto se tuvo que hacer la cuantificación de energía facturada por la Agencia Simojovel en el año móvil para determinar mes a mes esos datos.

Para ello se consideran todas las pérdidas técnicas que se encuentren, como lo son las pérdidas en los conductores, el transformador de potencia y los transformadores de distribución.

En la SE Simojovel se tiene una facturación mensual muy parecida cada mes, sin embargo la variación que presenta no nos permitirían tener el valor más aproximado, por ello, según la facturación reportada por las lecturas de la empresa Subsidiaria Suministros Básicos en Simojovel se tuvo una facturación de 1,976,637 KWh en el mes de octubre y 2,268, 686 KWh durante noviembre.

Si comparamos los datos de salida del interruptor SMJ42010 por donde pasa toda la energía que se distribuye, en el mes de octubre se tuvo un total de consumo de 3,594,803 KWh y en noviembre se registraron 3,594,803 KWh.

Entonces, si hacemos la diferencia de lo consumido contra lo facturado, tenemos que para octubre se tiene una pérdida de 1,553,204 KWh y para noviembre 1,326,117 KWh. Es decir, que en la Subestación Simojovel alrededor de 1.4 millones de KWh se pierden.

Esto representa un 44% en octubre y 36.89% para noviembre. Y hay que recalcar que en estos datos están consideradas tanto las pérdidas técnicas como las no técnicas, pero sin considerar las pérdidas de transmisión de la LST 73T30. Lo que hay que sumar el 0.02% que representa 40261 KWh mensuales en promedio

#### **4 Resultados y conclusiones**

Los estudios que se realizan sobre los circuitos tanto en media como alta tensión de las líneas pertenecientes a CFE Distribución Tuxtla a veces no están actualizados, por ello, es preciso tener la constante revisión y comprobación que los valores estimados en los circuitos sean los esperado en la realidad

Por otro lado, es necesario esta actualización para tener un plan de mantenimiento adecuado y más acertado cada vez. Principalmente hay que tener en puntual observación los circuitos que se encuentran en zonas conflictivas como ocurren donde operan los circuitos de MT de la SE Simojovel, para monitoreo de usos ilícitos existente, aumento de la carga de nuevas ampliaciones fuera de norma en el mejor de los casos para prevenir el robo de energía.

Los resultados obtenidos son preocupantes, pues se presentan pérdidas muy altas, comparados con los parámetros nacionales que presenta la CFE. Donde se requiere un reajuste en las operaciones para el rescate de este sector de la zona de Distribución Tuxtla.

Pues si recordamos en el capítulo 2.3 Pérdidas de energía la CFE pretende para el 2018 mantener un margen de pérdidas de 13.8% e incluso se espera un 10.9% para el año 2021; por lo tanto los resultados de las pérdidas de 44% y 36.89% en Simojovel están completamente fuera de meta.



Aquí queda en descubierto un foco rojo que requiere atención y que es preciso atender, pues es también un área de oportunidad para tener recuperación de pérdidas;

Pudimos comprobar que es en los circuitos que operan a menor tensión y con conductores más delgados los que más pérdidas técnicas tienen y que se ven afectados, aún más, con las pérdidas no técnicas.

La LST 73T30 opera bajo condiciones no estandarizadas por las normas de especificación de construcción de la misma CFE, aunque el diseño mecánico de las estructuras no son las especificadas, pero si se cuenta con el nivel de aislamiento necesario, un conductor robusto y los aditamentos básicos de la línea, y sus pérdidas técnicas están dentro de los parámetros de las demás líneas<sup>11</sup>.

Durante el desarrollo del estudio de la rentabilidad de la LST 73T30 se descubrió la necesidad que se tiene de incluir esta línea en el SIMOCE, ya que las lecturas de los históricos de la línea no están disponibles.

Sin embargo, la información se pudo obtener y se pudieron analizar los valores de medición. Hacer este estudio resultó interesante y debido al método de observación utilizado en el contexto social que comparten los municipios del Bosque, Amatán, Simojovel y Huitiupan (la resistencia Civil y la negativa a pagar la energía eléctrica), se comprobó el escenario caótico bajo el que opera la SE Simojovel.

La LST 73T30 presenta las pérdidas esperadas para una línea de subtransmisión de su longitud, el calibre ACSR #477 es robusto; pero su rentabilidad se ve afectada porque los costos de mantenimiento muy altos, debido a su diseño improvisado, pero si sus pérdidas técnicas son las esperadas, vemos que sus pérdidas técnicas y no técnicas en la Subestación afectan su rentabilidad.

Pues del total de energía que la LST 73T30 suministra, 40261 KWh se pierden en su transmisión por pérdidas técnicas en la misma línea y 1.4 millones de KWh se pierden en la distribución. Entonces tenemos como resultado por arriba de 1.5 millones de KWh se pierden de manera mensual.

Si esto lo traducimos a cantidades económicas, consultando las tarifas en uso doméstico, encontramos que los costos por cada KWh durante los meses octubre y noviembre de 2017 los costos son como siguen.

Consumo básico	\$ 0.793	por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo intermedio	\$ 0.956	por cada uno de los siguientes 65 (sesenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo excedente	\$ 2.802	por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

---

<sup>11</sup> Se sabe de primera mano por los estudios de otras líneas de subtransmisión pertenecientes a CFE Zona de Distribución Tuxtla.

Entonces podemos apreciar que sólo por considerar una referencia, si tomamos el costo intermedio sin hacer otros cargos de consumo obtenemos rápidamente que un millón y medio de pesos se pierden cada mes.

