

**MANEJO DE CARGA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA  
DE LA FÁBRICA DE SUCROMILES**

**WILSON CAMELO MARROQUÍN**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**MANEJO DE CARGA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA  
DE LA FÁBRICA DE SUCROMILES**

**WILSON CAMELO MARROQUÍN**

**Pasantía para optar al título de Ingeniero Electricista**

**Director  
LUIS EDUARDO ARAGÓN RANGEL, IE.,M.Sc.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**Nota de Aceptación:**

**Aprobado por el Comité de  
Grado en cumplimiento de los  
Requisitos exigidos por la  
Universidad Autónoma de  
Occidente para optar al título de  
Ingeniero Electricista**

**DIEGO FERNANDO ALMARIO**

**Jurado**

**LUIS EDUARDO ARAGÓN RANGEL**

**Jurado**

**Santiago de Cali, 07 de Noviembre de 2.006**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
GLOSARIO	8
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. CRITERIO DE CARGA ECONÓMICA	18
1.1. DESARROLLO DEL CRITERIO DE CARGA ECONÓMICA	18
1.1.1 Pérdidas en el núcleo	18
1.1.2. Pérdidas en el cobre PCu	20
1.1.3. Factor de utilización	20
1.1.4. Costo de operación	20
2. IMPLEMENTACIÓN DEL TLM	23
2.1 NORMAS DE SEGURIDAD	23
2.1.1 Elementos de seguridad	23
2.1.2 Permiso de seguridad	23
2.2 IDENTIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES	24
2.3 PLACA DE CARACTERÍSTICAS	24
2.4 CARGAS ESENCIALES	25
2.5 MEDIDORES DE ENERGÍA	26
2.5.1 Localización medidores de energía	26
2.5.2 Identificación de medidores asignados a transformadores	26
3. DESARROLLO DEL TLM	28
3.1 PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN EN TRANSFORMADORES	28
3.2 EFICIENCIA DE TRANSFORMADORES	28
3.2.1 Eficiencia del transformador con carga real	28
3.2.2 Eficiencia del transformador con carga ideal	30

4. BASE DE DATOS Y APLICACIONES	31
4.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN TRANSFORMADORES SUCROMILES S.A	31
4.2 BASE DE DATOS DEL PROYECTO TLM	31
4.2.1 Identificación de transformadores	32
4.2.2 Celdas alimentación energía	32
4.3 PROGRAMA DE APLICACIÓN	34
4.3.1 Modo utilización programa TLM	34
4.3.1.1 Instrucciones para entrar al programa	34
4.3.1.2 Datos de entrada	35
4.3.1.3 Datos de salida	35
4.3.2 Interpretación datos programa TLM	37
4.4 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	39
4.4.1 Intercambio de transformadores	39
4.4.2 Anexos o deslastre de cargas	40
5. RECOMENDACIONES	41
6. CONCLUSIONES	45
7. OBSERVACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	49

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Pérdidas en vacío y a plena carga en transformadores Trifásicos	19
Tabla 2. Identificación transformadores y subestaciones	24
Tabla 3. Placa de características transformadores trifásicos	25
Tabla 4. Cargas esenciales	25
Tabla 5. Organización de Equipos en los CCM	32
Tabla 6. Celdas alimentación de energía	33
Tabla 7. Programa TLM	38
Tabla 8. Generadores de energía por CCM	40

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Placa de datos característicos de transformadores	49
Anexo 2. Cargas esenciales transformadores	58
Anexo 3. Curvas de mediciones y consumos de energía	66
Anexo 4. Ilustraciones de eficiencias en transformadores	78
Anexo 5. Ilustraciones de pérdidas en transformadores	91
Anexo 6. Resultados TLM	104

## GLOSARIO

**AISLAMIENTO:** Nivel de aislamiento: Conjunto de los valores de tensión, tanto a la frecuencia industrial como de impulsos que caracterizan el aislamiento de cada uno de los devanados y sus partes asociadas desde el punto de vista de su aptitud para soportar los esfuerzos dieléctricos.

**ÁCIDO CÍTRICO:** Sólido blanco soluble en agua y ligeramente soluble en disolventes orgánicos. La principal fuente de obtención comercial del ácido es la fermentación del azúcar por la acción del hongo *aspergillus niger*.

**ALCOQUIMICA:** Planta de producción donde se hace el proceso de destilación de alcohol a base de la utilización de la vinaza de caña de azúcar.

**BOBINA:** Conjunto de espiras aisladas conectadas en serie.

**BOMBA CENTRIFUGA:** Dispositivo mecánico empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos o gases.

**CALENTAMIENTO:** En transformadores refrigerados por aire: Diferencia entre la temperatura de la parte que se considera y la del aire refrigerante.  
En transformadores refrigerados por agua: Diferencia entre la temperatura de la parte que se considera y la del agua a la entrada del dispositivo de refrigeración.

**CCM:** Centro de control de motores.

**CDE:** Centro de distribución de energía.

**COLUMNAS:** Piernas o soportes del núcleo rodeadas por el devanado.

**COMPRESOR:** Máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire y aumenta su presión por procedimientos mecánicos.

**CONEXIÓN ESTRELLA:** Aquella en la cual una extremidad de cada devanado de fase de un transformador polifásico o de cada devanado de la misma tensión nominal de los transformadores monofásicos que forman un banco trifásico, se conecta a un punto común (punto neutro), y la otra extremidad al terminal de la línea correspondiente.



**CONEXIÓN TRIANGULO:** La que conecta en serie los devanados de fase de un transformador trifásico, o los devanados de una misma tensión nominal de transformadores monofásicos que forman un banco trifásico, sin cerrar el triángulo en uno de sus vértices.

**CORRIENTE NOMINAL ( $I_n$ ):** La que fluye a través del terminal de línea de un devanado, obtenida al dividir la potencia nominal del devanado por el producto de su tensión nominal y un factor de fase apropiado.

**CORRIENTE NOMINAL PRIMARIA ( $I_{n1}$ ):** Corriente calculada a partir de la corriente secundaria y relación de transformación nominales.

**CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIA ( $I_{n2}$ ):** Corriente de línea que se obtiene de dividir la potencia nominal por la tensión nominal secundaria y en el caso de transformadores polifásicos, por el factor de fase apropiado.

**CORRIENTE SIN CARGA ( $I_o$ ):** La que fluye a través de un terminal de línea de un devanado, cuando se le aplica la tensión nominal, a la frecuencia nominal, estando los demás devanados en circuito abierto.

**CORRIENTE TRANSITORIA DE CORTO CIRCUITO ( $I_{kt}$ ):** Valor asimétrico instantáneo máximo de la corriente que fluye a través de los terminales de línea, después de haber producido un corto circuito de todas las fases en los terminales de línea del devanado secundario. Esta corriente esta compuesta por la corriente continua decreciente ( $I_c$ ) y por la corriente alterna de corto circuito ( $I_{ka}$ ) y se obtiene cuando se inicia el corto circuito al pasar la tensión de una fase por cero.

**DERIVACIÓN:** Conexión tomada de un devanado, usualmente para permitir la modificación de la relación de transformación.

**DEVANADO:** Conjunto de espiras aisladas o de bobinas que forman un circuito eléctrico asociado con una de las tensiones asignadas al transformador.

**DEVANADO DE ALTA TENSIÓN:** Aquel cuya tensión nominal es la más elevada.

**DEVANADO DE BAJA TENSIÓN:** Aquel cuya tensión nominal es la mas baja.

**DEVANADO PRIMARIO:** Aquel que, en servicio, recibe energía eléctrica de un sistema.

**DEVANADO SECUNDARIO:** Aquel que, en servicio, entrega energía a un sistema.

**ESPIRA:** Una vuelta completa de un conductor.

**FACTOR DE FUNCIONAMIENTO:** Relación variable entre 0 y 1, entre la duración del periodo de trabajo con carga y la duración del ciclo, puede expresarse también como porcentaje. Debe determinarse el tiempo de duración del periodo.

**FRECUENCIA NOMINAL ( $F_n$ ):** Aquella para la cual se diseña el transformador.

**MAGNITUDES NOMINALES:** Los valores numéricos de tensión, corriente, etc. Que definen el régimen nominal.

Salvo especificaciones en contra, las magnitudes nominales se refieren a las derivaciones principales.

Las tensiones y corrientes se expresan siempre por su valor eficaz, a menos que se especifique otra cosa.

**MOTOR:** Máquina eléctrica destinada a producir movimiento a expensas de una fuente de energía.

**NÚCLEO:** Conjunto de material que forma los circuitos magnéticos del transformador.

**NEUTRO:** El punto común de la estrella en un sistema polifásico o el que normalmente está al potencial cero en un sistema simétrico.

**PÉRDIDAS DE CARGA ( $P_c$ ):** Potencia activa absorbida a la frecuencia nominal, cuando la corriente nominal fluye a través de los terminales de línea de uno de los devanados estando los terminales del otro en cortocircuito.

**PÉRDIDAS SIN CARGA ( $P_o$ ):** Potencia activa absorbida cuando la tensión nominal, a la frecuencia nominal, se aplica a los terminales de uno de los devanados estando el otro o los otros devanados en circuito abierto.

**PÉRDIDAS TOTALES ( $P_t$ ):** Suma de la pérdidas sin carga y las pérdidas con carga. En los transformadores con mas de dos devanados, las pérdidas totales se refieren a una combinación de cargas específicas. Las pérdidas del equipo auxiliar no están incluidas en las pérdidas totales; aquellas se deben establecer separadamente.

Pérdidas adicionales, son las debidas al dieléctrico, al flujo de dispersión y al efecto pelicular.

**PLACA DE CARACTERÍSTICAS:** La adherida al transformador en la cual se indican los valores de magnitudes nominales y otros datos esenciales.

**POTENCIA NOMINAL ( $P_n$ ):** Valor convencional de la potencia aparente (kVA o MVA), destinado a servir de base para el diseño del transformador, la garantía del fabricante y los ensayos que determina un valor bien definido de la corriente nominal admisible cuando la tensión nominal es aplicada, bajo las condiciones especificadas en las Normas ICONTEC sobre ensayos a transformadores de potencia.

Los devanados de un transformador de dos devanados tienen la misma potencia nominal, la cual es por definición la potencia nominal del transformador.

En los casos de transformadores con más de dos devanados, debe establecerse la potencia nominal de cada uno de ellos. La media aritmética de los valores de la potencia nominal de los devanados indica aproximadamente las dimensiones de un transformador con más de dos devanados, cuando se lo compara con uno de dos.

Con tensión nominal constante aplicada a los terminales de uno de los devanados, la potencia aparente que puede realmente ser suministrada por el otro o uno de los otros devanados funcionando con carga nominal diferente de la potencia nominal del primer devanado por una cantidad que depende de la correspondiente caída (o elevación) de tensión. Esta potencia es igual al producto de la tensión real entre los terminales del mencionado devanado con carga por la corriente nominal correspondiente a este devanado y por el factor de fase apropiado.

**POZO:** Perforación hasta un punto, generalmente a gran profundidad, en el que se encuentran acumuladas grandes volúmenes de agua que se an filtrado por la capa terrestre.

**PROTECCIÓN:** Sistema que hace confiable el trabajo normal de un transformador.

**REFRIGERACIÓN DE CIRCUITO ABIERTO:** Transformador en el cual hay cesión directa del calor al fluido refrigerante, que se renueva continuamente.

**REFRIGERACIÓN DE CIRCUITO CERRADO:** Transformador en el cual se hace circular, en circuito cerrado, el agente refrigerante.

**REFRIGERACIÓN FORZADA (F):** Transformador en el cual se acelera el movimiento del agente refrigerante por medio de sistemas externos al transformador.

**REFRIGERACIÓN NATURAL (auto - refrigerado) (N):** Transformador que se refrigera produciendo el movimiento del agente refrigerante únicamente por diferencia de temperatura.

**RÉGIMEN:** Conjunto de valores numéricos atribuidos a las magnitudes (tensión y corriente) que definen el funcionamiento de un transformador en un momento dado.

**Régimen nominal:** Aquel que se presenta cuando el transformador funciona con valores nominales y para el cual el fabricante garantiza el transformador y en base al cual se hacen los ensayos.

**RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN NOMINAL (a):** La existente entre las tensiones nominales de dos devanados. Este valor puede expresarse por la relación entre el valor de la tensión aplicada a un devanado, menor o igual a la tensión nominal y el valor de la tensión desarrollada en el otro devanado.

**SERVICIO:** Esquema de las cargas a que se somete un transformador teniendo en cuenta la duración y la secuencia.

**SÍMBOLO DEL GRUPO DE CONEXIÓN:** Notación convencional que indica la forma de conexión tanto del devanado de alta tensión como el devanado de baja tensión y la del devanado de tensión intermedia ( si lo hay) y su desplazamiento o desplazamientos de fase relativos, expresados por el índice o índices horarios. Los símbolos para las conexiones de los devanados de transformadores trifásicos son los siguientes:

Triángulo: D,d.

Estrella: Y,y

Zigzag: Z,z.

**TENSIÓN NOMINAL DE UN DEVANADO:** La especificada para aplicarse, o desarrollarse en funcionamiento sin carga, entre los terminales de línea de un transformador polifásico, o entre los terminales de un devanado de un transformador monofásico.

Las tensiones nominales de todos los devanados aparecen simultáneamente en funcionamiento sin carga, cuando la tensión aplicada a uno de ellos tiene su valor nominal.

En caso de transformadores monofásicos destinados a construir un banco trifásico, la tensión nominal de un devanado destinado a ser conectado en estrella se indica por una fracción en la cual el numerador es la tensión entre fases y el denominador es raíz de tres.

**TENSIÓN NOMINAL DE CORTO CIRCUITO O TENSIÓN DE IMPEDANCIA ( $U_{zn}$ ):** De transformadores con dos devanados: tensión a la frecuencia nominal que se debe aplicar entre terminales de línea de un devanado, mono o polifásico, para hacer circular la corriente nominal a través de estos terminales, cuando los terminales del otro devanado están en corto circuito.

La tensión nominal de corto circuito se expresa usualmente como un porcentaje de la tensión nominal del devanado al cual se le aplica la tensión. En las normas sobre transformadores la expresión tensión de corto circuito puede utilizarse en sentido general aún para los valores diferentes de corrientes de la principal o ambas cosas.

**TENSIÓN RESISTIVA ( $U_r$ ):** Componente de la tensión de corto circuito en fase con la corriente.

**TENSIÓN REACTIVA ( $U_x$ ):** Componente de la tensión de corto circuito en cuadratura con la corriente.

**TENSIÓN NOMINAL DEL SISTEMA:** Valor eficaz de la tensión entre fases para la cual se diseña un sistema. Esta tensión no es necesariamente igual a la tensión nominal del devanado del transformador conectado al sistema.

**TENSIÓN PRIMARIA NOMINAL ( $U_{n1}$ ):** La aplicable, bajo condiciones de régimen nominal (condiciones normales de operación), a la totalidad del devanado primario, si no tiene derivaciones, o en la derivación principal, si las tiene.

**TENSIÓN SECUNDARIA NOMINAL ( $U_{n2}$ ):** La desarrollada en la totalidad del devanado secundario, si no tiene derivaciones; o en la derivación principal, si las tiene, cuando el transformador funciona sin cargas y se aplican la tensión y frecuencia nominales en el devanado primario.

**TERMINAL:** Pieza conductora destinada a conectar un devanado a un conductor externo.

**TERMINAL DE LÍNEA:** El que ha de conectarse a un conductor de línea de un sistema.

**TERMINAL NEUTRO:** En los transformadores polifásicos el conectado al punto neutro de un devanado conectado en estrella o zigzag. En los transformadores monofásicos el que ha de conectarse al punto neutro de un sistema.

**TERMINALES CORRESPONDIENTES:** Los que perteneciendo a diferentes devanados, están marcados con la misma letra o símbolo en diferentes caracteres.

**TRANSFORMADOR:** Máquina estática la cual mediante inducción electromagnética convierte tensiones y corrientes eléctricas alternas o pulsantes entre dos o más devanados a la misma frecuencia y usualmente a valores diferentes de tensión o corriente.

**TRANSFORMADOR DE POTENCIA:** Transformadores, autotransformadores y transformadores reguladores para la transmisión y distribución de energía eléctrica.

**TRANSFORMADOR TIPO SECO:** Aquel en el cual el núcleo y los devanados no están sumergidos en un líquido aislante.

**TRANSFORMADOR SUMERGIDO EN ACEITE:** Aquel en el cual el núcleo y los devanados están sumergidos en aceite (o cualquier otro líquido aislante).

**YUGO:** Parte del núcleo que une las columnas.

## RESUMEN

En las fábricas con grandes consumos de energía eléctrica como la de Sucromiles S.A. en Palmira, es necesario velar por el buen funcionamiento de equipos como los transformadores de potencia, para lo cual se requiere planear, operar y mantener estos equipos en servicio con los mínimos costos reduciendo las pérdidas.

En el proceso de optimización está el de la utilización óptima de los transformadores de potencia el cual depende de las pérdidas en el cobre y las pérdidas en el núcleo además de su cargabilidad. Para llegar a esta optimización se determina un criterio que permita usar el transformador con una carga máxima al mínimo costo de operación posible, en el cual se definen los costos de pérdidas y costos de energía. Este criterio se denomina criterio de carga económica y manejo de carga en transformadores.

Para la aplicación de los anteriores criterios se parte del conocimiento y operatividad del estado actual de carga de los transformadores. El manejo de carga en transformadores, calcula la carga máxima del equipo con base en la información de los medidores de energía y las mediciones hechas de cargabilidad. Estos procedimientos permiten visualizar el estado actual de cada transformador y que tan distante se encuentran de su punto óptimo de operación.

El manejo de carga facilita el aprovechamiento de los equipos y da los parámetros para lograr la optimización de los mismos con criterios que mejoran la infraestructura eléctrica de la fábrica como también los ahorros por costos de operación de cada transformador.

## INTRODUCCIÓN

Los transformadores de energía eléctrica son piezas fundamentales en el sistema de distribución dentro de la industria, razón por la cual resulta imperativo verificar sus parámetros operativos para determinar su cargabilidad y pérdidas a partir del estudio de sus factores de carga, pérdidas utilización y demanda. El estudio del manejo de carga en transformadores conocido como TLM de su sigla en inglés derivada de la expresión Transformer Load Management, tiene como finalidad mejorar la cargabilidad de los transformadores dando así un uso óptimo y disminuyendo las pérdidas.

Los estudios de TLM, son una herramienta tendiente a garantizar el uso eficiente de la energía.

En diversas empresas que no tienen como fin la comercialización de la energía eléctrica, en momentos que se aprueban los proyectos para su expansión de plantas de producción, esto conlleva a la instalación de nuevos tableros de distribución, centros de control de motores, subestaciones y por lo tanto compra de transformadores de distribución y potencia. Estos últimos son calculados con las posibles cargas a instalar, pero en último cuando se terminan los proyectos no hay certeza si estas cargas se conectaron en su totalidad.

La fábrica de Sucromiles S.A. en Palmira cuenta con equipos muy importante como son los transformadores de diferentes potencias, entre 2500, 1600, 1000, 800, 300 y 150 kVA.

La fábrica no contaba con un reporte donde se especificuen las cargas de los transformadores, tan solo tenía datos aproximados tomados de lectura de medidores, razón que justificó el estudio para saber como se encontraron sus equipos una vez terminado el estudio del TLM.

El estudio del TLM, especifica de manera concisa los puntos a revisar y el manejo que debe darse a cada transformador para mejorar su cargabilidad y ayudar a alargar la vida útil de los mismos.

Los altos costos de la electricidad hacen que en los equipos principales de los sistemas de potencia, se realicen estudios de pérdidas que tienen como objetivo optimizar su uso.

La máquina convertidora de energía más eficiente es el transformador, por lo que se requiere vigilar su punto óptimo de trabajo el cual viene dado por la carga que permite utilizar al máximo con un mínimo costo de pérdidas.



La presente pasantía definió el criterio de carga para tener una herramienta que facilite determinar el punto óptimo de trabajo en función de las cargas dentro de la fábrica.

Fue necesario desarrollar en forma clara la formulación del TLM, estos puntos fueron aclarados en el criterio de carga económica y el desarrollo mismo del TLM.

El objetivo general fue definir soluciones que permitieran dejar operando los transformadores de la fábrica de forma óptima, para la cual se revisaron diversas alternativas que permitieron encontrar soluciones dejando los equipos en su punto óptimo de operación.

Como se conocen los equipos de la empresa y se conoce el tiempo de operación de cada uno de ellos, se cuenta con una buena información para hacer deslastre de cargas a los transformadores que están sobrecargados o por lo contrario anexar cargas a aquellos que están siendo inutilizados al igual que los equipos que estén trabajando en vacío o por lo contrario con sobrecarga siendo estos equipos candidatos a ser reubicados.

Estas opciones se plantearon una vez terminado el estudio de TLM, en toda la empresa ya que se cuenta con un banco de información de cada equipo analizado. Con estos datos se pudieron definir equipos a reubicar en los centros de control de motores que están alimentados por cada transformador y por tanto dejarlos en su punto óptimo de funcionamiento.

Los beneficios obtenidos por el estudio del TLM son de suma importancia para la fábrica de Sucromiles S.A. ya que con los resultados arrojados se dará mejor uso a los transformadores instalados en planta disminuyendo pérdidas por estar trabajando a bajo régimen y protegiéndolos por posibles sobrecargas.

Una vez corregidos las posibles fallas dentro del sistema eléctrico de la fábrica de Sucromiles, gracias a los reportes entregados por el estudio presente, se pueden ver los resultados reflejados en menores costos de operación de los equipos y mayor eficiencia, al haber disminuido las pérdidas en los equipos.

## 1. CRITERIO DE CARGA ECONÓMICA

Uno de los equipos con más importancia es el transformador de potencia, por lo que es necesario conocer su punto óptimo de trabajo, el cual viene dado por la carga que permita utilizar al máximo el transformador al mínimo costo de pérdidas.

El criterio de carga económica es una herramienta que facilita determinar el punto óptimo de trabajo en función de la carga del transformador dentro del sistema. Bajo el anterior criterio, la carga económica del transformador para una capacidad nominal determinada, depende del costo de las pérdidas en el equipo.

Es necesario definir algunos valores y términos que permitan desarrollar de manera concreta la formulación necesaria para determinar el criterio de carga económica. En este punto se aplican las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana, NTC 618: Transformadores, placa de características.

### 1.1 DESARROLLO DEL CRITERIO DE CARGA ECONÓMICA

Para el estudio realizado, se hizo acopio de las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC 1031: Transformadores, ensayos para determinar pérdidas y corrientes sin carga.

Esta norma tiene por objeto establecer los ensayos a los cuales se deben de someter los transformadores, para determinar sus pérdidas y corrientes sin carga.

El manejo de cargas en transformadores de potencia (TLM) se basa en la consideración de los siguientes aspectos:

**1.1.1 Pérdidas en el núcleo ( PFe).** Es la potencia activa absorbida cuando la tensión nominal, a frecuencia nominal, se aplica a los terminales de uno de los devanados, estando los otros devanados en circuito abierto. También se conocen como pérdidas en vacío o pérdidas en el hierro.

Las pérdidas sin carga corresponden a las pérdidas por Histéresis que son a energía convertida en calor a causa del fenómeno de magnetización y está asociada solamente a una variación cíclica de fuerza magnetomotriz.

Histéresis es el resultado de la propiedad del material de conservar su imanación o de oponerse a una variación del estado magnético.

Las pérdidas por corrientes de Foucault están originadas por corrientes en el material magnético producidas por fuerzas electromotrices inducidas por los flujos variables.

Las pérdidas en el hierro son prácticamente constantes con cualquier carga a la que se vea sometido el transformador debido a que se considera nula la variación de la tensión ante variaciones de la carga del transformador.

Para determinar las pérdidas en vacío y a plena carga de los transformadores en estudio se hizo acopio a la Norma Técnica Colombiana NTC: 819. Transformadores trifásicos autorefrigerados y sumergidos en aceite. Pérdidas, corriente sin carga y tensión de cortocircuito.

Esta norma tiene por objeto establecer los valores nominales de pérdidas sin carga ( $P_o$ ), pérdidas totales a plena carga ( $P_t$ ), corriente sin carga ( $I_o$ ), y tensión de cortocircuito ( $U_z$ ), para transformadores trifásicos, autorefrigerados y sumergidos en aceite de 15 a 2000 kVA 15 / 0,6.

Para los efectos de este cálculo se debe tener en cuenta las definiciones de la Norma ICONTEC 317. La cual tiene por objeto establecer las definiciones utilizadas en relación con los transformadores de potencia.

Transformadores trifásicos serie 15  
 Construcción normalizada  
 Tipo potencia (subestación)

Tabla 1. Pérdidas en vacío y a plena carga en transformadores trifásicos

Transformadores Tipo	Potencia kVA	Datos garantizados a 75 °c				Peso y vol. Aprox.	
		$P_o$	$P_t$	$I_o$	$U_z$	Aceite	Total
		W	W	%	%	Lts	Kgs
c KOUM 382 s / 15	150	610	3000	3,00	3,00	168	675
c KOUM 532/2 s / 15	300	1020	5320	2,50	4,00	250	1025
c KOUM 752 s / 15	800	2000	12400	2,00	5,00	580	2140
c KOUM 804/2 s / 15	1000	2350	15150	2,00	5,00	705	2595
c KOUM 906/2 s / 15	1600	3200	23200	1,50	6,00	905	3500
c KOUM 1006 s / 15	2500	4650	33050	1,50	6,00	1640	6700

**1.1.2 Pérdidas en el cobre ( PCu ).** Potencia activa absorbida a la frecuencia nominal, cuando la corriente nominal fluye a través de los terminales de línea de una de los devanados, estando los terminales del otro en corto circuito.

Pérdidas en el cobre con cargas diferentes a la nominal, corresponden a la potencia disipada térmicamente por los conductores de los devanados en virtud de la corriente que fluye por ellos. Una variación en el valor de la intensidad trae consigo un cambio en las pérdidas de carga proporcional al cuadrado de la variación que haya tenido la corriente, llamadas también pérdidas por efecto Joule.

Las pérdidas con carga para un lapso determinado se calculan con base en la corriente que circula durante este tiempo y en la resistencia equivalente de los devanados, mediante la ecuación siguiente:

$$PCu = (I^2) * Req.$$

**1.1.3 Factor de utilización.** Indica la razón de uso del transformador con base en la carga real y su capacidad nominal. Esta se define de la siguiente manera:

$$FU = \text{kVA carga} / \text{kVA nominal}.$$

**1.1.4 Costo de operación (CO).** El valor de CO está determinado por el costo de las pérdidas tanto en energía como en potencia en el núcleo y el cobre, siendo los costos de operación por pérdidas de potencia iguales a:

$$CO = CPFe + CPCu.$$

CPFe es el costo de las pérdidas en el núcleo a cualquier carga ya que reconsideran constantes e iguales a las pérdidas al valor nominal de la carga.

CPCu corresponde a las pérdidas en el cobre a una carga diferente a la nominal y son equivalentes a:

$$PCu \text{ carga} = (Ic^2) * R \quad \text{y} \quad PCu \text{ nominal} = (In^2) * R$$

Hallando las relaciones entre las pérdidas de carga y las pérdidas nominales se tiene:

$$PCu \text{ carga} / PCu \text{ nominal} = (Ic^2) / (In^2)$$

Al asumir que las variaciones de tensión son nulas ante variaciones de la carga se puede hacer la siguiente consideración:

$$PCu \text{ carga} / PCu \text{ nominal} = (V * I_c / V_{in})^2$$

siendo igual a  $(kVA \text{ carga} / kVA \text{ nominal})^2$

Entonces queda así:

$$PCu \text{ carga} / PCu \text{ nominal} = (FU)^2$$

Las pérdidas en el cobre para una carga diferente a la nominal quedan determinadas por la siguiente ecuación:

$$PCu \text{ carga} = PCu \text{ nominal} * (FU)^2$$

Los valores de las pérdidas nominales del núcleo son tomados de los catálogos que hacen referencia a cada transformador en estudio.

Los valores de las pérdidas nominales en el núcleo son tomados de igual manera o calculados con el valor de la corriente nominal del lado de alta por la resistencia del mismo.

Es necesario adicionar a los costos de operación el costo por pérdidas de energía (CPE). Este costo se estima a partir del kilovatio hora (CkWh).

El costo por pérdidas de energía se halla de la siguiente manera:

$$E = \text{Potencia promedio} * T$$

y las pérdidas de energía son:

$$E \text{ pérdidas} = \text{Pérdidas promedio} * T$$

definiendo el factor de perdidas como:

$$FP = \text{pérdidas promedio} / \text{pérdidas pico}$$

se puede decir que las pérdidas de energía son:

$$E \text{ pérdidas} = \text{pérdidas pico} * FP * T$$

Considerando T igual a un año (8760 horas) el costo de las pérdidas de energía se puede representar por la siguiente ecuación que es afectada por el valor del kilovatio-hora

$$\text{CPE} = \text{CkWh} * (\text{E pérdidas})$$

Reescribiendo la ecuación anterior teniendo en cuenta las pérdidas en el cobre y en el núcleo se obtiene:

$$\text{CPE} = 8760 * \text{CkWh} * \{ [ \text{PCU} ( \text{FU} )^2 * \text{FP} ] + \text{PFE} \}$$

## 2. IMPLEMENTACIÓN DEL TLM

El procedimiento para la implementación del TLM en la fábrica de Sucromiles S.A. en Palmira contempló los siguientes puntos a seguir:

### 2.1 NORMAS DE SEGURIDAD

Para las mediciones correspondientes al inicio del estudio del TLM. Se tendrán en cuenta las normas de seguridad aplicables además de las normas internas de la fábrica de Sucromiles S.A. En especial se tendrán en cuenta las necesarias para ejecutar trabajos con equipos energizados, ya que los transformadores de esta fábrica no se pueden desenergizar por las pérdidas que conllevan a la producción.

**2.1.1 Elementos de seguridad.** Es de suma importancia contar con los elementos apropiados para la realización del estudio del TLM además se debe tener en cuenta que todos los elementos deben poseer adecuadas propiedades dieléctricas. La dotación apropiada para el desarrollo del estudio es: guantes, gafas, botas, casco, protección auditiva.

**2.1.2 Permiso de seguridad.** La fábrica de Sucromiles cuenta con normas estrictas para ejecutar cualquier clase de trabajo en sus instalaciones, para el presente caso el permiso a diligenciar debe ser el de trabajos en caliente, en este se deben especificar los siguientes puntos:

Área donde se realiza el trabajo.

Descripción del trabajo.

Vigencia del permiso indicando fecha y hora de inicio de labores.

Herramientas que van a ser utilizadas.

Precauciones especiales o equipos de protección a usar.

Nombre, cargo, firma y cedula de los trabajadores involucrados en el trabajo.

Autorización del ingeniero electricista encargado de mantenimiento.

Autorización del ingeniero encargado de la sección donde este ubicado el transformador.

Una vez diligenciado el permiso de seguridad se podrá iniciar las labores en los equipos a ser estudiados.

## 2.2 IDENTIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES

En este punto se acordó con el ingeniero encargado de la parte eléctrica de la fábrica, realizar el estudio del TLM a los transformadores de las siguientes subestaciones:

**Tabla 2. Identificación transformadores y subestaciones**

Ítem	Identificación transformador	Potencia k V A	Alimentación CCM	subestación
1	T0003	1600	2	Evaporador cristalizador
2	T0004	1600	7-A	Torre enfriamiento alcoquímica
3	T0005	1600	4	Servicios
4	T0006	1600	3	Purificación
5	T0007	1600	5	Separación de sólidos
6	T0009	1000	1	Cítrico
7	T0010	800	10	Placa
8	T0011	700	6	Calderas 1
9	T0012	700	6	Calderas 1
10	T0013	300	8	Pozo 4
11	T0014	300	10-A	Pozo 5
12	T0015	150	8	Pozo 6
13	T0016	2500	7	Principal alcoquímica
14	T0017	2500	9	Torre enfriamiento cítrico

## 2.3 PLACA DE CARACTERÍSTICAS

Para la toma de esta información se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana. NTC 618. Transformadores. Placa de características.

Esta norma tiene como objetivo establecer la información que debe de aparecer en la placa de características de los transformadores de potencia, tal como se ilustra en la tabla 3.



**Tabla 3. Placa de características transformadores trifásicos**

Marca	SIEMENS	Nº		Norma	
Pot Nom. KVA		Año		Nivel Aisl. KV	
Num. Fases		Frecuencia Hz		Clase Aisl.	
Tensión Prim. KV		Tensión Sec. V		Conexión	
Corriente Prim. A		Corriente Sec. A		Refrigeración	
Tensión C.C. %		Corriente C.C. KA		Duración C.C. s	
Peso Total kg		Aceite		Temp. Amb. °C	
Peso Parte Ext. Kg		Volumen Aceite l		Altitud m	

La información de los datos de placa de características de cada transformador se encuentra en el anexo 1.

## 2.4 CARGAS ESENCIALES

Se identificaron los equipos relevantes que tengan funcionamiento continuo y además de esto que representen una carga significativa a los transformadores, esto con el fin que en el momento de los resultados finales del TLM. se pueda determinar soluciones claras para una optimización de los equipos.

Las cargas más representativas se describen en una tabla como se muestra a continuación indicando el equipo, la potencia del motor, la corriente nominal y la función del equipo en la planta.

**Tabla 4. Cargas esenciales**

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1				
2				
3				

Este procedimiento se repite para cada transformador y dichas tablas se encuentran en el anexo 2.

## **2.5 MEDIDORES DE ENERGÍA**

Los medidores de energía son una herramienta fundamental para desarrollar el estudio del TLM ya que de estos se toman los reportes continuos en las lecturas y por tal razón permiten hacer un cálculo apropiado de consumos para cada transformador.

**2.5.1 Localización medidores de energía.** Los medidores de energía que cuantifican el consumo por cada transformador se encuentran localizados en el edificio del CDE, cada uno dentro de las celdas principales de distribución, es importante aclarar que no todos los medidores leen tan solo el consumo de un solo transformador, algunos de ellos leen los consumos de dos y hasta tres transformadores que se encuentran energizados desde la misma celda de distribución de energía.

**2.5.2 Identificación de medidores asignados a transformadores.** Como se dijo anteriormente los medidores están localizados dentro de las celdas de distribución de energía, cabe anotar que por su disposición no todos los transformadores cuentan con un medidor, a continuación se describe las celdas de energía y el transformador asignado a estos con la cedula correspondiente utilizada en la fábrica de Sucromiles.

Celda K01: Celda principal del centro de distribución de energía, esta es la celda mas importante debido a su esquema de conexión, si se abre el interruptor de esta celda, automáticamente la fábrica queda sin tensión.

Celda K02: En esta celda se descarta la toma de las mediciones, ya que alimenta eléctricamente cuatro transformadores y por lo tanto las mediciones son del conjunto de transformadores lo cual no aplica para el estudio del TLM.

Celda K03: De esta celda se alimenta el transformador T0002 que tan sólo tiene un equipo asignado pero que es de vital importancia para la fabrica, es el compresor Atlas Copco el cual es movido por un motor eléctrico de 2500 Hp y trabaja con un nivel de tensión de 4200 voltios.

Celda K04: En esta celda las mediciones se pueden hacer siempre y cuando se tenga claro el periodo de funcionamiento del compresor Joy eléctrico, ya que de esta celda se alimentan dos transformadores, uno el T0008 que alimenta el equipo ya mencionado y el otro es el transformador T0009 que es el encargado de alimentar eléctricamente el CCM 1 de la planta para la fabricación de ácido cítrico.

Celda K05: Esta celda alimenta únicamente el transformador T0003 del cual está energizado el CCM 2, área de evaporador cristalizador de la planta de cítrico.

Celda K06: Celda exclusiva para el transformador T0005 que alimenta el CCM 4 del área de servicios.

Celda K07: Celda que alimenta únicamente el transformador T0006 que energiza el CCM 3 del área de purificación de la planta de cítrico.

Celda K08: En esta celda se debe de tener cuidado, ya que esta energiza dos transformadores, uno el T0010 que energiza el CCM 10 de la planta de control ambiental, y el otro el T0014, el cual alimenta el motor del pozo 5, es de importancia hacer esta aclaración debido a que el motor se coloca en servicio por periodos de una semana por mes.

Celda K09: De esta celda se energiza únicamente el transformador T0007 que alimenta el CCM 5, área de separación de sólidos de la planta de alcoquímica.

Celda K10: Al igual que la celda K09 alimenta tan solo un transformador que es el T0017 el cual energiza el CCM 9, área de torre de enfriamiento cítrico.

Celda K11: Esta celda al igual que la celda K02, tiene un transformador energizado, identificado como T0018, este alimenta un motor eléctrico de 2500 Hp para un compresor Atlas Copco.

### 3. DESARROLLO DEL TLM

Una vez obtenidos los datos del criterio de carga económica donde se hace referencia a las pérdidas en el núcleo y el cobre, se procede a calcular los siguientes puntos:

#### 3.1. PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN EN TRANSFORMADORES

El punto óptimo de operación del un transformador se calcula cuando las pérdidas en el hierro son iguales a las pérdidas en el cobre, por lo tanto:

$$P_{Cu} = P_{Fe}$$

$$I_c = \sqrt{(P_{Fe} / R_e)}$$

$$I_c = \sqrt{(2.1 \text{ kw} / 0.00258 \text{ Ohmios})}$$

#### 3.2. EFICIENCIA DE TRANSFORMADORES

Es la razón existente entre la potencia activa suministrada por el transformador y la potencia de entrada al mismo. Considerando que la diferencia entre las potencias de salida y de entrada corresponden a las pérdidas totales, tenemos que:

$$N = P_a / P_a + P_t * 100 (\%)$$

Donde:

$P_a$  = potencia activa suministrada por el transformador

$P_t$  = Suma de las pérdidas sin carga, y de carga a 75 °C

Desconociendo la potencia activa suministrada por el transformador se puede aplicar la eficiencia aplicando la siguiente fórmula práctica:

$$N = 100 - [ ( P_o + a^2 * P_c ) / ( a * P_n * \cos \theta + P_o + a^2 P_c ) ] * 100 (\%)$$

$P_n$  = Potencia nominal en k VA

$P_o$  = Pérdidas sin carga en k W

$P_c$  = Pérdidas de carga a 75 °C en k W

$\cos \theta$  = Factor de potencia

$a$  = Factor de carga (relación entre potencia de trabajo y potencia nominal )

$$a = \frac{F}{U}$$

La máxima eficiencia de un transformador se obtiene con:

$$P_o = a^2 * P_c$$

O sea cuando:

$$a = \sqrt{ (P_o / P_c) }$$

**3.2.1 Eficiencia del transformador con carga real.** Para el cálculo de la eficiencia del transformador con carga real se usan los mismos parámetros de cálculo de eficiencia de transformadores. Esta fórmula difiere en las pérdidas con carga, las cuales deben ser calculadas con la corriente de carga.

$I_c$  = corriente de carga tomada de medidores de energía o medición directa en los terminales de baja del transformador.

Con esta corriente de carga se debe hallar el valor de las pérdidas en el cobre ya que están varían a razón de la corriente da carga al cuadrado por la resistencia equivalente del transformador.

$$P_{Cu \text{ carga}} = I_c^2 * R_e$$

Una vez obtenido el valor de las pérdidas en el cobre se puede hallar la eficiencia del transformador con la carga real de la siguiente forma:

$$N = P_a / [(P_a + (P_{Fe} + P_{Cu \text{ carga}})] * 100 (\%)$$

**3.2.2 Eficiencia del transformador con carga ideal.** Para el cálculo de la eficiencia del transformador con carga ideal, se debe hallar el punto óptimo de operación del transformador y se usa el procedimiento del punto 3.1. Punto óptimo de operación del transformador.

Una vez obtenida la corriente en la cual el transformador está operando en su punto óptimo, se recuerda que en este punto las pérdidas en el hierro son iguales a las pérdidas en el cobre.

Se calcula entonces la potencia de carga con la corriente del punto óptimo de operación, así:

$$P_{\text{carga}} = \sqrt{3} * V * I_c \text{ óptima}$$

Dando como resultado la potencia de carga óptima  $P_c \text{ óptima}$

$$N = P_c \text{ óptima} / [(P_c \text{ óptima} + (P_{Fe} + P_{Cu})] * 100 (\%)$$

## **4. BASE DE DATOS Y APLICACIONES**

En este capítulo se presentan las aplicaciones de los criterios desarrollados, de manera que se facilite visualizar conclusiones que conllevan a la operación óptima de los transformadores de potencia que fueron estudiados.

Para las aplicaciones del estudio del TLM, se seleccionaron catorce transformadores (14) transformadores de potencia de diferentes características ubicados en las subestaciones de la fábrica. En estos equipos existen todas las condiciones de seguridad necesarias.

### **4.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN TRANSFORMADORES SUCROMILES S.A.**

En la fábrica de Sucromiles S.A. el ente encargado de los equipos eléctricos es el departamento de mantenimiento eléctrico, el cual tiene como finalidad conservar los equipos en óptimas condiciones de trabajo para los servicios que prestan en diferentes secciones de las plantas de producción.

Los transformadores de potencia tienen su programación semestral donde se hace revisiones termografías, muestreo de aceite y mantenimientos realizados a estos equipos, esta información se encuentra en el programa interno de la fábrica llamado JD Edwards, donde se incorpora la nueva información, mantenimientos, cambios de ubicación, reparaciones generales, cambio de aceite y los resultados de las revisiones periódicas.

Antes de iniciar el estudio del TLM, la fábrica ya contaba con información que especifica que transformadores alimentan los centros de control de motores y sus cargas anexas a estos contando con motores eléctricos, sistemas de iluminación, aires acondicionados y servicios auxiliares, mas no la carga real ni mediciones periódicas que permitan revisar la cargabilidad de los transformadores y sus eficiencias.

### **4.2 BASE DE DATOS DEL PROYECTO TLM**

La información con la que cuenta la fábrica de Sucromiles S.A. se actualiza anualmente especificando de forma concreta el número de equipos y tableros de control conexiónados a cada CCM, con esta información se tiene certeza de nuevas cargas acopladas o deslastradas de cada transformador en estudio.

Esta información permite definir distancias de equipos, carga, si requieren sistemas de emergencias y tiempo de operación por día.

La base de datos llamada equipos por CCM, tiene la organización dada en la tabla 5.

**Tabla 5. Organización de Equipos en los CCM**

CCM					
COLUMNA	CUBIL	EQUIPO	ARRANCADOR	CORRIENTE DE CARGA	EMERGENCIA GENERADOR
K1	E1	02-8V1	directo	14	NO
	E2	903P6	estrella triangulo	52	NO
	E3	6P98	variador velocidad	14	NO
	E4	1003V1	suave	305	NO
	E5	1403V6	autotransformador	78	NO
K2	E1	902P11	directo	18	G9
	E2	902P13	directo	20	G9
	E3	902P14	directo	20	G9
	E4	903P15	estrella triangulo	85	G9
	E5	903P16	estrella triangulo	82	G9

**4.2.1. Identificación de transformadores.** Estos equipos deben tener una identificación única e independiente de tal forma que no se preste para confusiones en el momento de su traslado de sección o planta, obteniendo la información veraz de la nueva ubicación del transformador.

La fabrica de Sucromiles S.A. identifica sus transformadores con una codificación especial según la cual la letra inicial dice el tipo de equipo: la letra (T) para transformador y los cuatro dígitos restantes indican el número de equipos mencionados instalados en planta, cabe anotar que cada equipo tiene su número de activo, por lo tanto en el momento de un cambio de ubicación de un transformador se actualiza la información en el programa JD Edwards que es un aplicativo de la S400 donde tiene manejo todo lo relacionado con inventarios, compras, facturación, contabilidad e información general de todos los equipos instalados en la fábrica.

En el momento de anexar cambios en los archivos se especifica la fecha y los motivos de los cambios o mantenimientos en los equipos.

**4.2.2. Celdas alimentación energía.** En la búsqueda de información y actualización de la misma se hace una revisión general al centro de distribución de energía donde se verifica y actualizan los cambios



efectuados el los últimos años. En esta actualización se encuentran las nuevas celdas de distribución de energía que alimentan los transformadores instalados en el último año, tal como se indica en la tabla 6.