Todo sin considerar la morosidad que presenta la cartera de recuperación, porque el hecho de tener energía medida y facturada no implica que el 100% sea cobrado. O sea que los niveles de pérdidas podrían aumentar si se hiciera un estudio económico de la Agencia Simojovel.

Obviamente el panorama no es alentador, pero sí preocupante que para CFE Distribuidora como empresa Subsidiaria se presente esta situación. Y es que para ninguna empresa resulta rentable que se alcance el 40% de pérdidas, pues sólo contar con el 60% para comercializar y todavía el tiempo que y proceso que lleva la recuperación del pago.

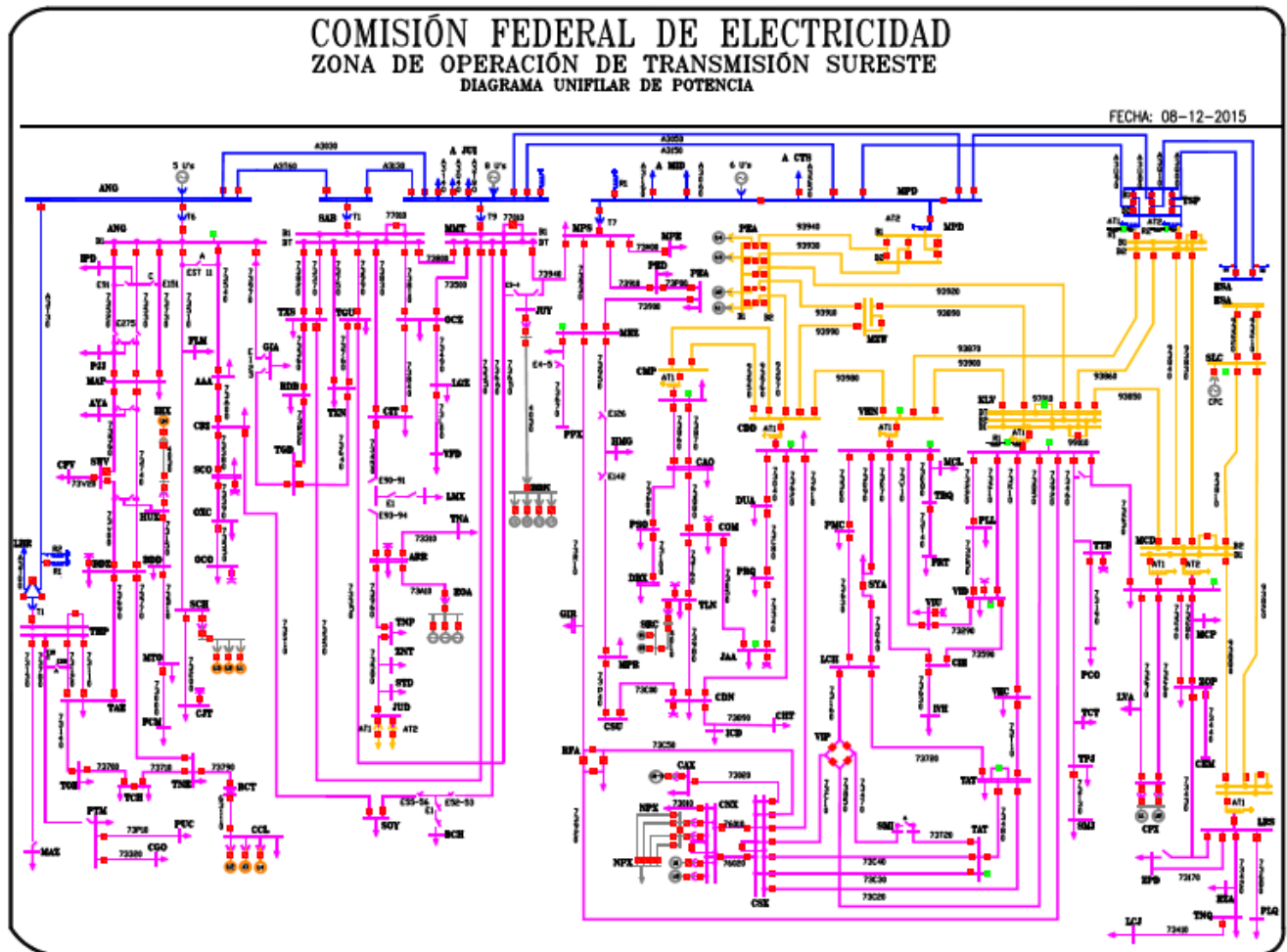
En este caso la LST 73T30 por el caso de su rentabilidad, es preciso tomar medidas para encontrar estrategias de recuperación de pérdidas; y el segundo paso el replanteamiento de su diseño, porque el aumento del costo de su mantenimiento podría reducirse y a futuro podría recuperarse esa inversión.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Ley de la Industria Eléctrica
- [2] Ley de la Comisión Federal de Electricidad, Título Primero, Artículos del 2 al 5.
- [3] Comisión Federal de Electricidad, Programa de ampliación y modernización de las redes generales de Distribución 2015-2019, abril de 2015, pp 8-22
- [4] Ramírez Castañeda, Samuel; Redes de Distribución de Energía, Centro de Impresiones Universidad Nacional de Colombia, 3ª. Edición, Enero de 2004, pp 44-47
- [5] Pineda M, Guillermo y Pedroza R, Jorge; Pérdidas Eléctricas en México, Revista Energía a Debate, México, 30 de junio de 2016.
- [6] CFE Informe anual 2009. Conformación del Sistema Eléctrico Nacional
- [7] Enríquez Harper, Gilberto, Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión, 2ª. Edición, LIMUSA Noriega Editores, México, 2005, pp 17-18
- [8] William D., Stevenson Jr. (1962), Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.
- [9] Ramírez Castaño, Samuel; Redes de Subtransmisión y Distribución de energía; Centro de Impresiones Universidad Nacional de Colombia, 2ª. Edición, Marzo de 1995, p 4
- [10] Especificación CFE DCDLTA01 Diseño de Líneas de Transmisión aéreas, CFE,p 1
- [11] Especificación CFE DCCLAAT1 CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN DE 69 kV HASTA 138 kV
- [12] B.M. Weedy; Sistemas Eléctricos de gran Potencia, Editorial Reverté, España, 1982; p 6
- [13] Mujal Rosas, Ramón M.; Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas; Edicions UPC, Barcelona, 2002; Pp13-27
- [14] Ramírez Castaño, Samuel; Redes de Subtransmisión y Distribución de energía; Centro de Impresiones Universidad Nacional de Colombia, 2ª. Edición, Marzo de 1995, p 48-65
- [15] Mujal Rosas, Ramón M.; Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas; Edicions UPC, Barcelona, 2002; Pp19-26
- [16] Ugarte Moreira, Susana; Estimación de pérdidas técnicas en Baja Tensión, Proyecto Eléctrico, Universidad de Costa Rica, Agosto de 2012, p 9