**Tabla 6. Celdas alimentación de energía**

CELDA	MARCA	TIPO DE INTERRUPTOR	ALIMENTACION TRANSFORMADOR	ALIMENTACION CCM
K01	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	General CDE	CDE
K02	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0004 T0011 T0012 T0016	CCM 7-A CCM 6 CCM 6 CCM 7
K03	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0002	Atlas 1203V8
K04	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0008 T0009	Joy eléctrico CCM 1
K05	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0003	CCM 2
K06	Siemens	Mecánico	T0005	CCM 4
K07	Siemens	Mecánico	T0006 T0013 T0015	CCM 3 Pozo 4 Pozo 6

CELDA	MARCA	TIPO DE INTERRUPTOR	ALIMENTACION TRANSFORMADOR	ALIMENTACION CCM
K08	Siemens	Mecánico	T0010 T0014	CCM 10 CCM 10-A
K09	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0007	CCM 5
K10	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0017	CCM 9
K11	Siemens	Al vacío ref: 8BK20	T0018	Atlas 1203V11

**4.3. PROGRAMA DE APLICACIÓN.** Con base en los criterios expuestos en los capítulos 1 y 3, se realizó una macro en Excel en la cual se ingresan datos técnicos del transformador y los datos de las corrientes pico y corrientes promedio y se obtienen como resultado los parámetros que permiten visualizar el estado de operación y costo de utilización del transformador.

**4.3.1 Modo utilización programa TLM.** A continuación se dan las instrucciones para la utilización del programa TLM y la interpretación de los resultados obtenidos.

**4.3.1.1 Instrucciones para entrar al programa.** Para el ingreso al programa se deben seguir los pasos de la plataforma Windows XP indicados a continuación:

Inicio

Documentos

Carpeta (transformadores de potencia)

Programa TLM (carpeta en Excel)

**4.3.1.2 Datos de entrada.** En esta primera parte se deben ingresar los datos técnicos que se piden y en las unidades expuestas. Estos datos son los de la placa de características del transformador.

Valor kilo vatio hora: Este es el valor que cobran las empresas de energía por el suministro de la misma y su valor no es constante, dependiendo de los consumos energéticos, características climáticas y otros factores. Este valor debe de ingresarse en pesos colombianos.

Corriente pico de carga: Este es el valor más alto de la corriente de carga y es tomado en los terminales de baja del transformador.

Corriente promedio de carga: Al igual que la corriente pico, este valor sale del promedio de las mediciones de corriente hecho en los terminales de baja del transformador en estudio.

Es importante aclarar que estos valores se dan en amperios.

**4.3.1.3 Datos de salida.** En los datos de salida se obtendrán resultados en cuatro secciones, cada valor será interpretado a continuación.

- Datos de mediciones

Resistencia equivalente: Valores muy pequeños y están dados en Ohmios.

Corriente de carga pico: El valor de la corriente más elevado en el momento de las mediciones de cargabilidad.

Corriente de carga promedio: Es el valor de las sumatoria de las corrientes medidas y la división entre el número de mediciones.

Pérdidas en el cobre con carga: Valor de las pérdidas en el cobre con los datos de entrada de las corrientes pico y las corrientes promedio.

Factor de utilización: Indica la razón de uso del transformador con base en la carga real y su capacidad nominal.

- Estados a plena carga de operación

En este cuadro se indican cuales serán los costos de operación del transformador y su eficiencia si tenemos el equipo a plena carga que equivale a tener como corriente de carga la misma corriente nominal del transformador.

Corriente: Este valor se ingresa en la tabla de datos de entrada y es igual a la corriente nominal del transformador.

Eficiencia: Es la razón existente entre la potencia activa suministrada por el transformador y la potencia de entrada al mismo.

Costo de operación: El valor de CO está determinado por el costo de las pérdidas tanto en energía como en potencia en el núcleo y el cobre. Cuando se tiene un transformador a plena carga como se puede observar los costos de operación son muy altos.

- Estados reales de operación

Corriente: Es el valor real de corriente de carga del transformador

Eficiencia: Es el valor en el momento de la medición de la eficiencia del equipo.

Costo de operación: Es lo que cuesta tener el transformador en servicio con la carga actual.

- Estados óptimos de operación

Corriente: Es la corriente ideal con la que debe de trabajar el transformador para obtener mayores beneficios.

Eficiencia: Cuando un transformador trabaja con la corriente de carga ideal se obtiene la máxima eficiencia del equipo.

Costo de operación: Cuando se opera un transformador con carga óptima los costos de operación son más bajos debido a que las pérdidas en el hierro son iguales que las perdidas en el núcleo.

**4.3.2 Interpretación datos programa TLM.** Se debe de tener muy en cuenta la interpretación de los resultados arrojados por el programa.

- **Tabla datos de medición.** Pérdidas en el cobre: Si el valor de las pérdidas en el cobre son menor que el de las pérdidas en el hierro, escritas en datos de entrada, entonces el transformador está trabajando por debajo del punto óptimo de operación y viceversa, lo ideal es que estas pérdidas tanto en el cobre como en el hierro sean lo mas parecidas posible.

Factor de utilización: Este es el valor al cual está siendo utilizado el transformador, si en un momento dado el FU = 100 % entonces se puede decir que el transformador esta trabajando con sobre carga elevando las pérdidas en el cobre.

Lo ideal es que el FU sea igual al indicado en el cuadro de datos de medición (factor de utilización ideal)

FU ideal se calcula con los kVA carga y con la corriente óptima de operación del transformador así:

$P_c = \sqrt{3} * V * I_c \text{ óptima.}$   
- Tabla datos de salida.

Corriente: En cualquiera de los tres estados de operación del transformador, ya sea ideal, plena carga u óptimo el valor de la corriente se debe interpretar así:

Si  $I_c > I \text{ óptima}$  de operación entonces se elevan las pérdidas en el cobre.

Si  $I_c < I \text{ óptima}$  de operación entonces al transformador se le deben anexar cargas para llevarlo a un punto cerca de su máxima eficiencia o punto óptimo de operación.

Lo ideal es que la  $I_c = I \text{ óptima}$  de operación

Eficiencia: Al igual que la corriente esta depende de las corrientes de carga por lo tanto se aplican los principios mencionados en el párrafo anterior.

Costo de operación: Para la fábrica de sucromiles y cualquier otra empresa que pretenda hacer sus estudios de cargabilidad en los transformadores este es el punto más importante ya que conlleva a valores que se pueden ahorrar.

Como los resultados obtenidos hablar por si solos tan solo hay que revisar las cifras y tratar de llegar al punto más económico para la utilización del transformador.

**Tabla 7. Programa TLM**

<b>PROGRAMA TLM PARA SUCROMILES S.A.</b>		
<b>Datos de transformador</b>		
Cédula del transformador	<b>T0006</b>	
Alimenta CCM	<b>CCM 3, PURIFICACIÓN</b>	
Potencia aparente	1600	KVA
Pérdidas en el hierro	2,1	kW
Pérdidas en el cobre	11,4	kW
Tensión	440	V
Corriente nominal	2099	A
Corriente de carga	908,8	A
<b>Datos de mediciones</b>		
Valor kW hora	180	\$
Corriente pico de carga	751,2	A
Corriente promedio de carga	714,3	A
Resistencia equivalente	0,002587	Ohmios
Pérdidas en Cu con carga	2,14	kW
Factor de utilización real	43,29	%
Factor de utilización ideal	42,91	%
<b>Estados a plena carga de operación</b>		
Corriente	2099	A
Eficiencia	99,16	%
Costo de operación	21286800	\$
<b>Estados reales de operación</b>		
Corriente	908,8	A
Eficiencia	99,39	%
Costo de operación	3926958	\$

<b>Estados óptimos de operación</b>		
Corriente	901	A
Eficiencia	99,39	%
Costo de operación	3920952	\$

#### **4.4 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS**

Las alternativas que fueron propuestas desde el inicio del proyecto son las dos mejores opciones para el TLM, la primera es el intercambio de transformadores y la segunda el anexo o deslastre de cargas en los equipos.

Las opciones propuestas se presentan a partir de las cargas actuales de los transformadores con respecto del criterio de carga económica y la eficiencia de estos equipos, ya que de esta manera se puede garantizar la utilización óptima.

**4.4.1 Intercambio de transformadores.** Siendo esta la primera alternativa se debe tener en cuenta ciertos criterios para hacer un intercambio de transformadores, ya que esta decisión debe ser planificada y proyectada, porque para el cambio de un transformador se debe desenergizar una sección o una planta de producción. En la planificación del intercambio de transformadores es muy importante también mirar la proyección de posibles cargas o ampliación en secciones de producción, esto con el fin de no estar intercambiando equipos con frecuencias ocasionando pérdidas por producción y gastos adicionales por instalaciones y pruebas en general.

Otro factor importante para el intercambio de transformadores es el diseño de ellos, ya que la fábrica de Sucromiles cuenta con transformadores tipo seco y embebidos en aceite, siendo más notable las pérdidas en el segundo tipo, esto es importante tenerlo en cuenta debido a que estos equipos requieren menos mantenimiento pero sus revisiones se deben seguir haciendo de forma periódica.

Cuando se detecta el transformador a reubicar a este equipo se le debe de repetir el estudio del TLM, teniendo con certeza las cargas que estén fuera de servicio y asumiendo al final las corrientes de carga de estos equipos, con esta corriente final se aplica el TLM y si las condiciones continúan con un factor de utilización bajo y unos costos de operación altos, entonces se debe

de buscar un nuevo transformador para instalar por el transformador que tiene baja cargabilidad.

El transformador retirado se le debe de buscar una nueva ubicación donde sus parámetros de costo de operación sean bajos y se pueda prolongar la vida útil del equipo.

**4.4.2 Anexo o deslastre de cargas.** Esta es la segunda propuesta que se hace después de ejecutar el estudio del TLM, y se determina por que la eficiencia y costo de operación están cerca del punto óptimo de trabajo del transformador, en el momento de asignar una nueva carga es importante saber cuantos amperios mas va a tener de carga el equipo y además saber que esta carga opere de forma constante, al igual que el deslastre de cargas lo significativo son las corrientes de carga que serán deslastradas.

Antes de realizar un anexo o deslastre de carga se debe tener muy en cuenta el equipo a trasladar, ya que algunos de los centros de control de motores que están alimentados por los transformadores cuentan con generadores de emergencia debido a lo importante de los equipos dentro del proceso industrial. La tabla 8 relaciona los generadores de energía asignados a cada CCM en la fábrica de Sucromiles.

**Tabla 8. Generadores de energía por CCM**

Ítem	CCM	Transformador	Generador	Marca	Potencia		Corriente nominal
					kVA	k W	
1	1	T0009	G3	Caterpillar	650	520	900
			G4	Caterpillar	650	520	900
2	4	T0005	G9	Caterpillar	237	190	285
3	6	T0011 - T0012	G7	Caterpillar	625	500	752
			G8	Caterpillar	625	500	752
4	7	T0016	G5	Caterpillar	625	500	752
5	7-A	T0004	G6	Caterpillar	625	500	752
6	10-A	T0014	G2	Caterpillar	250	200	300



## **5. RECOMENDACIONES**

En vista que el estudio realizado arrojó sus resultados de forma independiente para cada transformador, así mismo se darán recomendaciones que permitan tener los equipos dentro de los puntos óptimos de operación.

### **5.1. TRANSFORMADOR T0003 DEL CCM 2 (EVAPORADOR CRISTALIZADOR)**

Este transformador se encuentra trabajando dentro de los parámetros de los estados óptimos de operación con cargas casi ideales, una eficiencia del 99% y unos costos de operación similares a los ideales, por lo tanto se recomienda mantener las cargas acopladas a este transformador, cuidando de forma periódica su cargabilidad para seguir obteniendo estos parámetros óptimos de operación.

### **5.2. TRANSFORMADOR T0004 DEL CCM 7-A (TORRE ENFRIAMIENTO ALCOQUIMICA)**

Este equipo actualmente se encuentra trabajando con cargas mínimas y costos de operación bajos, pero no aprovecha las bondades de los transformadores tipo secos que tienen unas pérdidas muy bajas en el cobre y en el núcleo a diferencia de los transformadores embebidos en aceite.

Sería conveniente aprovechar este transformador e instalarlo en la subestación de Calderas sección 1, donde se cuenta con los 2 transformadores Zennaros del tipo embebidos en aceite, que registran mantenimientos seguidos con regeneración del aceite, corrección de fugas y ajustes en terminales por fallas detectadas con termografías. Se puede tener una mayor confiabilidad con este equipo y las cargas actuales a este se pueden dejar energizadas del mismo, logrando una buena cargabilidad del transformador.

### **5.3. TRANSFORMADOR T0005 DEL CCM 4 (SERVICIOS)**

Este transformador es de tipo seco y su corriente actual de carga es de 738 amperios, la corriente óptima de carga es de 902 amperios, lo cual indica que se puede anexar carga de 169 amperios a este transformador para que se deje

trabajando en el punto óptimo, actualmente sus pérdidas y su factor de utilización son bajas.

#### **5.4. TRANSFORMADOR T0006 DEL CCM 3 (PURIFICACIÓN)**

En este transformador se debe mantener la carga actual, debido a que se encuentra dentro de los puntos óptimos de operación.

#### **5.5. TRANSFORMADOR T0007 DEL CCM 5 (SEPARACIÓN DE SÓLIDOS)**

Equipo marca TPL, embebido en aceite, actualmente se encuentra trabajando prácticamente en vacío. Presenta una corriente de carga de 251 amperios y su carga óptima debe ser 838 amperios. Es importante visualizar si existen nuevos proyectos en esta sección, de lo contrario se debe pensar en reubicar este equipo.

#### **5.6. TRANSFORMADOR T0009 DEL CCM 1 (SUBESTACIÓN CÍTRICO)**

En el momento de las mediciones se encontró que el transformador de esta sección tenía baja carga. Es importante aclarar que a este equipo están acoplados los compresores eléctricos y otros equipos importantes que funcionan esporádicamente, por lo tanto en el momento de ser utilizados las corrientes de carga del transformador se mantendrán dentro de los límites superiores del punto óptimo de operación.

#### **5.7. TRANSFORMADOR T0010 DEL CCM 10 (PLACA)**

Transformador tipo seco con pérdidas muy bajas a plena carga. En el momento de las mediciones se detectó que sus cargas primordiales están fuera de servicio debido al mantenimiento del reactor anaeróbico. Como se tiene historial de los medidores de energía se llegó a la conclusión que sus equipos acoplados a plena carga demandan una corriente de 285 amperios.

Para este transformador se propone anexar las cargas del transformador T0014 Siemens de 300 kVA que generalmente trabaja con cargas muy bajas cuando no está operando el pozo 5.

#### **5.8. TRANSFORMADOR T0011 Y T0012 DEL CCM 6 (CALDERAS SECCIÓN 1)**

Como se mencionó en el punto 2, estos equipos presentan continuos problemas a causa de su año de fabricación, por lo cual se recomienda estudiar su reposición.

#### **5.9. TRANSFORMADOR T0013 TABLERO DE CONTROL (POZO 4)**

Actualmente este transformador se encuentra dentro de los puntos óptimos de operación con unos costos razonables de operación y un factor de utilización apropiado. A este equipo se le debe de mantener las cargas actuales.

#### **5.10. TRANSFORMADOR T0014 DEL CCM 10-A (POZO 5)**

Como se mencionó en el punto 7, este equipo debe quedar fuera de servicio y su carga anexada al transformador tipo seco T0010 del área de control ambiental, ya que su carga principal es el motor del pozo 5 y este funciona aproximadamente 10 días al mes.

El cuidado que se debe de tener al hacer este cambio es el generador de emergencia numero 2, que funciona para el pozo 5.

#### **5.11. TRANSFORMADOR T0015 TABLERO DE CONTROL (POZO 6).**

Actualmente este transformador se encuentra dentro de los puntos óptimos de operación con unos costos razonables de operación y un factor de utilización apropiado, a este equipo se le deben de mantener las cargas actuales.

#### **5.12. TRANSFORMADOR T0016 DEL CCM 7 (ALCOQUIMICA)**

Este transformador actualmente se encuentra con corrientes de carga baja, estando fuera de los puntos óptimos de operación. Se debe de aclarar que en el momento de las mediciones y unos meses atrás este equipo viene trabajando así debido a que algunas de sus cargas esenciales están fuera de servicio ya que la sección de concentración de vinaza no está en línea.

Con los reportes encontrados de los medidores de energía y toma de datos de corriente de carga de estos equipos, se llega a la conclusión que en el momento que se reanude la producción en esta sección su corriente de carga estará dentro de los puntos óptimos de operación y por lo tanto se debe mantener la carga.

#### **5.13. TRANSFORMADOR T0017 DEL CCM 9 (TORRE ENFRIAMIENTO CÍTRICO)**

Este transformador presenta baja cargabilidad con un factor de utilización bajo, esto no implica costos de operación elevados, lo que se debe tener en cuenta son los próximos proyectos en estas áreas de la fábrica y energizarlas de este equipo para así lograr una buena cargabilidad del equipo.

## **6. CONCLUSIONES**

La fábrica de Sucromiles S.A. ubicada en la ciudad de Palmira, cuenta con 4 transformadores que fueron fabricados hace más de 30 años, los cuales se encuentran operando de manera satisfactoria.

Los demás transformadores instalados presentan años de fabricación recientes y al igual que los anteriores se encuentran en muy buenas condiciones de operación.

Durante el período de tiempo que duró el estudio del TLM en la fábrica, se encontró una buena organización de la infraestructura eléctrica, al igual que los centros de control de motores bien definidos por cada transformador, razón que facilitó la investigación de cargas esenciales, medidores de energía y buena cantidad de información acerca de los mantenimientos realizados a cada equipo.

En los transformadores en estudio se encontró que en su mayoría están dentro de los puntos óptimos de operación. Los transformadores con cargas mínimas pueden ser reubicados.

## 7. OBSERVACIONES

En los datos obtenidos en el cuadro resultados TLM, se tiene en cuenta el estudio en particular de 3 transformadores que tienen en la columna de acciones a tomar (Observación), es relevante leer detalladamente cada una de estas 3 observaciones, ya que en el momento de las mediciones los transformadores no estaban con su carga real.

**Observación 1:** transformador T0009 de 1000 kVA que alimenta eléctricamente el CCM1 (Cítrico), una vez terminado el estudio del TLM, para este transformador se determinó que su corriente óptima de carga es de 517 amperios como se muestra en el cuadro anterior, actualmente tiene una corriente de carga de 196 amperios, por lo tanto se hace esta aclaración.

En el momento de la toma de las mediciones se detectaron varios equipos fuera de servicio que representan una carga significativa al transformador, estos equipos son los compresores eléctricos 1203V1,1203V2,1203V3, los cuales tienen una corriente nominal de 188 amperios cada uno, como se muestra en el anexo 2 (punto 6). Estos equipos en el momento de trabajo a plena carga alcanzan una corriente de de 126 amperios, lo cual indica que la corriente de carga del transformador con estos equipos operando es de 574 amperios estando el transformador dentro de los límites del punto óptimo de carga.

**Observación 2:** transformador T0010 de 800 Kva, este equipo alimenta eléctricamente el CCM10 (Placa), la corriente óptima de carga de este equipo es de 639 amperios y en el momento tiene una corriente de carga de 65 amperios, este transformador tiene un manejo especial debido a que la planta de control ambiental está en mantenimiento general durante un largo periodo de tiempo, con los datos obtenidos cuando la planta estaba en funcionamiento normal se anexan a la carga de este transformador 220 amperios que equivalen al funcionamiento normal de los equipos en esta sección.

Como se puede observar la corriente de carga sigue siendo baja (285 amperios), leer las recomendaciones en el capítulo 5.

**Observación 3:** transformador T0016 DE 2500 k VA, este equipo esta asignado al CCM 7 de la planta alcoquímica, como se puede observar en el cuadro de resultados de TLM, la corriente óptima de operación es de 1194 amperios y actualmente la corriente de carga es de 624 amperios, lo cual indicaría que el transformador esta trabajando en vacío, se debe de tener en cuenta que la sección de concentración de vinaza esta actualmente fuera de servicio, si se revisa el cuadro del punto 12 del anexo 2, se puede determinar que los ítem del 1 al 9 corresponden a equipos de esta sección y sus corrientes nominales

sumarian 930 amperios, cuando estos equipos están operando a plena carga se pudo comprobar que las corrientes de carga equivalen a 695 amperios, lo cual indica que este transformador cuando la sección esta en servicio alcanza una corriente de carga de 1319 amperios, leer las recomendaciones en el capítulo 5.

## BIBLIOGRAFÍA

CHAQUEA PARRA, Hernando. Estudio sobre cargabilidad de transformadores. 1988. 163 h. Tesis (Ingeniero Electricista)-- Corporación Universitaria Autónoma de Occidente

HURTADO VALENCIA, Carlos A. Uso Óptimo de Transformadores de Distribución. Santiago de Cali, 1990. 2 v. Tesis (Ingeniero Electricista)-- Corporación Universitaria Autónoma de Occidente

E.E STAFF – M.I.T. Circuitos magnéticos y transformadores. Barcelona: Editorial Reverté. 1980. 697 p.

DEGA GELABERT, Pedro. Transformadores convertidores. Barcelona: Ediciones CEAC, 1974. 925 p.

GUZMAN, Sergio. Cargabilidad óptima de transformadores de distribución. Quintas jornadas nacionales de transmisión y distribución de energía eléctrica, Bogotá: ACIEM, 1988. 128 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas Colombianas de transformadores eléctricos. Vol.1, No.1. Bogotá : Canal Ramírez, 1976. v. 1.

RAS OLIVA Enrique. Transformadores de potencia, de medida y de distribución. 4 ed. Barcelona: Marcombo, 1978. 286 p.

SIEMENS. Transformadores de potencia. Catálogo de productos. Alemania: SIEMENS, 1972. 29 p.

SIEMENS. Transformadores de potencia y distribución. Catálogo de productos. Alemania: SIEMENS, 1975 / 1976. 32 p.

SIEMENS. Transformadores de potencia y distribución. Catálogo de productos. Alemania: SIEMENS, 1992. 29 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Placa de datos característicos de transformadores

Para la toma de esta información se tiene en cuenta las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana. NTC 618. Transformadores. Placa de características.

Esta norma tiene como objetivo establecer la información que debe de aparecer en la placa de características de los transformadores de potencia. En la placa de características aparecerá la siguiente información.

Nombre o razón social del fabricante  
Clase de transformador  
Número de serie dado por el fabricante  
Año de fabricación  
Numero de fases  
Potencia nominal  
Frecuencia nominal

Tensiones nominales  
Corrientes nominales  
Símbolo del grupo de conexión  
Tensión de corto circuito a la corriente nominal (valor medido referido a 75°C)  
Método de refrigeración  
Altitud de diseño  
Temperatura ambiente máxima permisible  
Corriente simétrica de corto circuito  
Duración del cortocircuito máximo permisible  
Clase de aislamiento  
Peso total

A continuación se presenta los datos característicos de placa de los transformadores en estudio.

Placa datos característicos transformador T0003.

Marca	SIEMENS	Nº		Norma	ICONTEC
Pot Nom. KVA	1600	Año	1989	Nivel Aisl. KV	15/1.2
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	462/267	Conexión	Dy5
Corriente Prim. A	70	Corriente Sec. A	2000	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C. %	6.15	Corriente C.C. KA	32.3	Duración C.C. s	3
Peso Total kg	3500	Aceite	Mineral	Temp. Amb. °C	40
Peso Parte Ext. Kg	2100	Volumen Aceite l	905	Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0004.

Marca	GEBRASFO L	Nº		Norma	NBR102959 8
Pot Nom. KVA	1600	Año	1996	Nivel Aisl. KV	
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	460/220	Conexión	
Corriente Prim. A	70	Corriente Sec. A	2008	Refrigeración	AN
Tensión C.C. %	6.2	Corriente C.C. KA		Duración C.C. s	
Peso Total kg	4250	Aceite		Temp. Amb. °C	60
Peso Parte Ext. Kg		Volumen Aceite l		Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0005.

Marca	ABB	Nº		Norma	IEC 726
Pot Nom. KVA	1600	Año	1990	Nivel Aisl. KV	
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	F
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	460	Conexión	Dyn11
Corriente Prim. A	70	Corriente Sec. A	2099	Refrigeración	AN
Tensión C.C. %	6.2	Corriente C.C. KA		Duración C.C. s	2
Peso Total kg		Aceite		Temp. Amb. °C	60
Peso Parte Ext. kg		Volumen Aceite l		Altitud m	1000

. Placa datos característicos transformador T0006.

Marca	ABB	Nº		Norma	IEC 726
Pot Nom. KVA	1600	Año	1990	Nivel Aisl. KV	
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	F
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	460	Conexión	Dyn11
Corriente Prim. A	70	Corriente Sec. A	2099	Refrigeración	AN
Tensión C.C. %	6.2	Corriente C.C. KA		Duración C.C. s	2
Peso Total kg		Aceite		Temp. Amb. °C	60
Peso Parte Ext. kg		Volumen Aceite l		Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0007.

Marca	TPL	Nº		Norma	ICONTEC
Pot Nom. KVA	1600	Año	1987	Nivel Aisl. KV	15/1.2
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	462/267	Conexión	Dy5
Corriente Prim. A	70	Corriente Sec. A	2000	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C. %	5.73	Corriente C.C. KA	1.2	Duración C.C. s	3
Peso Total kg	3936	Aceite	Mineral	Temp. Amb. °C	40
Peso Parte Ext. kg	1570	Volumen Aceite l	1270	Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0008.

Marca		TPL	Nº		Norma	ICONTEC
Pot Nom.	KVA	1000	Año	1979	Nivel Aisl.	KV 15-May
Num. Fases		3	Frecuencia	Hz 60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim.	KV	13.2	Tensión Sec.	V 2500	Conexión	Dy5
Corriente Prim.	A	43.8	Corriente Sec.	A 231	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C.	%	4.48	Corriente C.C.	KA 0.86	Duración C.C.	s 3
Peso Total	kg	3670	Aceite	Mineral	Temp. Amb.	°C 40
Peso Parte Ext.	kg	1591	Volumen Aceite	l 924	Altitud	m 1000

Placa datos característicos transformador T0009.

Marca		FBM	Nº		Norma	ICONTEC
Pot Nom.	KVA	1000	Año	1976	Nivel Aisl.	KV
Num. Fases		3	Frecuencia	Hz 60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim.	KV	13.2	Tensión Sec.	V 462	Conexión	Dy5
Corriente Prim.	A	43.8	Corriente Sec.	A 1251	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C.	%	5.85	Corriente C.C.	KA	Duración C.C.	s
Peso Total	kg	3700	Aceite	Mineral	Temp. Amb.	°C 40
Peso Parte Ext.	kg		Volumen Aceite	l 1100	Altitud	m 1000

Placa datos característicos transformador T0010.

Marca		GEAFOL	Nº	9490174	Norma	NBR/10295/88	
Pot Nom.	KVA	800	Año	1995	Nivel Aisl.	KV	
Num. Fases		3	Frecuencia	Hz	60	Clase Aisl.	
Tensión Prim.	KV	13.2	Tensión Sec.	V	460/266	Conexión	Dy5
Corriente Prim.	A	35	Corriente Sec.	A	1004	Refrigeración	AN
Tensión C.C.	%	5.25	Corriente C.C.	KA		Duración C.C.	s
Peso Total	kg	2550	Aceite		Temp. Amb.	°C	40
Peso Parte Ext.	kg		Volumen Aceite	l	Altitud	m	1000

Placa datos característicos transformador T0011.

Marca		ZENNARO	Nº	4678	Norma			
Pot Nom.	KVA	700	Año	1965	Nivel Aisl.	KV		
Num. Fases		3	Frecuencia	Hz	60	Clase Aisl.	Ao	
Tensión Prim.	KV	13.2	Tensión Sec.	V	462	Conexión	Dy11	
Corriente Prim.	A	30.6	Corriente Sec.	A	875	Refrigeración	ONAM	
Tensión C.C.	%	5.18	Corriente C.C.	KA		Duración C.C.	s	
Peso Total	kg	2856	Aceite	Mineral	Temp. Amb.	°C	40	
Peso Parte Ext.	kg		Volumen Aceite	l	1501	Altitud	m	1000

Placa datos característicos transformador T0012.

Marca	ZENNARO	Nº	4679	Norma	
Pot Nom. KVA	700	Año	1965	Nivel Aisl. KV	
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	462	Conexión	Dy11
Corriente Prim. A	30.6	Corriente Sec. A	875	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C. %	5.18	Corriente C.C. KA		Duración C.C. s	
Peso Total kg	2856	Aceite	Mineral	Temp. Amb. °C	40
Peso Parte Ext. kg		Volumen Aceite l	1501	Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0013.

Marca	PAD MOUNTED	Tipo	ckoum 534 3s15	Norma	ICONTEC
Pot Nom. KVA	300	Año	1995	Nivel Aisl. KV	15/1.2
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	456	Conexión	Dy5
Corriente Prim. A	13.12	Corriente Sec. A	380	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C. %	4.1	Corriente C.C. KA		Duración C.C. s	2
Peso Total kg	1095	Aceite	Mineral	Temp. Amb. °C	40
Peso Parte Ext. kg	605	Volumen Aceite l	300	Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0014.

Marca	PAD MOUNTED	Tipo	ckoum 5343s/15	Norma	ANSI
Pot Nom. KVA	300	Año	1996	Nivel Aisl. KV	
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	476/275	Conexión	Dyn5
Corriente Prim. A	13.1	Corriente Sec. A	363.9	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C. %	4	Corriente C.C. KA	9.55	Duración C.C. s	2
Peso Total kg	1805	Aceite	Mineral	Temp. Amb. °C	40
Peso Parte Ext. kg	585	Volumen Aceite l	525	Altitud m	1000

Placa datos característicos transformador T0015.

Marca	SIEMENS	Tipo	cboum 383 s/15	Norma	ICONTEC
Pot Nom. KVA	150	Año	1996	Nivel Aisl. KV	
Num. Fases	3	Frecuencia Hz	60	Clase Aisl.	Ao
Tensión Prim. KV	13.2	Tensión Sec. V	452/261	Conexión	Dyn5
Corriente Prim. A	6.56	Corriente Sec. A	191.6	Refrigeración	ONAM
Tensión C.C. %	3	Corriente C.C. KA	6.39	Duración C.C. s	1.1
Peso Total kg	1080	Aceite	Mineral	Temp. Amb. C	40
Peso Parte Ext. kg	310	Volumen Aceite l	125	Altitud m	1000



Placa datos característicos transformador T0016.

Marca		SIEMENS	Tipo	DT2000	Norma	ICONTEC
Pot Nom.	KVA	2500	Año	2002	Nivel Aisl.	KV
Num. Fases		3	Frecuencia	Hz	60	Clase Aisl.
Tensión Prim.	KV	13.2	Tensión Sec.	V	460	Conexión
Corriente Prim.	A	109.3	Corriente Sec.	A	3138	Refrigeración
Tensión C.C.	%	7.2	Corriente C.C.	KA	54.29	Duración C.C.
Peso Total	kg	4295	Aceite	Mineral	Temp. Amb.	°C
Peso Parte Ext.	kg	2344	Volumen Aceite	l	945	Altitud
						m
						1000

Placa datos característicos transformador T0017.

Marca		SIEMENS	Tipo	DT2000	Norma	ICONTEC
Pot Nom.	KVA	2500	Año	2002	Nivel Aisl.	KV
Num. Fases		3	Frecuencia	Hz	60	Clase Aisl.
Tensión Prim.	KV	13.2	Tensión Sec.	V	460	Conexión
Corriente Prim.	A	109.3	Corriente Sec.	A	3138	Refrigeración
Tensión C.C.	%	7.2	Corriente C.C.	KA	54.29	Duración C.C.
Peso Total	kg	4295	Aceite	Mineral	Temp. Amb.	°C
Peso Parte Ext.	kg	2344	Volumen Aceite	l	945	Altitud
						m
						1000

## Anexo 2. Cargas esenciales transformadores

Se identificaron los equipos relevantes que tengan funcionamiento continuo y además de esto que representen una carga significativa a los transformadores, esto con el fin que en el momento de los resultados finales del TLM, se pueda determinar soluciones claras para una optimización de los equipos.

Las cargas más representativas se describen a continuación indicando el transformador que las alimentan y el centro de control de motores al cual pertenecen.

### 1. Cargas esenciales transformador Siemens T0003.

Cargas relacionadas con la subestación evaporador cristalización que corresponden al transformador Siemens de 1600 kVA. Conexionadas del CCM2.

#### Cargas esenciales transformador T0003.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	8S2	40	48	Centrifuga 2 mercone
2	8S3	30	38	Centrifuga 3 mercone
3	9V5	40	46	Ventilador secador de lecho fluorizado zona 1 y 2
4	9V6	40	46	Ventilador secador de lecho fluorizado zona 3
5	9V7	40	46	Ventilador secador de lecho fluorizado zona 4
6	9V11	40	46	Ventilador tiro forzado cooler torre de empaque
7	802P4	150	176	Bomba retorno agua de torre
8	802P5	150	176	Bomba retorno agua de torre
9	02-8V3	25	30	Ventilador tiro forzado cooler citrato
10	02-8V4	20	25	Ventilador tiro inducido colector mangas, citrato

### 2. Cargas esenciales transformador Siemens, T0004.

Cargas relacionadas con la subestación vinagre que corresponden al transformador Siemens de 1600 kVA. Conexionadas del CCM6-A.

Cargas esenciales transformador T0004.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	803W13	60	69	Torre de enfriamiento modulo 1 torre alcoquímica
2	803W14	125	145	Torre de enfriamiento modulo 2 torre alcoquímica

3. Cargas esenciales transformador ABB, T0005.

Cargas relacionadas con la subestación de servicios que corresponden al transformador ABB de 1600 kVA. Conexionadas del CCM4

Cargas esenciales transformador T0005.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	804P1	60	75	Bomba recirculado de torre 803W1
2	804P2	60	75	Bomba recirculado de torre 803W2
3	804P3	60	75	Bomba recirculado de torre 803W1-2
4	903P15	75	84	Bomba alimento agua a caldera 9
5	903P16	75	84	Bomba alimento agua a caldera 9
6	1403V10	500	536	Compresor aire a fermentación
7	1403V13	100	157	Compresor aire de instrumentos
8	1403V15	100	157	Compresor aire de instrumentos

4. Cargas esenciales transformador ABB, T0006.

Cargas relacionadas con la subestación de purificación que corresponden al transformador ABB de 1600 kVA. Conexionadas del CCM3.

Cargas esenciales transformador T0006.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	5V3	125	148	Bomba vació filtro micelio
2	5V4	75	94	Bomba vació filtro micelio
3	5V7	40	46	Ventilador secador flash
4	6V11	100	122	Bomba vació filtro sulfato
5	6V12	100	122	Bomba vació filtro precapa 2
6	6V14	50	56	Bomba vació filtro sulfato
7	6V15	60	66	Bomba vació filtro sulfato
8	6V18	60	66	Bomba vació filtro 1 DCC
9	6V28	50	59	Bomba vació filtro precapa 3
10	6V30	75	94	Bomba vació filtro precapa 4
11	6V32	125	148	Bomba vació filtro TCC
12	05-4V2	100	120	Ventilador aire secado yeso
13	05-4V3	100	120	Extractor aire colector polvo

5. Cargas esenciales transformador TPL, T0007.

Cargas relacionadas con la subestación de separación de sólidos que corresponden al transformador TPL de 1600 kVA. Conexionadas del CCM5.

Cargas esenciales transformador T0007.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	103V3	60	72	Soplador aire cubas alcoquímica
2	205V4	75	98	Compresor para carbonato
3	1001V2	75	92	Compresor 1 para CO2
4	1001V3	75	98	Compresor 2 para CO2
5	1001V5	75	92	Ventilador aire a lavador de CO2
6	1003V1	250	325	Compresor principal carbonato de calcio

6. Cargas esenciales transformador FBM, T0009.

Cargas relacionadas con la subestación cítrico que corresponden al transformador FBM de 1000 kVA. Conexionadas del CCM1.

Cargas esenciales transformador T0009.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	4P4	20	26	Bomba para descarga de fermentadores
2	7P21	75	84	Bomba recirculado cristales de cítrico
3	7P33	36	46	Bomba recirculado cristales de citrato
4	104P6	48	62	Bomba reimpulso agua de pozos
5	104P7	48	62	Bomba reimpulso agua de pozos
6	1203V1	150	188	Compresor A para aire a fermentación
7	1203V2	150	188	Compresor B para aire a fermentación
8	1203V3	150	188	Compresor C para aire a fermentación
9	02-6P1	25	32	Bomba recirculado cristales de citrato
10	02-7S1	30	40	Centrifuga de canasta

7. Cargas esenciales transformador Siemens, T0010.

Cargas relacionadas con la subestación placa que corresponden al transformador Geafol de 800 kVA. Conexionadas del CCM10.

Cargas esenciales transformador T0010.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	108P1	250	287	Bomba eléctrica red contra incendios
2	1513V1	60	71	Soplador biogás 1
3	1513V2	60	71	Soplador biogás 2
4	1513V3	60	71	Soplador biogás 3

8. Cargas esenciales transformadores Zennaros, T0011-T0012.

Cargas relacionadas con la subestación calderas sección 1, que corresponden a los transformadores Zennaros de 700 KVA cada uno. Conexiónadas del CCM6.

Cargas esenciales transformador T0011-T0012.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	903P6	50	56	Bomba alimento agua de calderas sección 1
2	903P7	50	56	Bomba alimento agua de calderas sección 1
3	903P12	60	68	Bomba alimento agua de calderas 7 y 8
4	903P13	60	68	Bomba alimento agua de calderas 7 y 8
5	903P14	60	68	Bomba alimento agua de calderas 7 y 8

9. Cargas esenciales transformador Siemens, T0013.

Cargas relacionadas con la subestación del pozo 4, que corresponden al transformador Pad Mount de 300 KVA. Conexiónadas al CCM8.

Cargas esenciales transformador T0013.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	POZO 4	125	140	Bomba toma de agua planta en general

10. Cargas esenciales transformador Siemens, T0014.

Cargas relacionadas con la subestación del pozo 5, que corresponden al transformador Pad Mount de 300 kVA. Conexiónadas al tablero general.

Cargas esenciales transformador T0014.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	POZO 5	100	122	Bomba toma de agua planta en general

11. Cargas esenciales transformador, Siemens T0015.

Cargas relacionadas con la subestación del pozo 6, que corresponden al transformador Pad Mount de 150 kVA. Conexiónadas al tablero general.

Cargas esenciales transformador T0015.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
2	POZO 6	100	120	Bomba toma de agua planta en general

12. Cargas esenciales transformador, Siemens T0016.

Cargas relacionadas con la subestación alcohímica principal, que corresponden al transformador Siemens de 2500 kVA. Conexiónadas al CCM7.

Cargas esenciales transformador T0016.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	107P1	100	131	Bomba recirculado concentración de vinaza efecto 1
2	107P2	100	131	Bomba recirculado concentración de vinaza efecto 2
Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
3	107P3	100	131	Bomba recirculado concentración de vinaza efecto 3

4	107P4	100	131	Bomba recirculado concentración de vinaza efecto 4
5	107P5	100	131	Bomba recirculado finisher 107W5-6
6	107P13	100	131	Bomba para limpieza química
7	107V1	40	48	Bomba para vació 1 concentración de vinaza
8	107V2	40	48	Bomba para vació 2 concentración de vinaza
9	107V3	40	48	Bomba para vació 3 concentración de vinaza
10	803W17	60	72	Torre de enfriamiento de agua alcoquímica
11	804P9	150	174	Bomba recirculado torre 803W13
12	804P10	150	174	Bomba recirculado torre 803W13
13	804P11	150	174	Bomba recirculado torre 803W13
14	804P17	150	176	Bomba recirculado torre 803W17
15	804P18	150	176	Bomba recirculado torre 803W17
16	POZO 7	150	171	Bomba toma de agua planta en general

### 13. Cargas esenciales transformador, Siemens T0017.

Cargas relacionadas con la subestación Torre de enfriamiento cítrico, que corresponden al transformador Siemens de 2500 KVA. CCM9.

#### Cargas esenciales transformador T0017.

Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
1	803W6	60	69	Modulo 1 torre de enfriamiento cítrico
2	803W9	60	69	Modulo 2 torre de enfriamiento cítrico
3	803W18	100	115	Modulo 5 torre de enfriamiento cítrico
4	804P5	150	176	Bomba 1 recirculado modulo 1
Ítem	Motor Equipo	Potencia en Hp	Corriente Nominal	Función en planta
5	804P6	150	176	Bomba 2 recirculado modulo 1



6	804P7	150	176	Bomba 1 recirculado modulo 2
7	804P8	150	176	Bomba 2 recirculado modulo 2
8	804P15	150	176	Bomba 1 recirculado modulo 3 y 4
9	804P16	150	176	Bomba 2 recirculado modulo 3 y 4
10	804P19	275	323	Bomba 1 recirculado modulo 5
11	804P20	275	323	Bomba 2 recirculado modulo 5

### **Anexo 3. Curvas de mediciones y consumos de energía**

En este anexo se presentan las herramientas que fueron utilizadas para hacer mediciones de cargabilidad de los transformadores estudiados.

#### 1. Curvas de mediciones.

Los cálculos expuestos en los capítulos 1 y 3 fueron tomados de las curvas que se anexan a continuación y hechos con analizadores de redes, a cada uno de los transformadores en estudio, a manera de información se anexan 3 curvas importantes tomadas al transformador T0005 del CCM 4, sin las cuales no se hubiese podido hacer el estudio de cargabilidad.

De igual manera se consideraron las curvas de mediciones para el estudio de los transformadores restantes.

##### - Curvas de corrientes de línea

Esta curva indica el comportamiento de la corriente de carga por cada fase durante el tiempo de la medición, estas curvas fueron primordiales para el estudio del TLM, ya que con los valores obtenidos se desarrollo parte de los capitulo 1 y el capitulo 3.

##### - Curvas de potencias trifásicas

Como se puede observar en la ilustración 2 aparecen tres curvas de potencias trifásicas donde cada una tiene una interpretación diferente:

Curva de potencia activa: esta curva nos indica la carga real a la cual esta siendo sometido el transformador.

Curva de potencia aparente: con los datos obtenidos de esta curva se calculo el factor de utilización de cada transformador estudiado.

Curva de potencia reactiva: para el desarrollo del TLM, no se tuvo en cuenta esta curva, pero es de suma importancia para un estudio de compensación con bancos de condensadores para mejorar el factor de potencia.

- Curvas de tensiones de línea

En estas curvas se puede observar el desbalance de tensiones en cada transformador al igual que el comportamiento de de tensión dependiendo la carga del equipo.