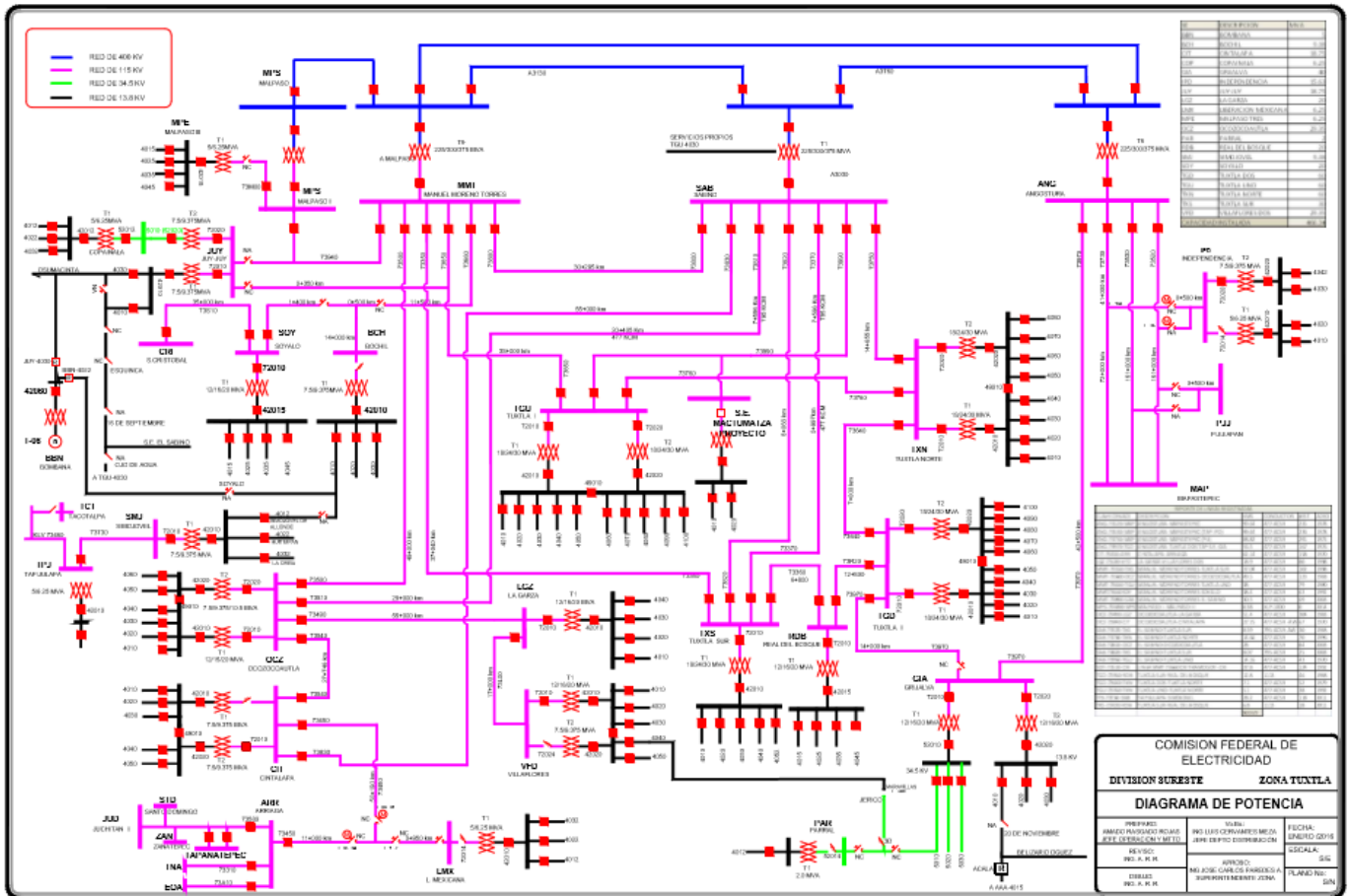
## Anexos

### Diagrama de potencia

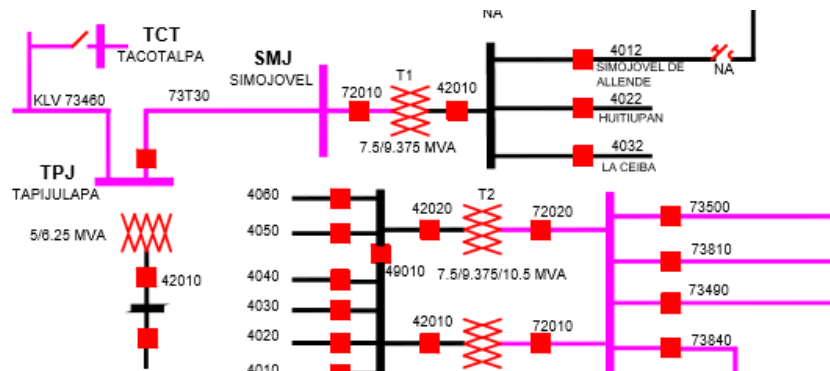


Este diagrama muestra todos los circuitos pertenecientes a la Zona de Operación de Transmisión Surestes (ZOTSE); Este es conocido como el diagrama de potencias de la División Sureste, nos muestra elementalmente cada circuito y nos indica su recorrido que como se ha dicho, una línea de subtransmisión viaja de Subestación a Subestación.

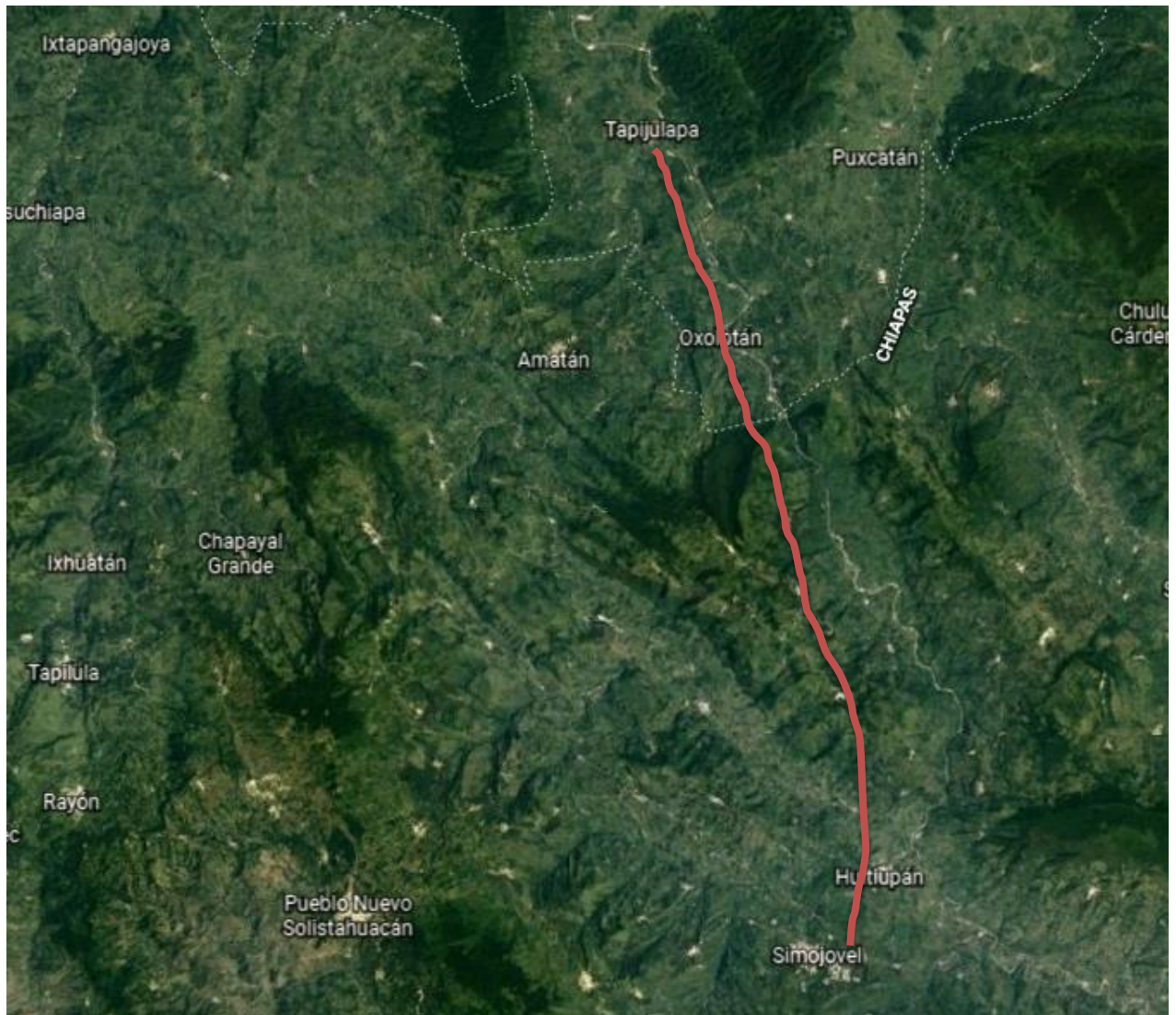
## Ubicación de la LST73T30 en el diagrama de potencia