Ilustración 1. Corrientes de línea transformador T0005 del CCM 4 (Servicios)

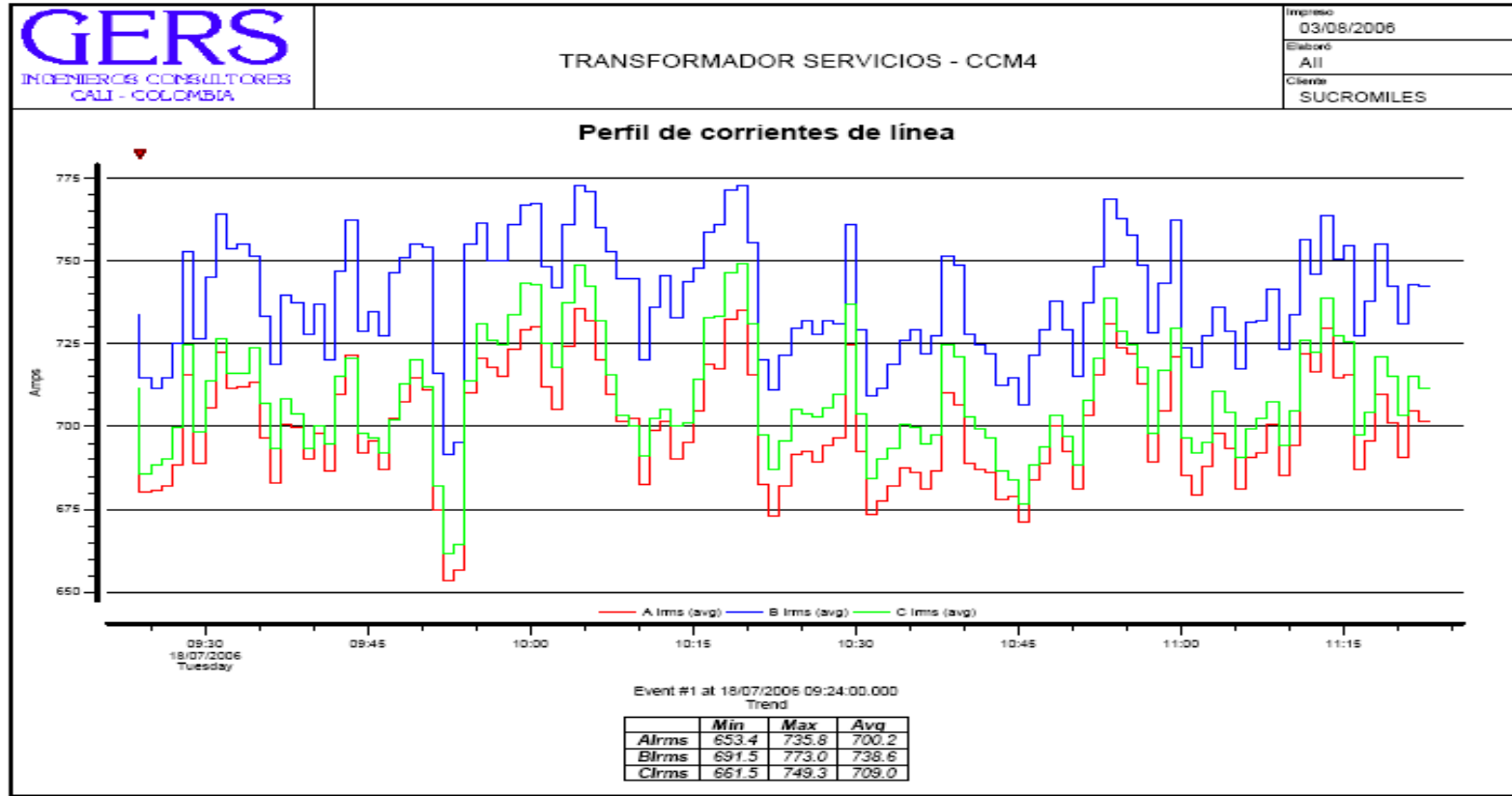


Ilustración 2. Potencias trifásicas transformador T0005 del CCM 5 (Servicios)

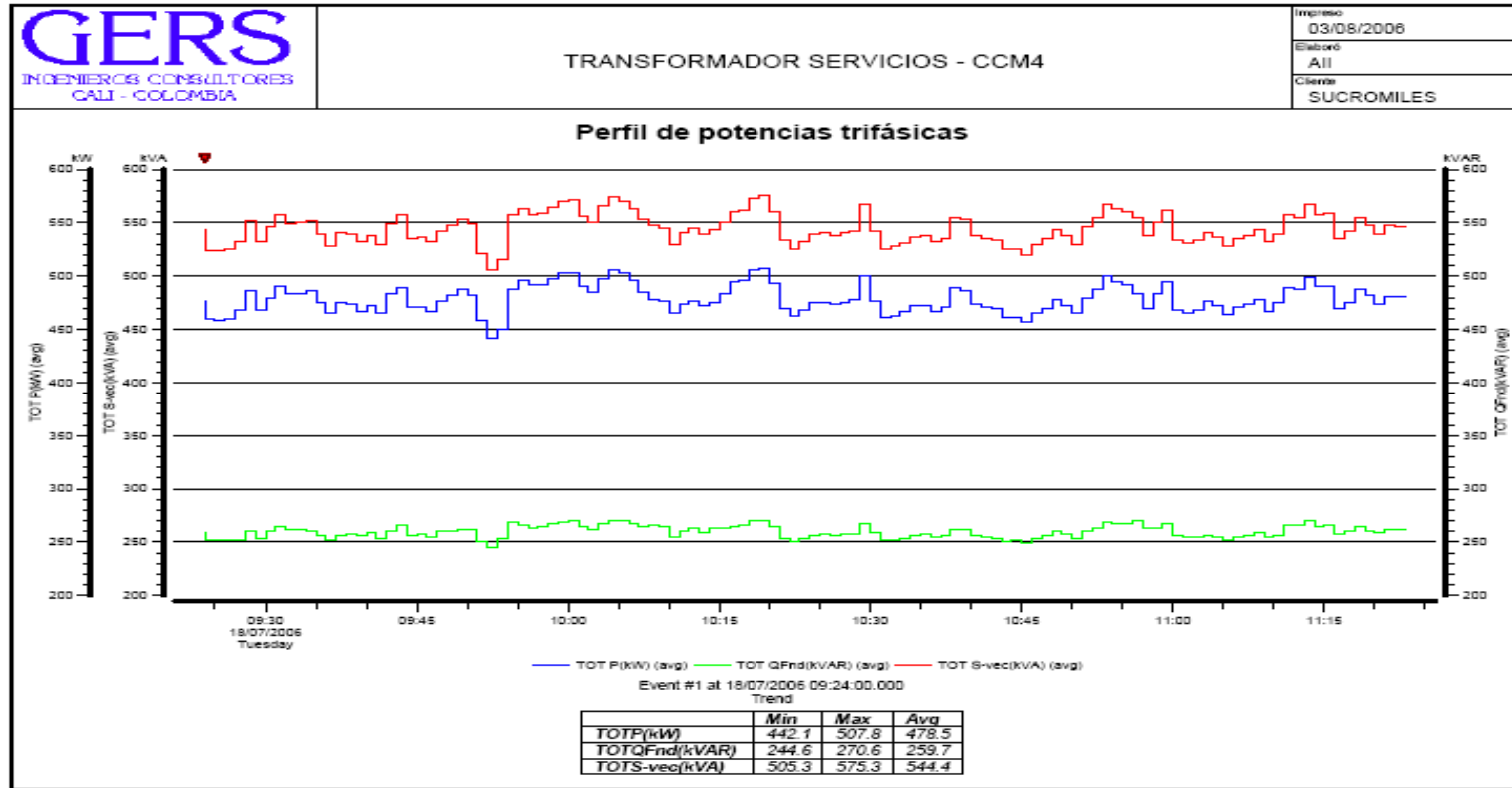
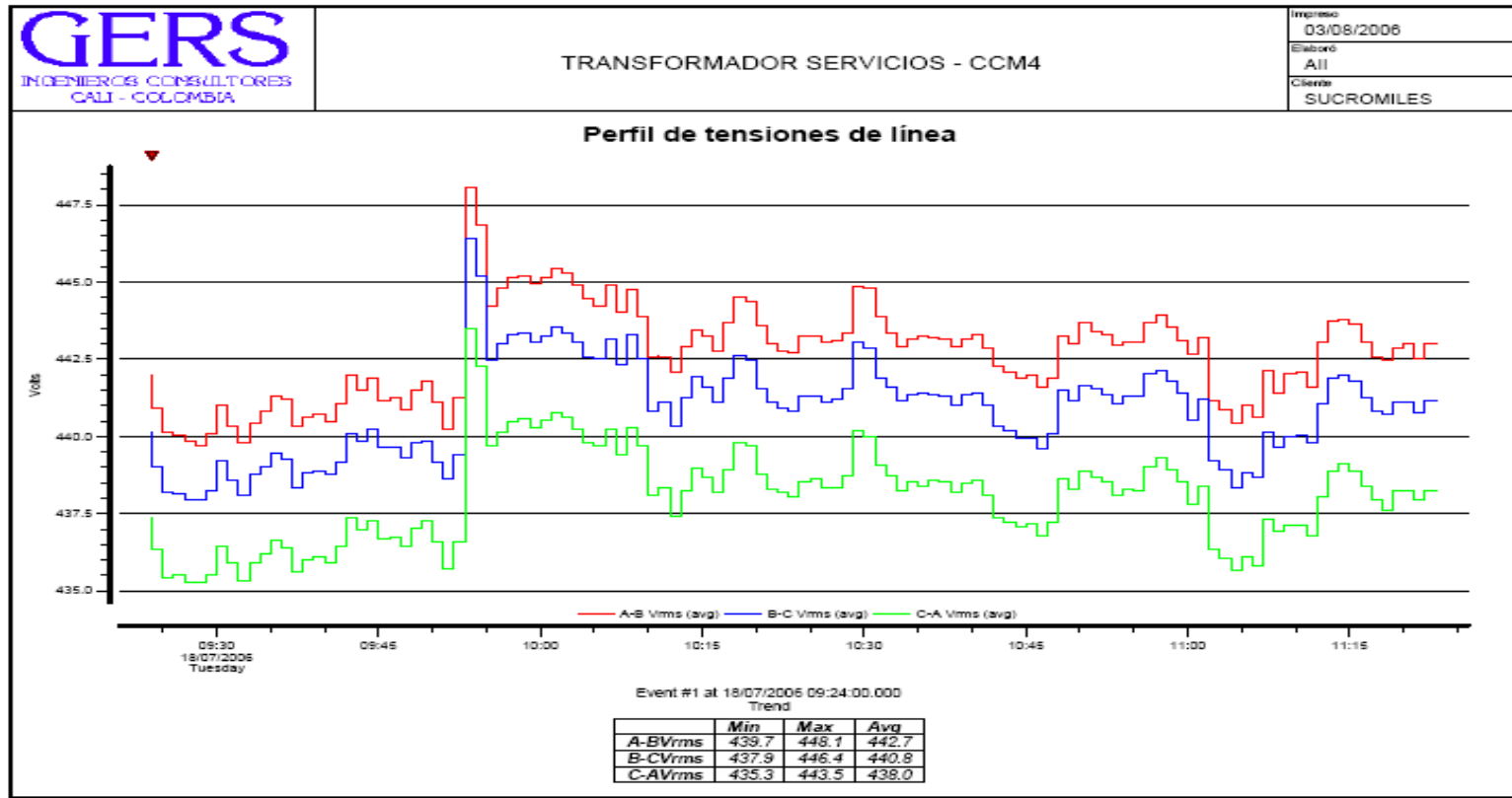


Ilustración 3. Tensiones de línea transformador T0005 del CCM 4 (Servicios)



## 2. Consumos de energía.

A manera de información se presenta los datos tomados de los medidores de energía de los meses de mayo, junio y julio de 2006 donde se puede observar el comportamiento de los consumos por día y un promedio mensual.

Con los datos de los medidores de energía también se puede realizar el estudio de la cargabilidad de los transformadores, ya que de ellos se puede determinar la corriente de carga del transformador y al igual que las curvas de corriente de línea se pueden desarrollar los puntos de los capítulo 1 y 3 del estudio del TLM.

Consumos energía mes de Mayo de 2006 en la fábrica de Sucromiles en Palmira.

CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008-T0009	T0003	T0005	T0006	T0010-T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY-CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10-POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
MAYO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
1	240	3320	12600	11960	14640	1600	2550	16000	43200
2	280	3440	13240	11640	14240	1800	2500	16100	42800
3	240	3560	13200	10560	13420	3000	1400	15800	42500
4	240	3600	13440	11400	15680	1200	2700	15230	39480
5	240	3560	13200	10560	13420	3000	1400	15100	38700
6	280	3480	13440	10680	14660	3100	2100	15100	39500
7	240	3480	11560	10880	13860	2500	1420	15000	37600
8	240	3280	13800	11080	13540	1400	1280	15900	38400
9	240	3400	13120	10560	12740	1200	3900	15600	37800
10	240	3240	12720	11920	8500	1100	4200	16000	43100
11	240	3320	12600	11960	8640	1600	1280	16000	43200
12	280	3440	13240	11640	14240	1400	1280	15800	42800
13	240	3680	13280	11800	16580	1000	2500	16100	43500
14	240	3600	13440	11400	15680	1200	2700	15800	42500
15	240	4080	14440	12160	16740	1500	1200	16200	42900
16	240	5000	14080	11600	17300	1700	3400	16000	43000
17	240	3760	13480	11440	16300	1400	2000	15800	42600
18	280	3600	13440	11360	15580	1500	4000	14900	42600
19	240	3720	15000	12080	9480	1400	2700	15500	43100
20	240	4520	14760	11880	14500	1500	1600	16000	42800
21	240	4200	14360	11520	17400	1600	3000	15800	42600
22	240	4840	14160	11800	15340	1600	3800	16100	42800
23	240	2760	9000	10840	12780	1500	3800	14000	42800



CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008-T0009	T0003	T0005	T0006	T0010-T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY-CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10-POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
MAYO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
24	280	3520	13440	10880	15980	1600	3900	16000	43200
25	240	4440	13520	10800	18600	1700	3800	15800	38400
26	240	5640	14800	9880	17780	1600	2500	15500	38400
27	240	3520	14840	9320	12900	1700	1300	15300	42700
28	240	3560	14680	9720	12300	1700	2200	16200	43000
29	240	4080	13120	9200	14700	1600	2200	16200	43200
30	240	3840	9120	9120	14060	1600	3800	16000	42800
31	240	3160	11040	9360	17680	2500	3500	16100	43100
TOTAL	7640	116640	410160	341000	4E+05	52800	79910	486930	1295080
PROMEDIO	246	3763	13231	11000	14492	1703	2578	15707	41777
MÁXIMO	280	5640	15000	12160	18600	3100	4200	16200	43500
MÍNIMO	240	2760	9000	9120	8500	1000	1200	14000	37600

Consumos energía mes de Junio de 2006 en la fábrica de Sucromiles en Palmira.

CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008-T0009	T0003	T0005	T0006	T0010-T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY-CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10-POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
JUNIO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
1	240	4080	9920	9160	17140	1300	3600	15600	43600
2	240	4160	11520	9360	17460	1300	1200	16100	43300

3	280	4280	12480	9280	19920	1300	1300	16100	49900
CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008- T0009	T0003	T0005	T0006	T0010- T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY- CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10- POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
JUNIO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
4	240	3680	13800	9960	17200	3300	1600	16100	43400
5	280	5600	11280	10080	17280	3100	3800	15900	41600
6	240	4720	11720	10080	17800	3000	3900	15600	42500
7	240	6320	11880	9400	15000	3000	3900	16300	43400
8	240	5240	12760	10000	19620	3100	2700	15800	43200
9	240	4160	12560	13240	19020	2200	1200	15000	41800
10	280	4280	12680	8760	13860	1400	1300	16700	42400
11	240	4400	12160	9280	17900	1500	1800	16000	43400
12	240	4360	12600	9240	18520	1500	2400	16000	43400
13	240	4080	9920	9160	17140	1300	3600	15600	43600
14	240	4160	11520	9360	17460	1300	1200	16200	43300
15	280	4280	12480	9280	19940	1300	1400	16100	42900
16	240	3960	12560	9280	16740	1600	1400	16000	41800
17	240	4440	12120	9280	16420	1300	1600	16100	44000
18	240	5960	12080	9360	16180	1400	3600	16100	43100
19	240	4720	11960	8920	12440	1300	3800	16300	42700
20	240	4320	10960	9280	14300	1200	3000	16300	42800
21	240	3680	11280	9440	11820	1300	3000	16400	42700
22	240	4680	11560	9680	16460	1300	1900	16400	42700
23	280	3360	12360	9520	16500	1400	3700	16500	42600
24	240	4120	12240	9080	15820	1300	3800	16300	42900
25	240	3840	12080	9000	12520	800	3500	16000	42700
26	240	4400	12240	9160	15540	1100	1600	16100	42700

27	240	7480	10960	9680	16920	1400	3400	16600	44000
28	240	7400	11000	8760	10080	800	1600	15200	41700
CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008- T0009	T0003	T0005	T0006	T0010- T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY- CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10- POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
JUNIO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
29	280	4160	12000	9920	16380	800	1200	15900	42800
30	240	3600	11720	11120	13200	900	1200	15800	42600
TOTAL	7440	137920	356400	287120	486580	47800	73200	481100	1293500
PROMEDIO	248	4597	11880	9571	16219	1593	2440	16037	43117
MÁXIMO	280	7480	13800	13240	19940	3300	3900	16700	49900
MÍNIMO	240	3360	9920	8760	10080	800	1200	15000	41600

Consumos energía mes de Julio de 2006 en la fábrica de Sucromiles en Palmira.

CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008- T0009	T0003	T0005	T0006	T0010- T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY- CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10- POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
JULIO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
1	240	3520	11120	11760	16700	800	4000	15800	42300
2	280	3480	11240	11840	16260	700	4000	16200	42900
3	240	3280	11480	10320	14700	1100	3700	16000	41800
4	240	3400	12240	10960	11440	1000	3700	16100	43200
5	240	3680	11960	11920	15040	1200	4000	15600	42400
6	240	3520	12280	11800	13360	1400	3500	15700	42700
7	240	3200	9520	11280	14060	1500	3400	14800	42800
8	240	4320	11080	11800	16020	1800	4000	15500	42500
9	240	4240	11760	12120	18160	1500	2800	15700	42600
10	240	4040	12320	12200	17240	2600	1600	16100	43000
11	280	4120	12960	12200	16740	3200	3600	16300	42900
12	240	3840	12560	11920	14000	2500	2900	15900	42600
13	240	6240	12640	11880	13540	1600	2000	16300	42800
14	240	5800	12080	11760	16800	800	4200	16000	42700
15	240	5440	10480	11480	15280	5600	3600	15600	42500
16	240	4200	10760	11440	18760	3200	3600	15200	42600
17	240	5600	11960	11600	17400	2200	3900	14700	31400
18	240	5610	12240	11520	17260	1900	2000	14800	42200
19	240	5500	12680	13480	18280	1600	4000	14800	42000
20	280	6680	12400	12200	17500	1600	2800	15400	42000

21	240	6200	12440	11480	16800	1600	5900	16000	43200
22	280	4400	9920	11800	14200	1500	900	15800	43400
23	240	6320	11160	11680	16420	1500	900	15600	42700
CELDA	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
TRANSF.	T0002	T0008- T0009	T0003	T0005	T0006	T0010- T0014	T0007	T0017	T0018
CCM	TABLERO	JOY- CCM1	CCM2	CCM4	CCM4	CCM10- POZO 5	CCM5	CCM9	TABLERO
JULIO	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d	Kwh/d
24	240	6040	12280	11800	15880	1600	4000	15800	42900
25	240	5120	12520	11800	15260	1600	3700	15800	43400
26	240	6080	11120	11960	17500	1600	3300	15500	43800
27	240	3800	11960	11320	17840	1500	900	15800	44900
28	240	4480	11840	11680	16780	1500	800	16300	41300
29	280	4320	12280	10720	19740	1400	900	17000	43400
30	240	5240	11240	11025	15000	1600	900	15500	42800
31	240	4360	12800	11280	16800	1500	900	16200	43100
TOTAL	7640	146070	365320	362025	500760	54700	90400	487800	1314800
PROMEDIO	246	4712	11785	11678	16154	1765	2916	15735	42413
MAXIMO	280	6680	12960	13480	19740	5600	5900	17000	44900
MINIMO	240	3200	9520	10320	11440	700	900	14700	31400

#### **Anexo 4. Ilustraciones de eficiencias en transformadores**

Las siguientes gráficas fueron realizadas con los datos obtenidos de las tablas de cargabilidad de los transformadores, en ellas se encuentra la eficiencia óptima, real y a plena carga de los equipos en estudio.

Es fácil observar el comportamiento de las cargas y revisar que tan distantes pueden llegar a estar en determinado momento, la gran cantidad de mediciones en determinados instantes de tiempo hace prever que las cargas en los diferentes transformadores instalados en la fábrica de Sucromiles son muy constantes, lo que indica los resultados confiables del estudio del TLM.