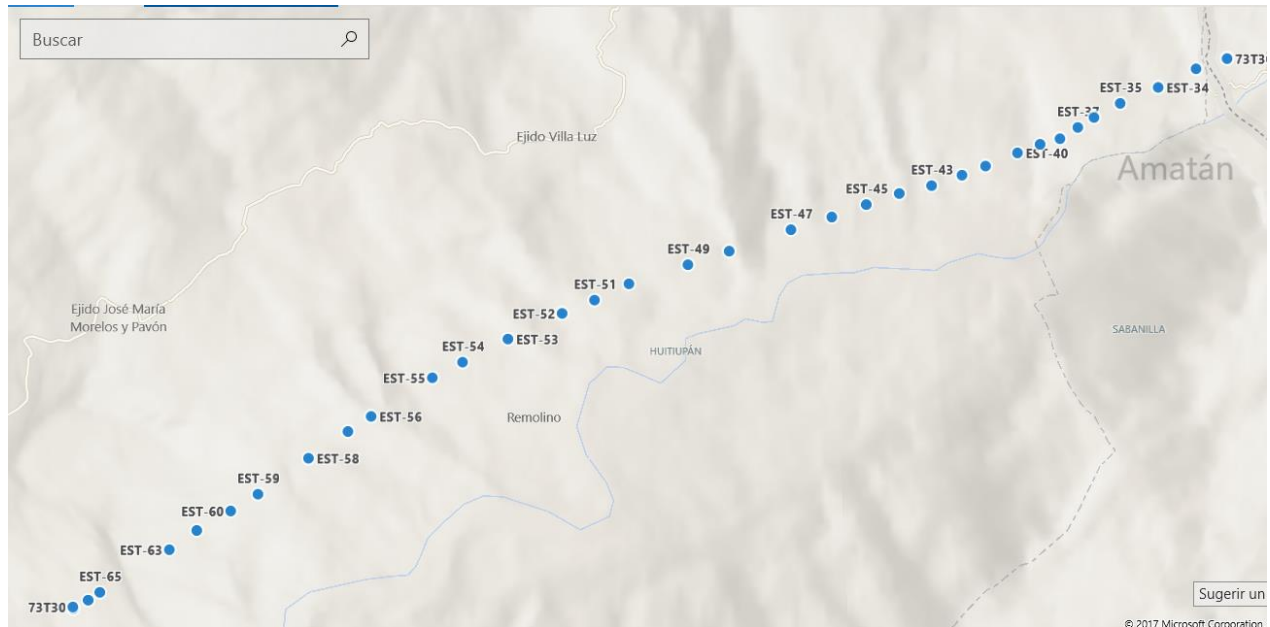
Esta es la ubicación de la LST 73T30, aquí se aprecia la SE TCT que está en Tacotalpa, Tabasco y de donde viaja a Tapijulapa, donde nace como circuito 73T30 y viaja hacia Simojovel y donde se puede apreciar los tres circuitos que a su vez nacen en Media Tensión SMJ 4012, 4022 y 4032.



## Ubicación geográfica



## Digitalización de la LST 73T30



El uso de herramientas disponibles por las nuevas tecnologías y algunos elementos libres en internet nos ayudan a realizar comparativos y utilizarlos es aprovechar lo que el medio nos ofrece; por otro lado es sinónimo de actualizarnos.

Así es esta ocasión el posicionamiento satelital por medio de un mapa, nos ayudó a ubicar cada una de las 144 estructuras que componen la LST 73T30; al ubicarlas se pudo obtener una medición de separación entre cada una de ellas y así mismo el kilometraje total que sumó en 33.23 km desde la Subestación Tapijulapa hasta aSImojovel.

## Energía Recibida por Zona

**Captura de Datos de Alta Tensión**

División:  Zona:  Año:

Energía Recibida | Energía Entregada | Líneas AT | Medidores | Pérdidas | Comentarios (Bitácora)

Datos de la Energía Recibida en Alta Tensión

Transmisión	<input type="text" value="2989895083.00"/> kWh	Generación	<input type="text" value="22282508.00"/> kWh
Permisarios	<input type="text" value="0.00"/> kWh	Importación	<input type="text" value="0.00"/> kWh
Divisiones del Valle de México	<input type="text" value="0.00"/> kWh	Banda de Compensación	<input type="text" value="0.00"/> kWh
Otras Divisiones	<input type="text" value="0.00"/> kWh	Otras Zonas	<input type="text" value="121397741.00"/> kWh

Energía Recibida en Alta Tensión de Otras Zonas

DIVISIÓN	ZONA	kWh
DK-DIVISION SURESTE	13-TAPACHULA	75165429
DK-DIVISION SURESTE	17-VILLAHERMOSA	46232312

**Energía Recibida**  kWh

[Ver Bitácora](#)

[Galer](#)

Aquí se muestra la pantalla del Sistema de CFE, donde se registra la energía que recibe la Zona Tuxtla, perteneciente a la División Sureste, de manera global. En este caso la LST proporciona energía de la Zona Villahermosa.

Este es el registro del año 2016, donde se recibió 46,232,312 KWh en ese año.

## Comparativo de pérdidas por año

AÑO	ENERGÍA (kWh)			PÉRDIDAS (kWh)					
	RECIBIDA	ENTREGADA	PERDIDA	TÉCNICA		NO TÉCNICA		TOTAL	
				kWh	%	kWh	%	kWh	%
2011	2.834.093.219,00	2.575.588.104,00	258.505.115,00	183.718.576,78	6,48	74.786.538,22	2,64	258.505.115,00	9,12
2012	2.863.287.850,00	2.546.434.314,00	316.853.536,00	187.628.243,99	6,55	129.225.292,01	4,51	316.853.536,00	11,07
2013	2.717.719.390,00	2.401.682.538,00	316.036.852,00	186.559.956,41	6,86	129.476.895,59	4,76	316.036.852,00	11,63
2014	2.809.135.510,00	2.478.402.182,00	330.733.328,00	185.259.662,90	6,59	145.473.665,10	5,18	330.733.328,00	11,77
2015	2.366.222.374,00	2.599.760.864,00	366.461.510,00	183.373.320,92	6,18	183.087.589,08	6,17	366.461.510,00	12,35
2016	3.137.933.620,00	2.758.663.089,00	379.270.531,00	172.930.185,68	5,51	206.340.345,32	6,58	379.270.531,00	12,09



## Áreas de oportunidad con respecto a pérdidas

División	Zona	Energía Recibida kWh	6.0% Energía Perdida kWh "permisible"	Energía Perdida Zona kWh	Área oportunidad (AT) kWh arriba del 1%	Área oportunidad (MT) kWh arriba del 2%	Área oportunidad (BT) kWh arriba del 3%	Área oportunidad total
DIVISION SURESTE	03-SAN CRISTOBAL	827.810.773,00	49.668.645,27	121.910.413,29	2.037.118,43	25.773.203,77	44.431.445,83	72.241.768,02
DIVISION SURESTE	04-TUXTLA	3.137.933.620,00	188.276.012,99	172.930.185,68	0	62.747,09	0	62.747,09
DIVISION SURESTE	09-OAXACA	1.333.468.956,00	80.008.135,57	97.972.261,21	0	0	26.760.100,25	26.760.100,25
DIVISION SURESTE	11-HUATULCO	493.478.660,00	23.608.718,94	65.843.689,44	10.233.513,44	14.432.298,74	11.509.158,32	36.234.970,50
DIVISION SURESTE	12-HUAJUAPAN	368.257.302,00	22.095.437,63	42.962.742,24	3.311.911,50	3.666.929,93	13.888.463,17	20.867.304,61
DIVISION SURESTE	13-TAPACHULA	1.450.564.025,00	87.033.839,55	149.973.891,41	11.913.580,84	19.393.901,33	31.632.569,68	62.940.051,86
DIVISION SURESTE	14-TEHUANTEPEC	1.618.677.400,00	97.120.641,83	93.302.153,74	6.802.144,78	0	535.194,31	7.337.339,09
DIVISION SURESTE	17-VILLAHERMOSA	3.362.580.367,00	201.754.817,51	283.808.604,07	11.492.591,82	4.937.905,30	65.623.289,43	82.053.786,56
DIVISION SURESTE	18-CHONTALPA	1.844.088.821,00	110.645.326,79	187.320.216,85	24.694.104,25	16.818.383,17	35.162.402,64	76.674.890,06
DIVISION SURESTE	19-LOS RIOS	903.682.905,00	54.220.973,09	85.106.425,62	0	14.853.998,86	17.889.604,00	32.743.602,86

Estudiar las pérdidas de energía es conocer la problemática que enfrenta una compañía de suministro eléctrico, pero también es encontrar áreas de oportunidad. Para ello la CFE estudia un estimado de manera general para conocer la situación de cada zona y asigna un valor de área de oportunidad según la cantidad de pérdidas que pueden ser abatidas.