**Ilustración 4. Eficiencia transformador T0003 del CCM 2 (Evaporador cristalizador)**

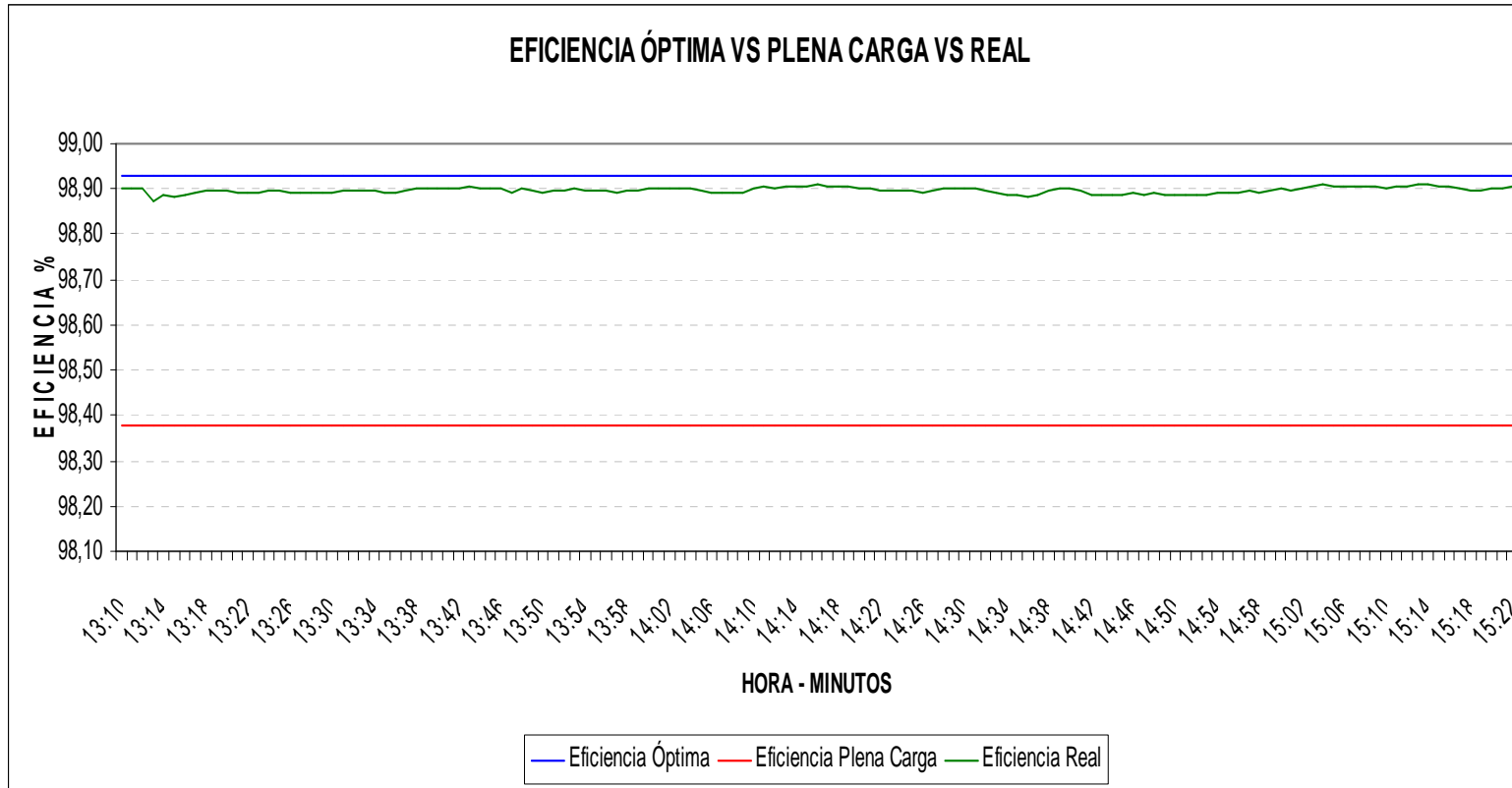
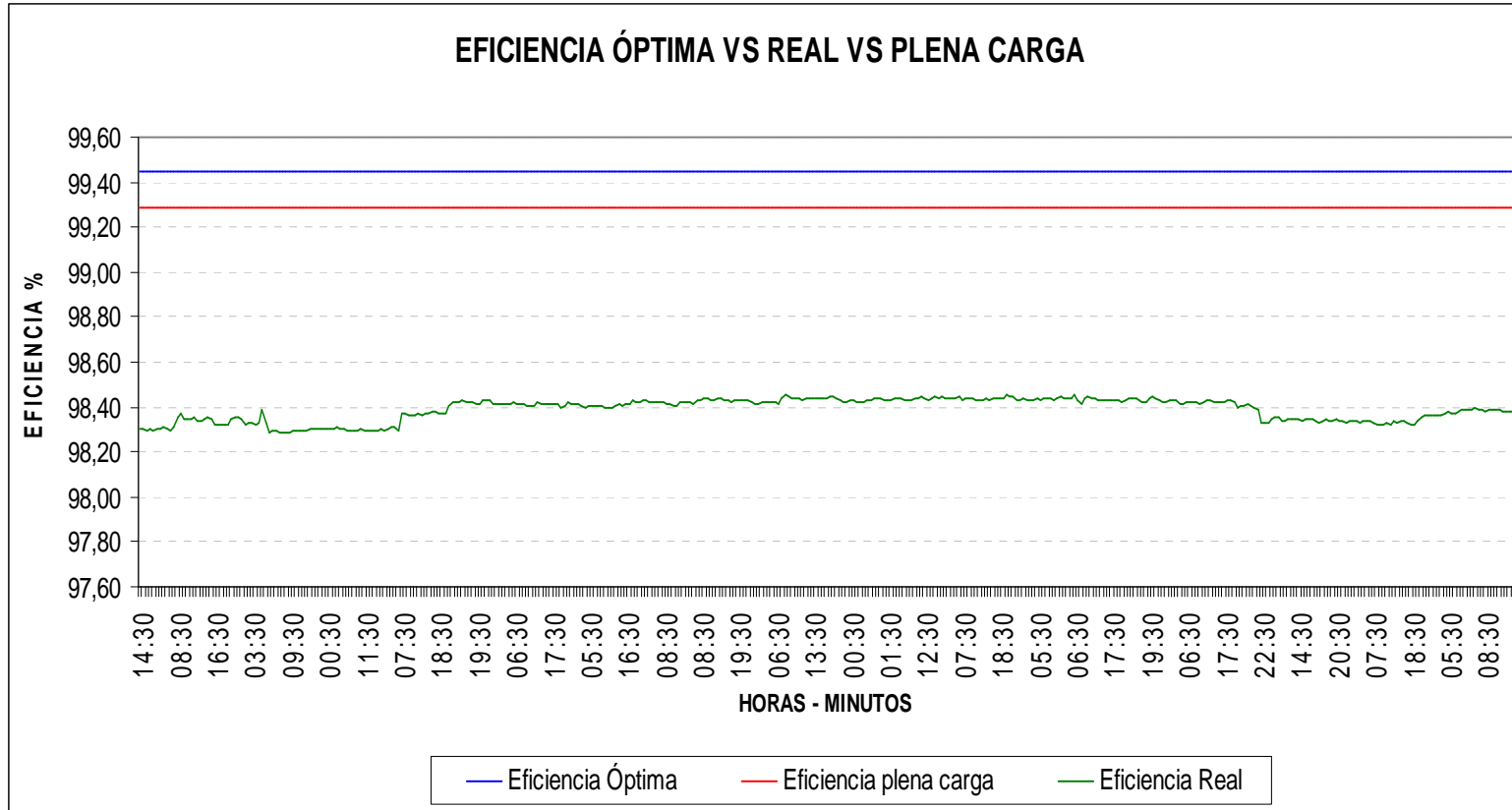
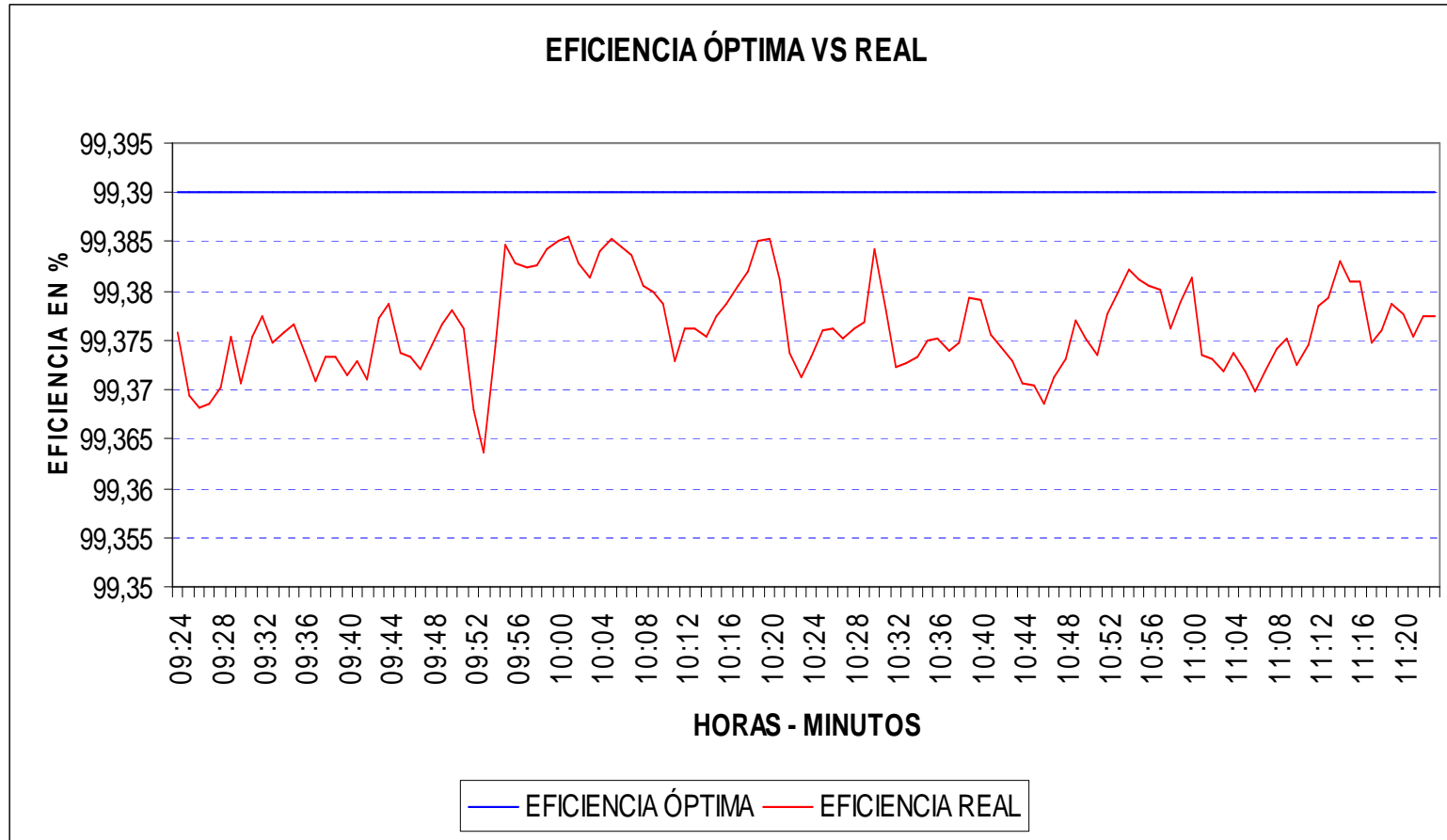


Ilustración 5. Eficiencia transformador T0004 del CCM 7-A (Torre enfriamiento alcoquímica).

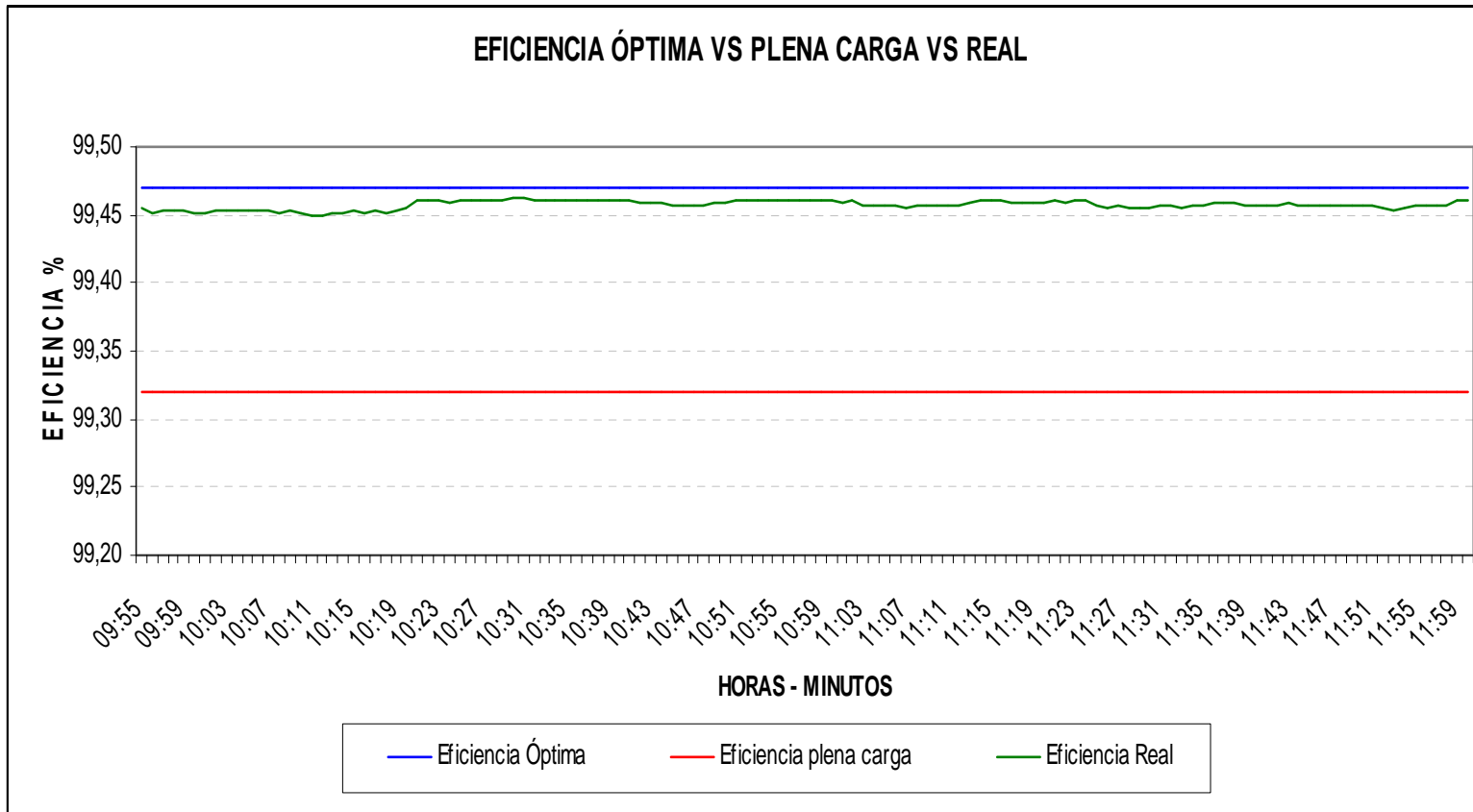




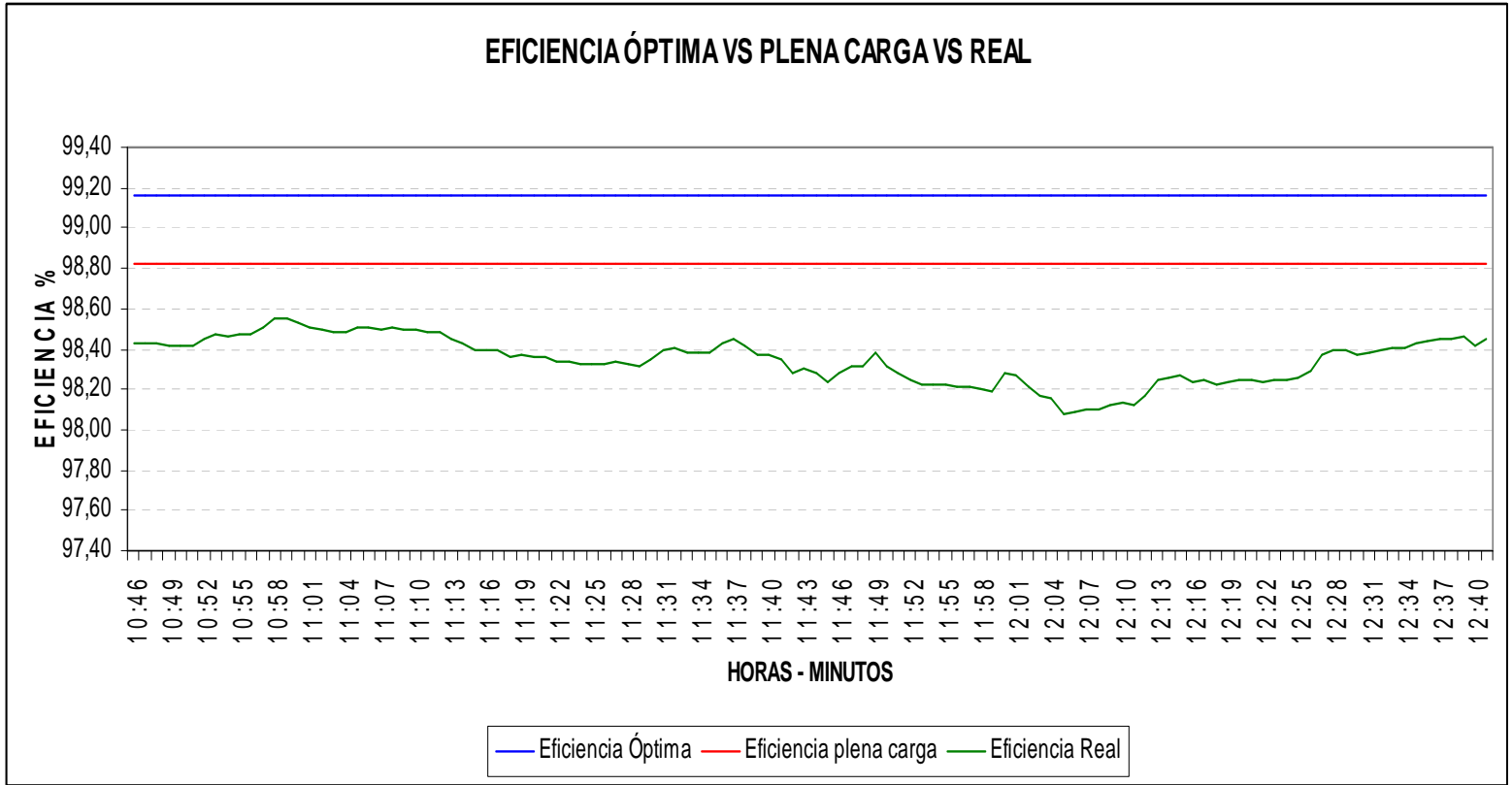
**Ilustración 6. Eficiencias transformador T0005 del CCM 4 (Servicios)**



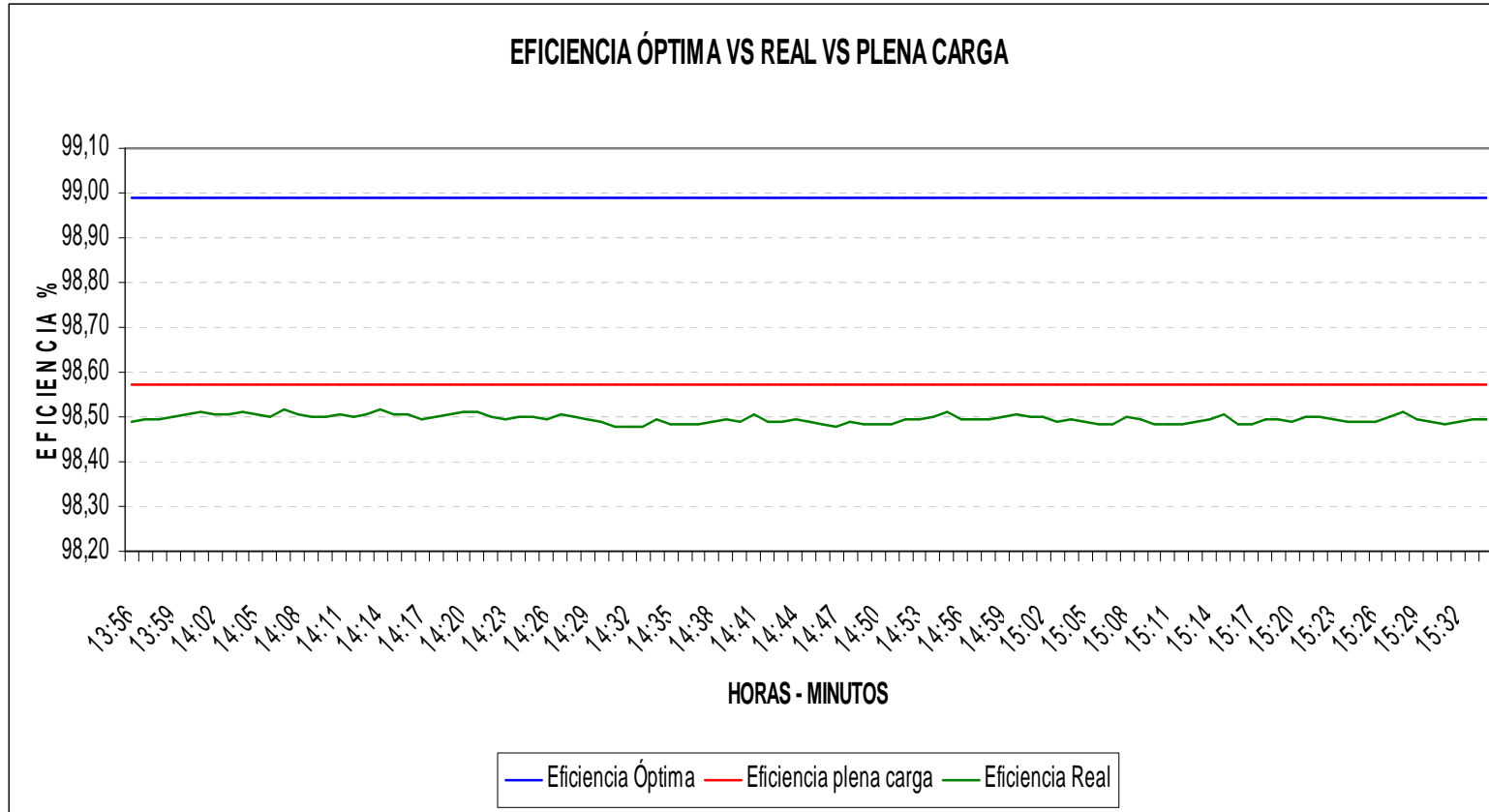
**Ilustración 7. Eficiencia transformador T0006 del CCM3 (Purificación)**



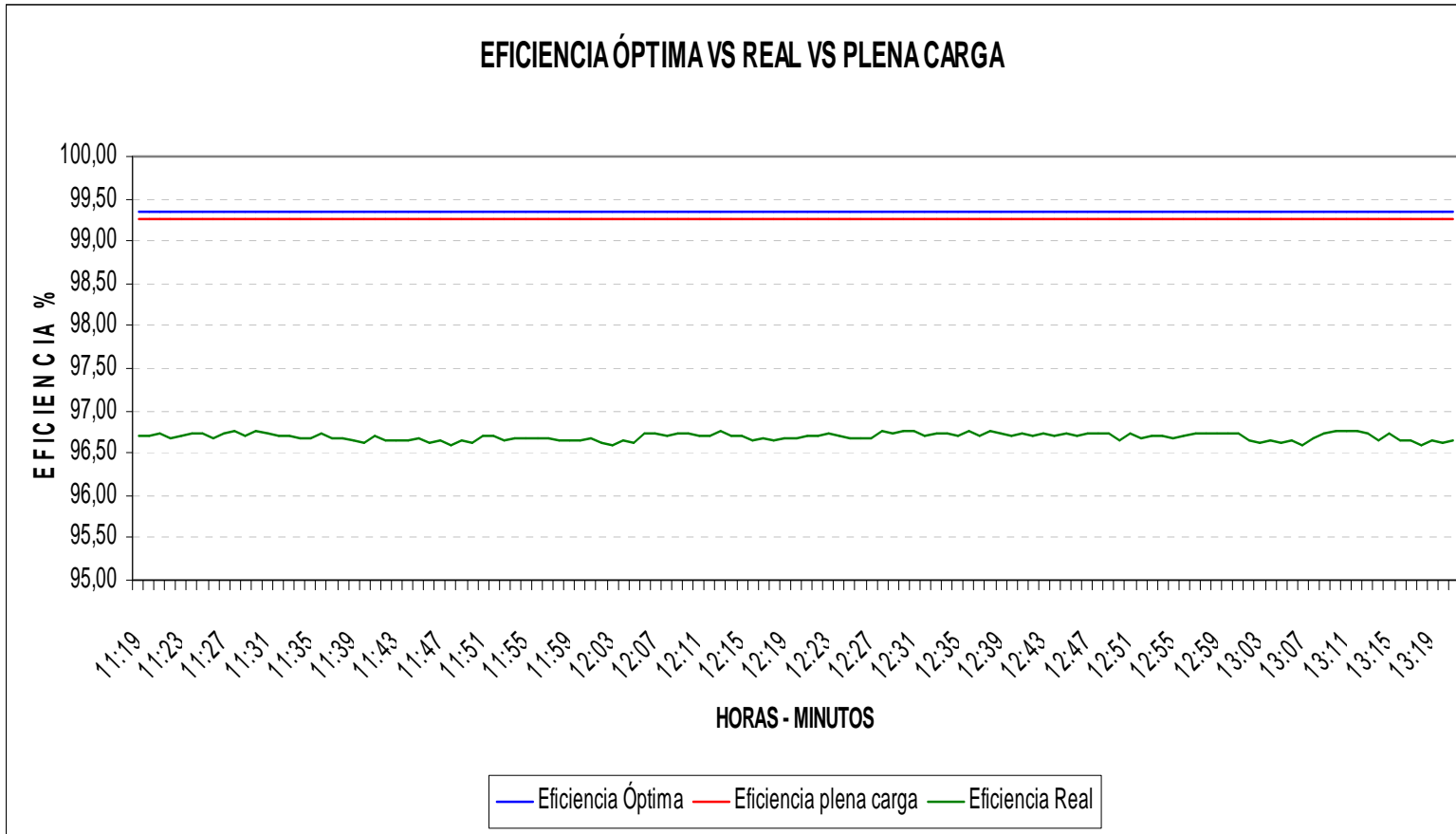
**Ilustración 8. Eficiencia transformador T0007 del CCM 5 (Separación de sólidos)**