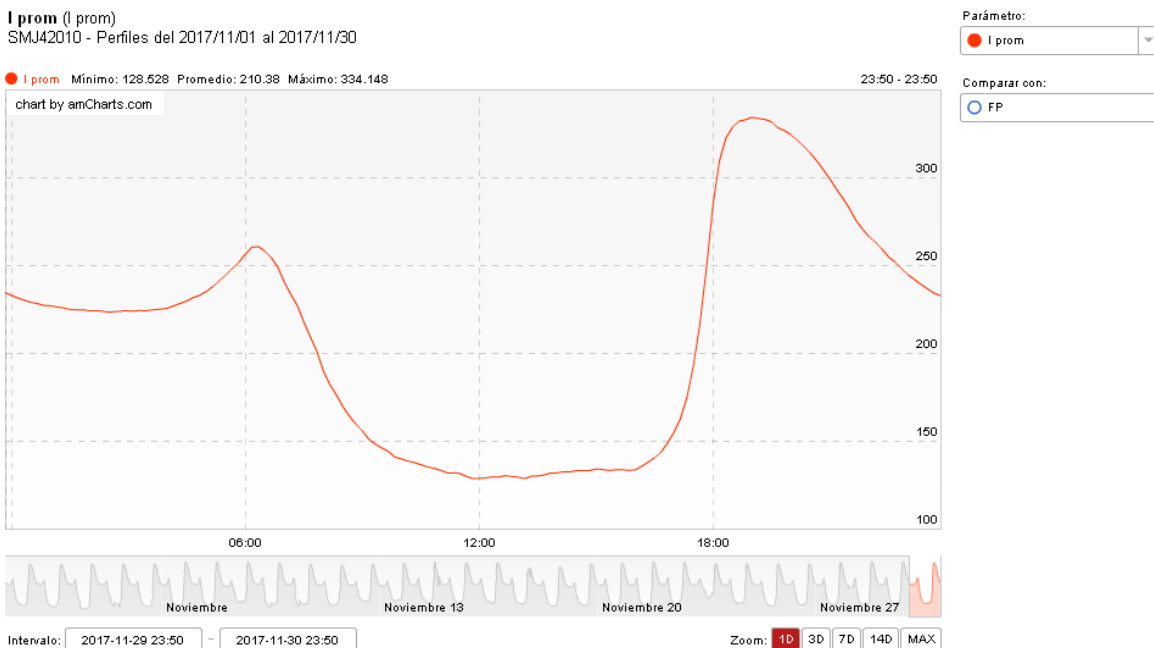
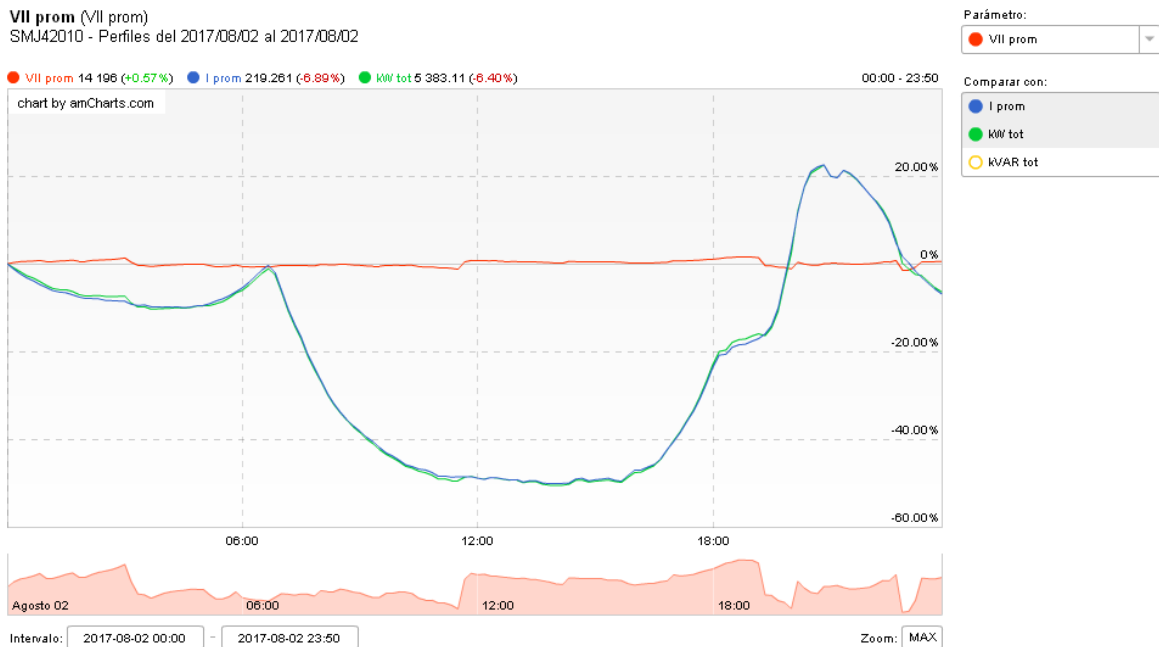
### Pérdidas técnicas en los TD de Simojovel

SE	CIRCUITO	NÚMERO DE TRANSF.	FACTOR DE CARGA	FACTOR DE PÉRDIDA	POTENCIA	PÉRDIDAS DE CBRE	FASES	kVA	PÉRDIDAS (kWh)
SMJ	04012	1	0,50	0,29	5,00	63,01	MONOFASICO	5,00	325,81
SMJ	04012	52	0,50	0,29	520,00	5.573,99	MONOFASICO	10,00	26.983,43
SMJ	04012	57	0,50	0,29	855,00	8.488,64	MONOFASICO	15,00	39.446,48
SMJ	04012	32	0,50	0,29	800,00	7.383,98	MONOFASICO	25,00	31.491,50
SMJ	04012	7	0,50	0,29	262,50	2.285,40	MONOFASICO	37,50	9.275,88
SMJ	04012	1	0,50	0,29	50,00	405,04	MONOFASICO	50,00	1.613,92
SMJ	04012	1	0,50	0,29	75,00	530,23	MONOFASICO	75,00	2.159,59
SMJ	04012	10	0,50	0,29	300,00	3.248,49	TRIFASICO	30,00	15.249,69
SMJ	04012	20	0,50	0,29	900,00	9.410,00	TRIFASICO	45,00	40.946,00
SMJ	04022	1	0,41	0,20	5,00	33,10	MONOFASICO	5,00	295,90
SMJ	04022	31	0,41	0,20	310,00	1.745,73	MONOFASICO	10,00	14.509,05
SMJ	04022	71	0,41	0,20	1.065,00	5.554,88	MONOFASICO	15,00	44.116,40
SMJ	04022	17	0,41	0,20	425,00	2.060,84	MONOFASICO	25,00	14.867,96
SMJ	04022	3	0,41	0,20	112,50	514,56	MONOFASICO	37,50	3.510,48
SMJ	04022	1	0,41	0,20	75,00	278,56	MONOFASICO	75,00	1.907,92
SMJ	04022	1	0,41	0,20	30,00	170,66	TRIFASICO	30,00	1.370,78
SMJ	04022	6	0,41	0,20	270,00	1.483,08	TRIFASICO	45,00	10.943,88
SMJ	04022	2	0,41	0,20	150,00	762,60	TRIFASICO	75,00	5.230,20
SMJ	04022	1	0,41	0,20	112,50	536,06	TRIFASICO	112,50	3.602,06
SMJ	04032	23	0,48	0,27	230,00	1.131,09	MONOFASICO	10,00	10.600,65
SMJ	04032	47	0,48	0,27	705,00	3.211,21	MONOFASICO	15,00	28.737,85
SMJ	04032	11	0,48	0,27	275,00	1.164,50	MONOFASICO	25,00	9.451,46
SMJ	04032	6	0,48	0,27	225,00	898,72	MONOFASICO	37,50	6.890,56
SMJ	04032	1	0,48	0,27	50,00	185,83	MONOFASICO	50,00	1.394,71
SMJ	04032	3	0,48	0,27	45,00	254,52	TRIFASICO	15,00	2.567,16
SMJ	04032	3	0,48	0,27	90,00	447,11	TRIFASICO	30,00	4.047,47
SMJ	04032	3	0,48	0,27	135,00	647,57	TRIFASICO	45,00	5.377,97
PERDIDAS DE TRANSFORMADORES									336.914,76