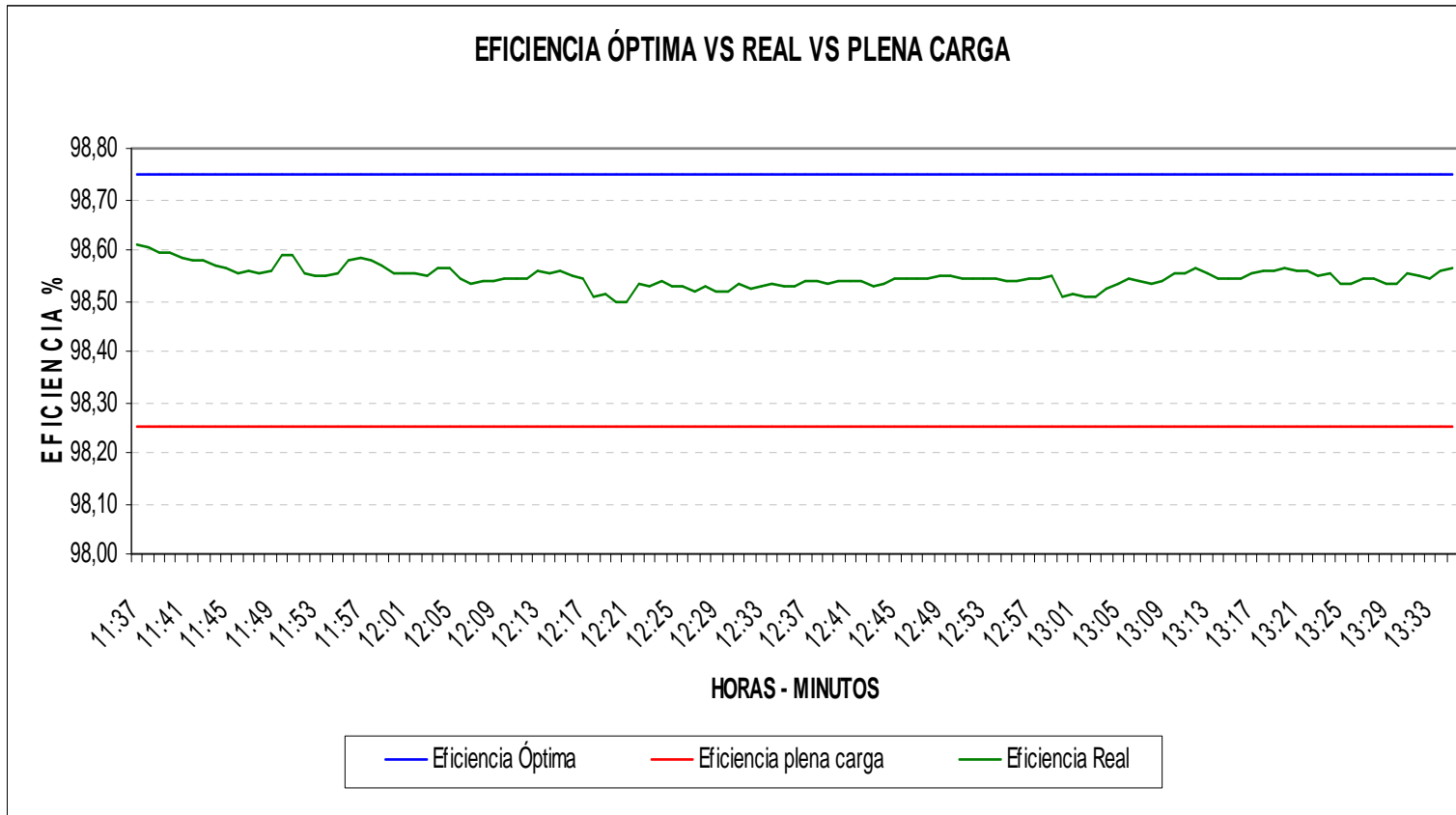
**Ilustración 9. Eficiencia transformador T0009 del CCM 1 (Cítrico)**



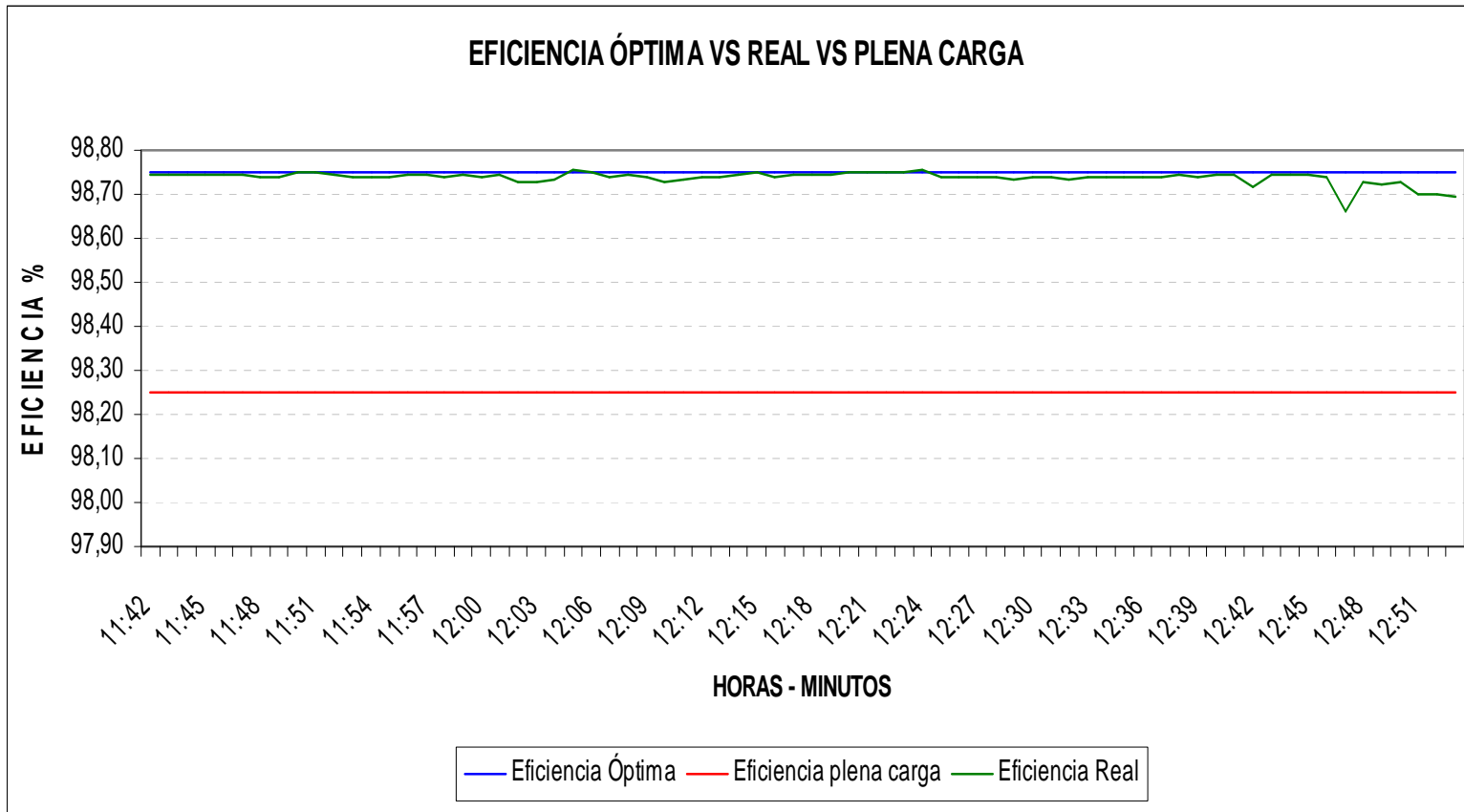
**Ilustración 10. Eficiencia transformador T0010 del CCM 10 (Placa)**



**Ilustración 11. Eficiencia transformador T0011 del CCM 6 (Calderas sección 1)**



**Ilustración 12. Eficiencia transformador T0012 del CCM 6 (Calderas sección 1)**



**Ilustración 13. Eficiencia transformador T0014 del CCM 10-A (Pozo 5)**

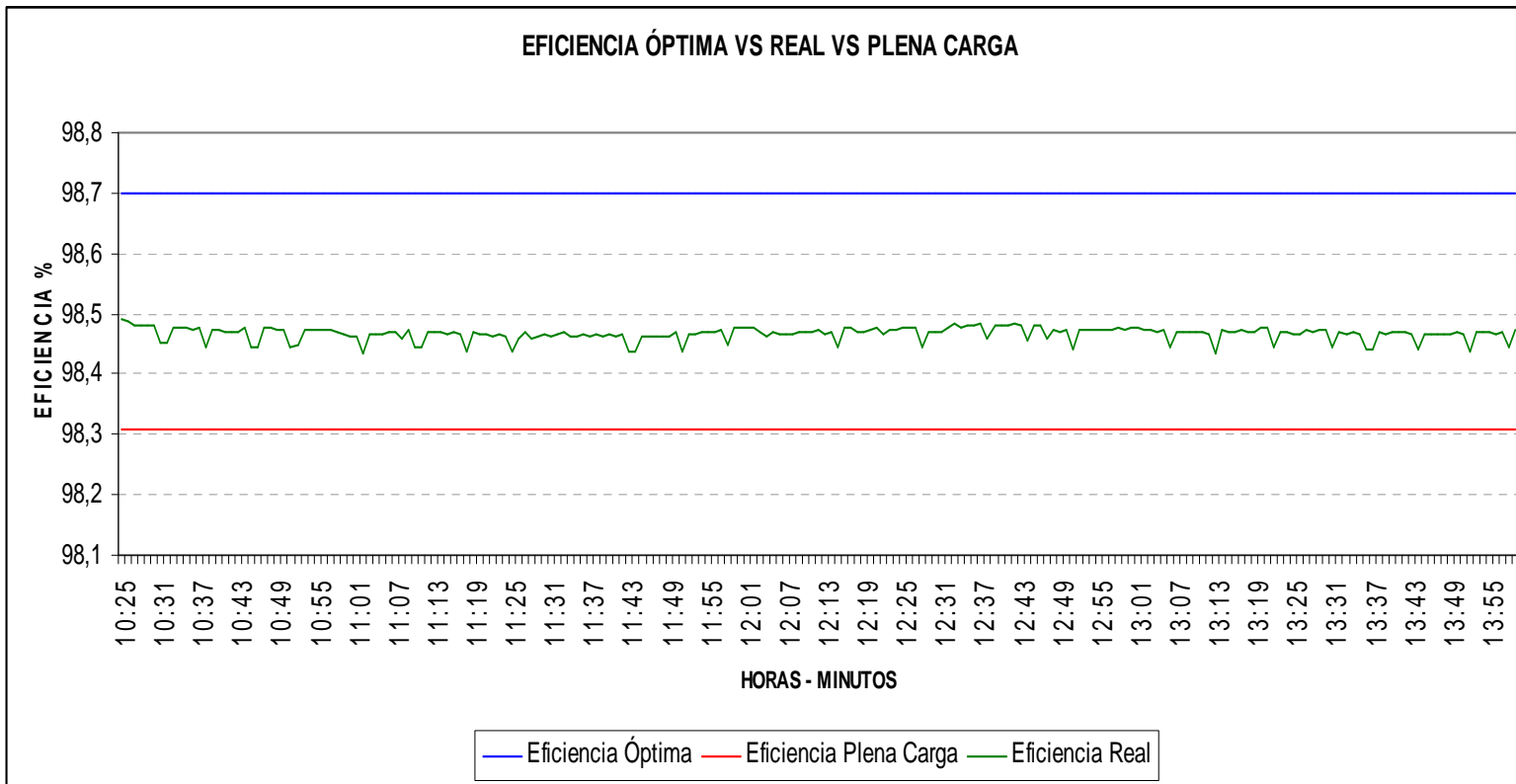




Ilustración 14. Eficiencia transformador T0016 del CCM 7 (Principal alcoquímica)

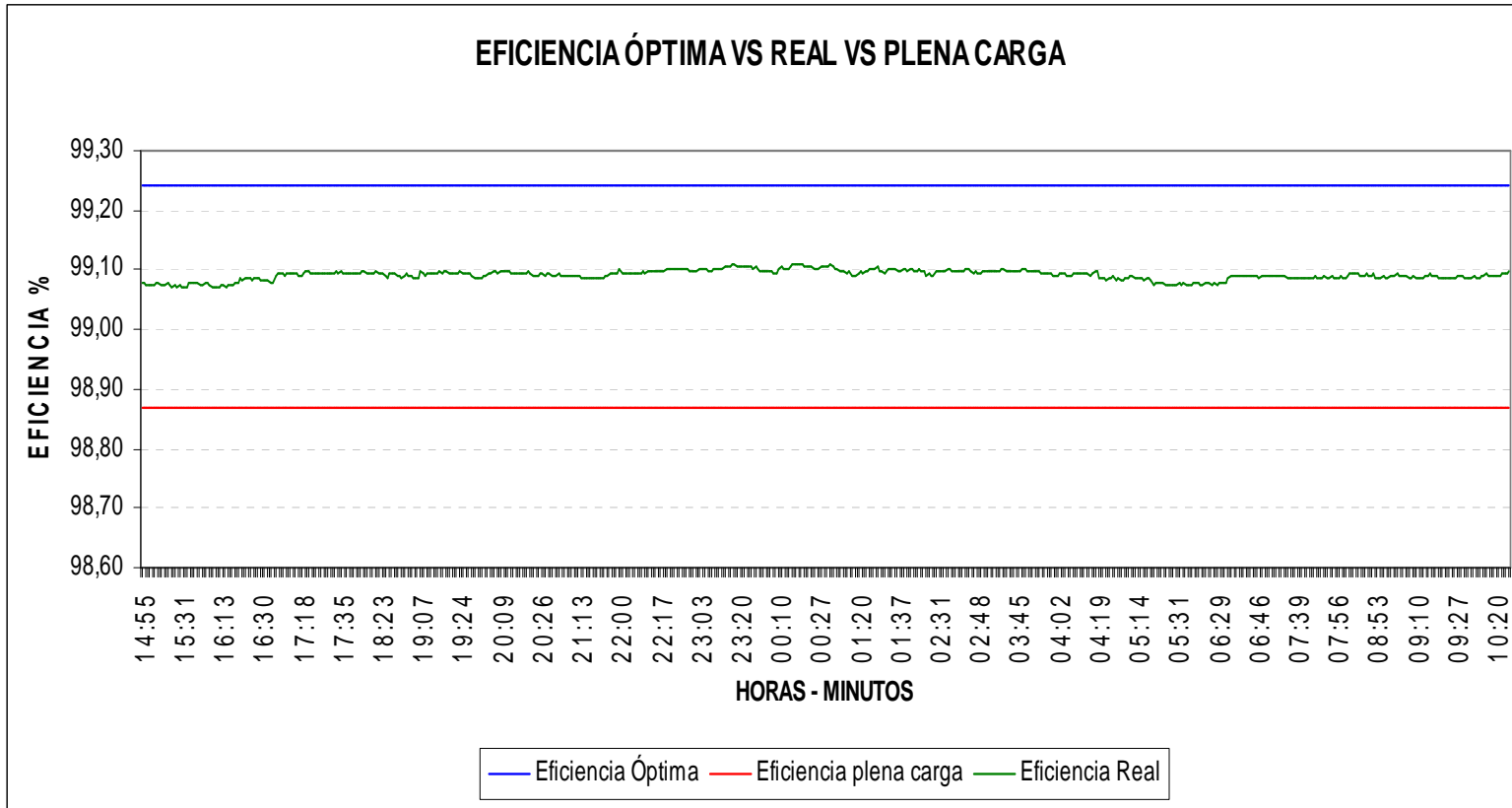
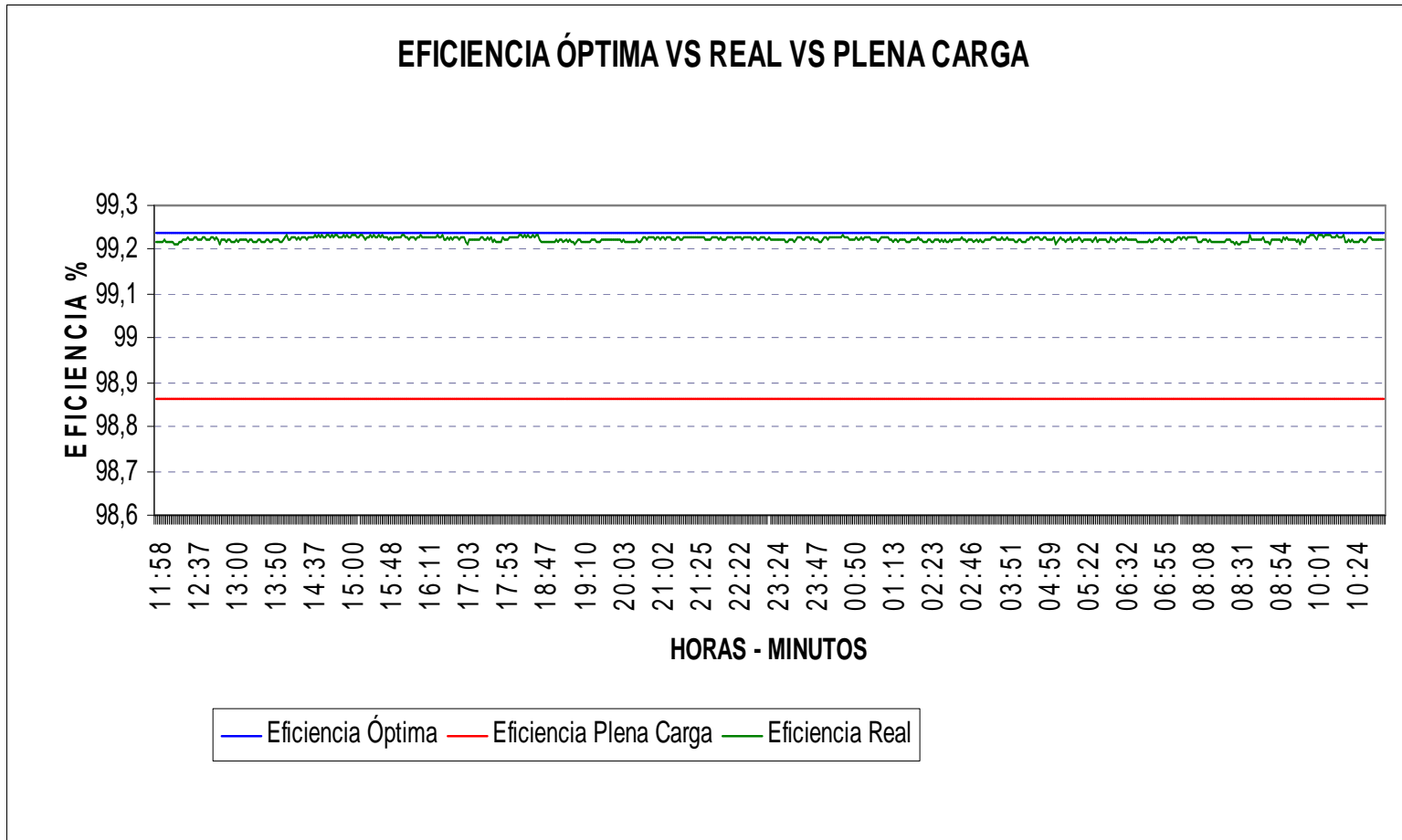


Ilustración 15. Eficiencia transformador T0017 del CCM 9 (Torre enfriamiento cíclico)



## **Anexo 5. Ilustraciones de pérdidas en transformadores**

Las ilustraciones que se muestran a continuación son realizadas con los datos obtenidos de los estudios de cargabilidad de los transformadores estudiados, ellas especifican de manera clara el comportamiento de las pérdidas con los transformadores en cargas reales, también se puede observar que tan distantes están estas pérdidas de las pérdidas ideales, una última curva de color rojo nos indica las pérdidas cuando el equipo esta operando a plena carga.