En esta tabla se encuentran registrados los transformadores instalados en cada circuito de la Subestación Simojovel, agrupados según capacidad y número de fases; con su respectivo cálculo de pérdidas que representan en su operación.

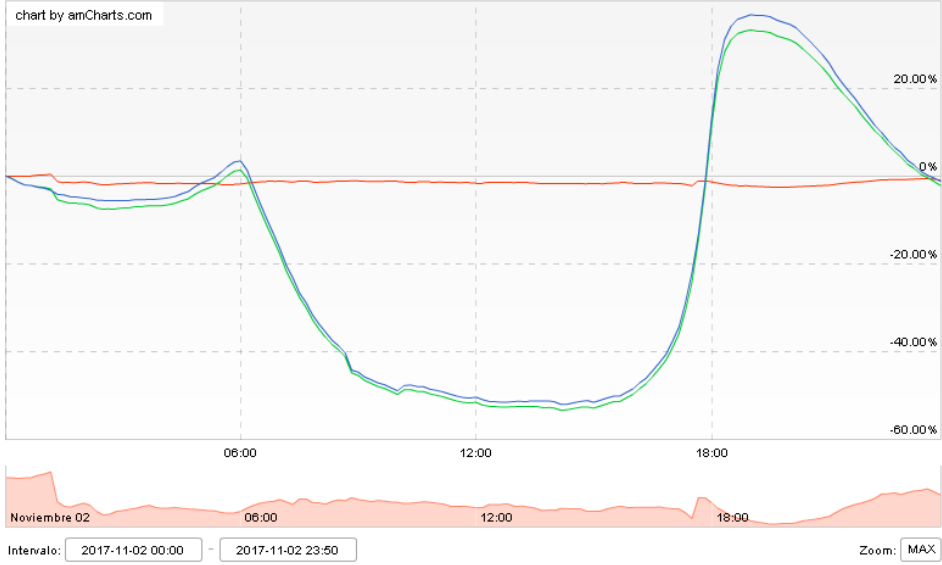
## Gráficas por día SIMOCE

Estos son ejemplos de las gráficas que el SIMOCE genera por día, pero para obtener un comportamiento general se sacó una media para determinar la curva predominante de la gráficas y así determinar una media.



VII prom (VII prom)  
SMJ42010 - Perfiles del 2017/11/02 al 2017/11/02

VII prom 14 120.5 (-0.95%) I prom 234.498 (-1.26%) kW tot 5 703.81 (+2.21%)

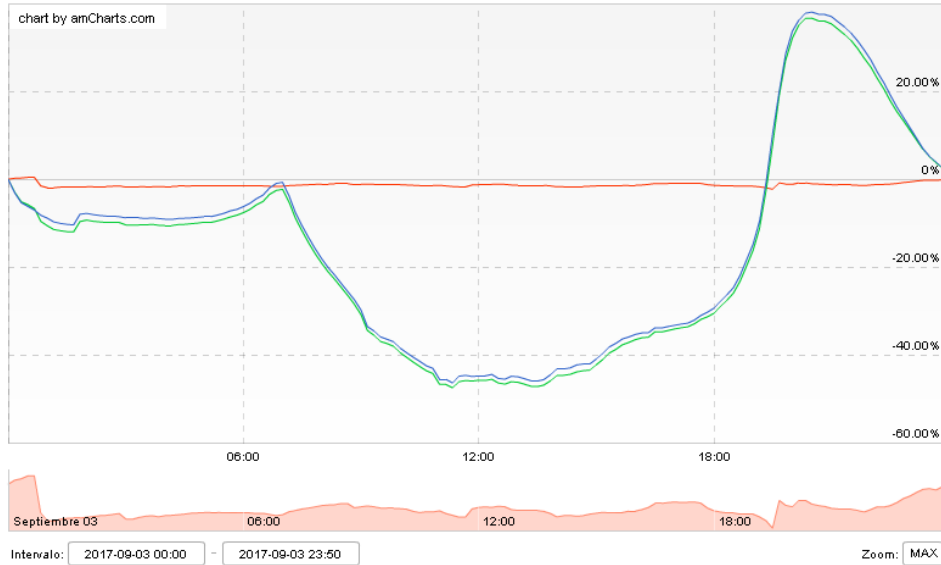


Parámetro:  
 VII prom

Comparar con:  
 I prom  
 kW tot  
 kVAR tot

VII prom (VII prom)  
SMJ42010 - Perfiles del 2017/09/03 al 2017/09/03

VII prom 14 270.3 (-0.14%) I prom 227.794 (+2.61%) kW tot 5 624.29 (+2.56%)



Parámetro:  
 VII prom

Comparar con:  
 I prom  
 kW tot  
 kVAR tot