Ilustración 16. Pérdidas transformador T0003 del CCM 2 (Evaporador cristalizador)

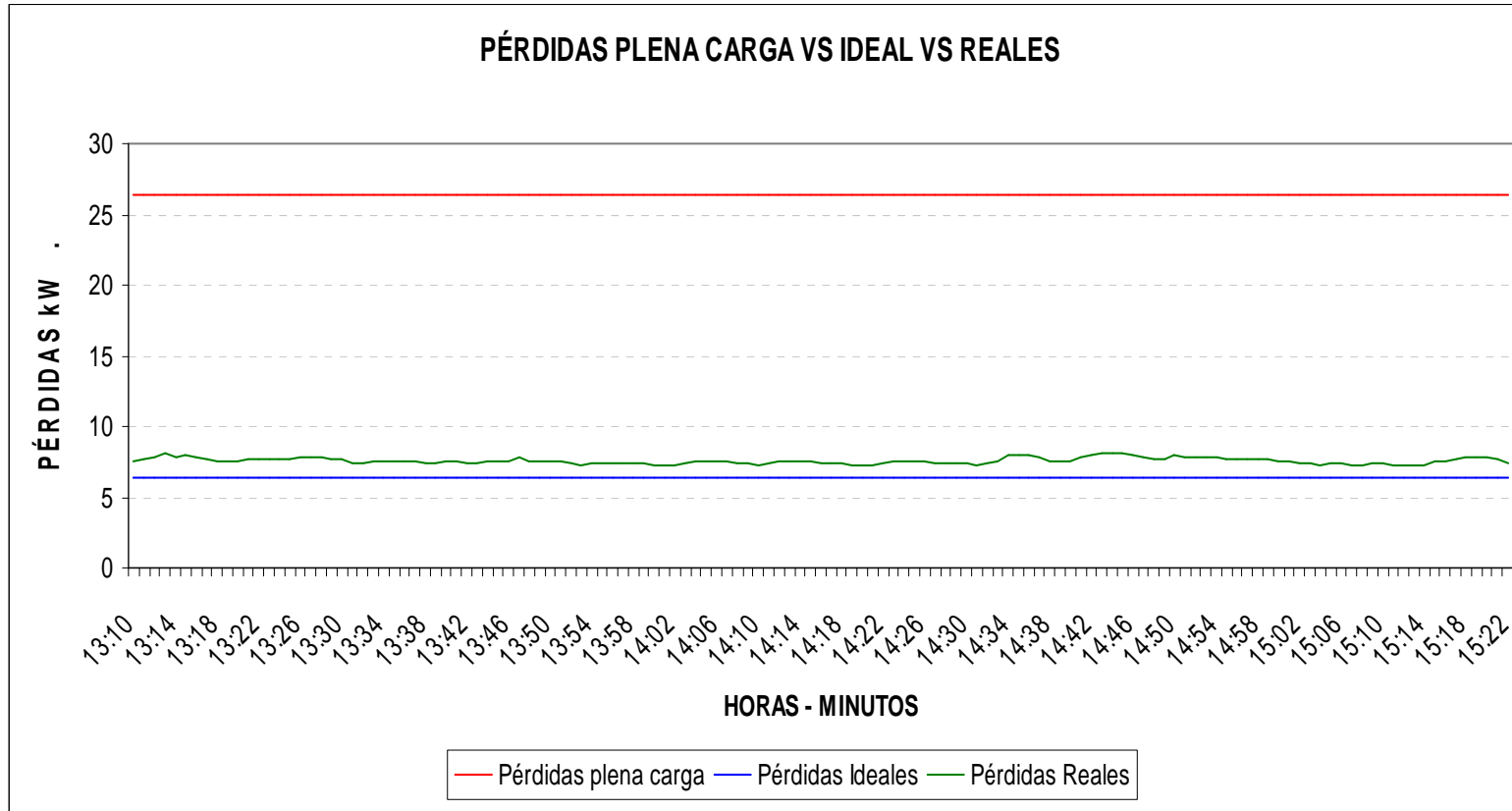


Ilustración 17. Pérdidas transformador T0004 del CCM 7-A (Torre enfriamiento alcoquímica)

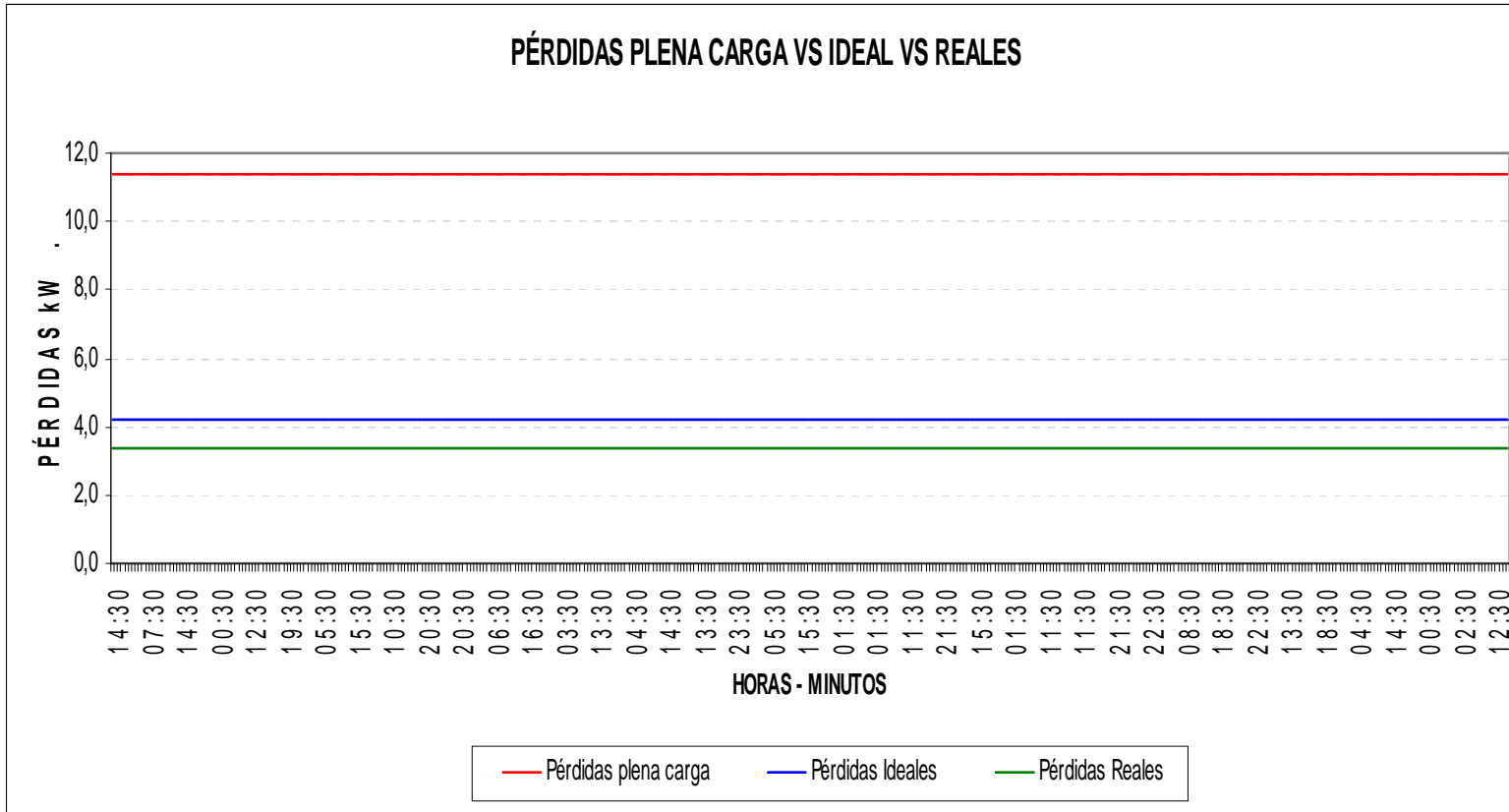


Ilustración 18. Pérdidas transformador T0005 del CCM 4 (Servicios)

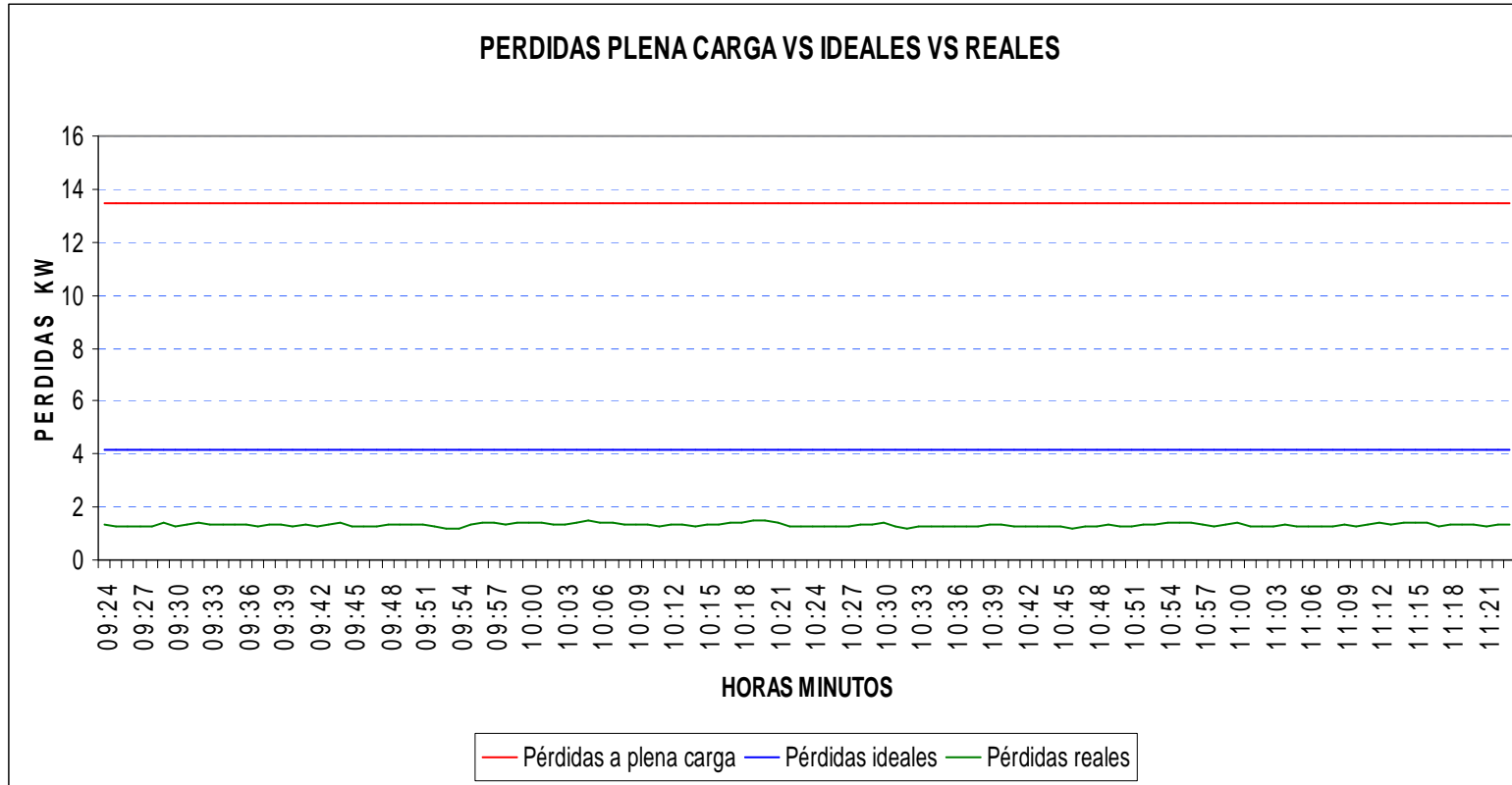
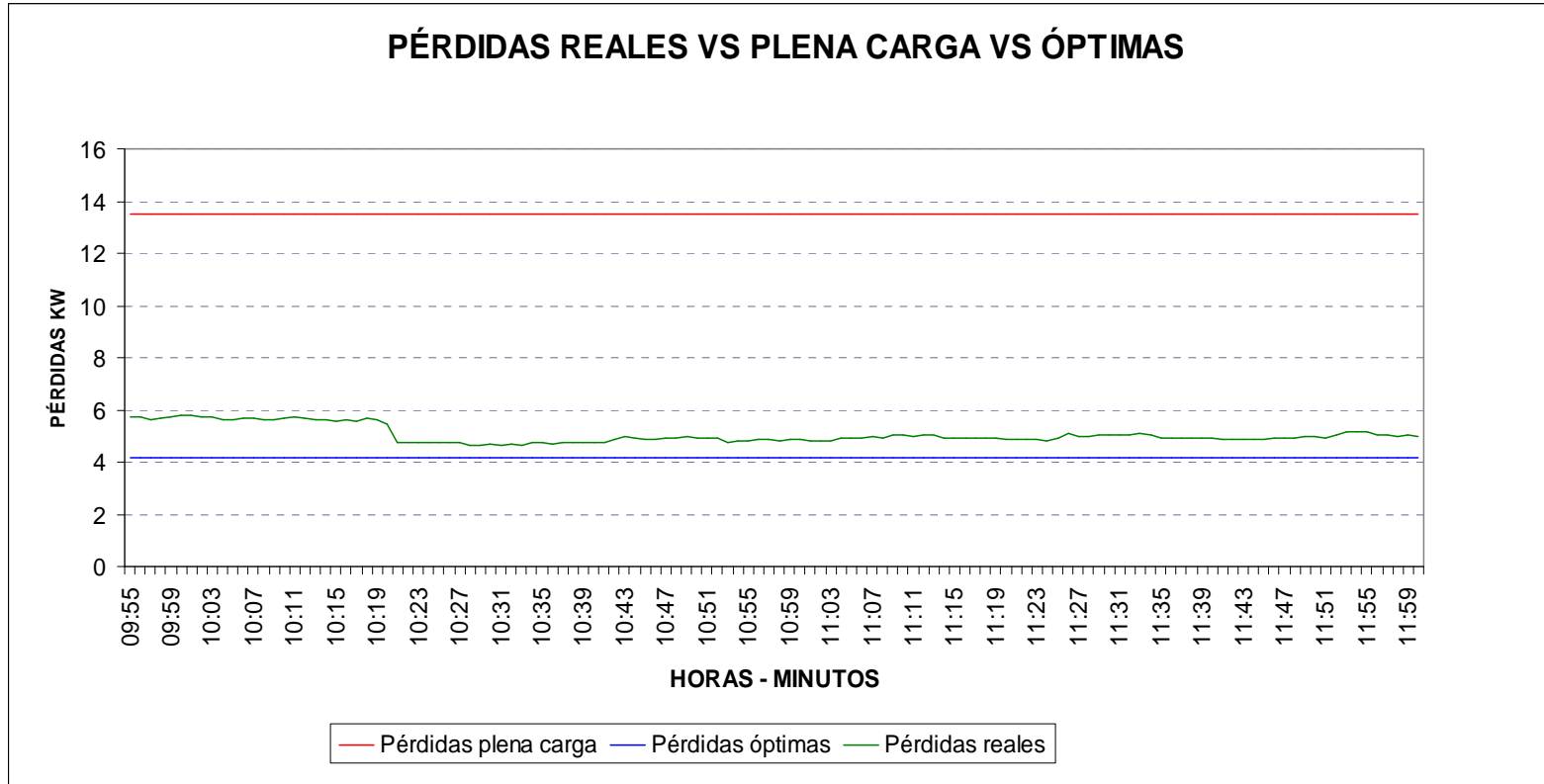


Ilustración 19. Pérdidas transformador T0006 del CCM 3 (Purificación)



**Ilustración 20. Pérdidas transformador T0007 del CCM 5 (Separación de sólidos)**





Ilustración 21. Pérdidas transformador T0009 del CCM 1 ( Cítrico)

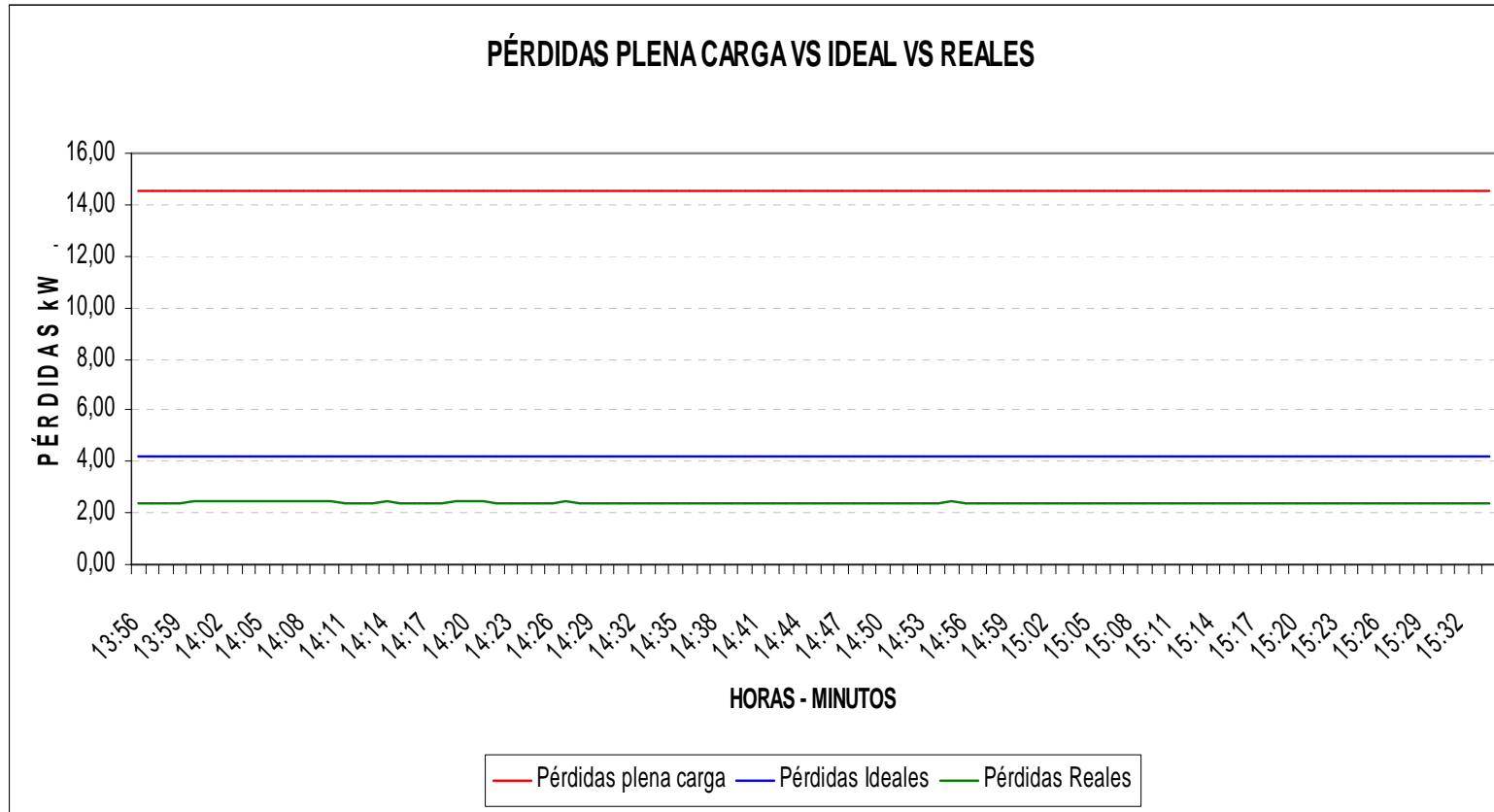
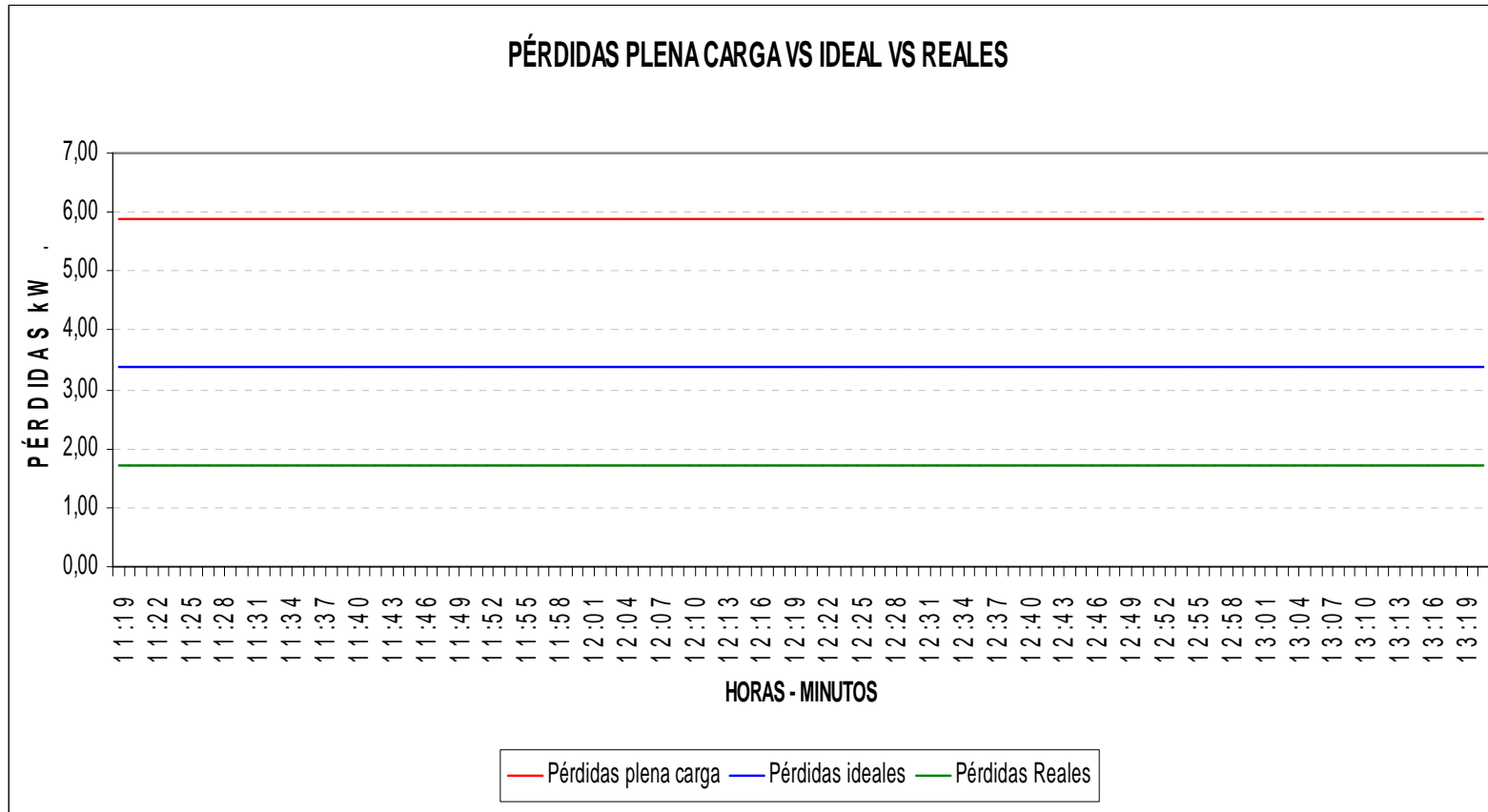


Ilustración 22. Pérdidas transformador T0010 del CCM 10 (Placa)



**Ilustración 23. Pérdidas transformador T0011 del CCM 6 (Calderas sección 1)**

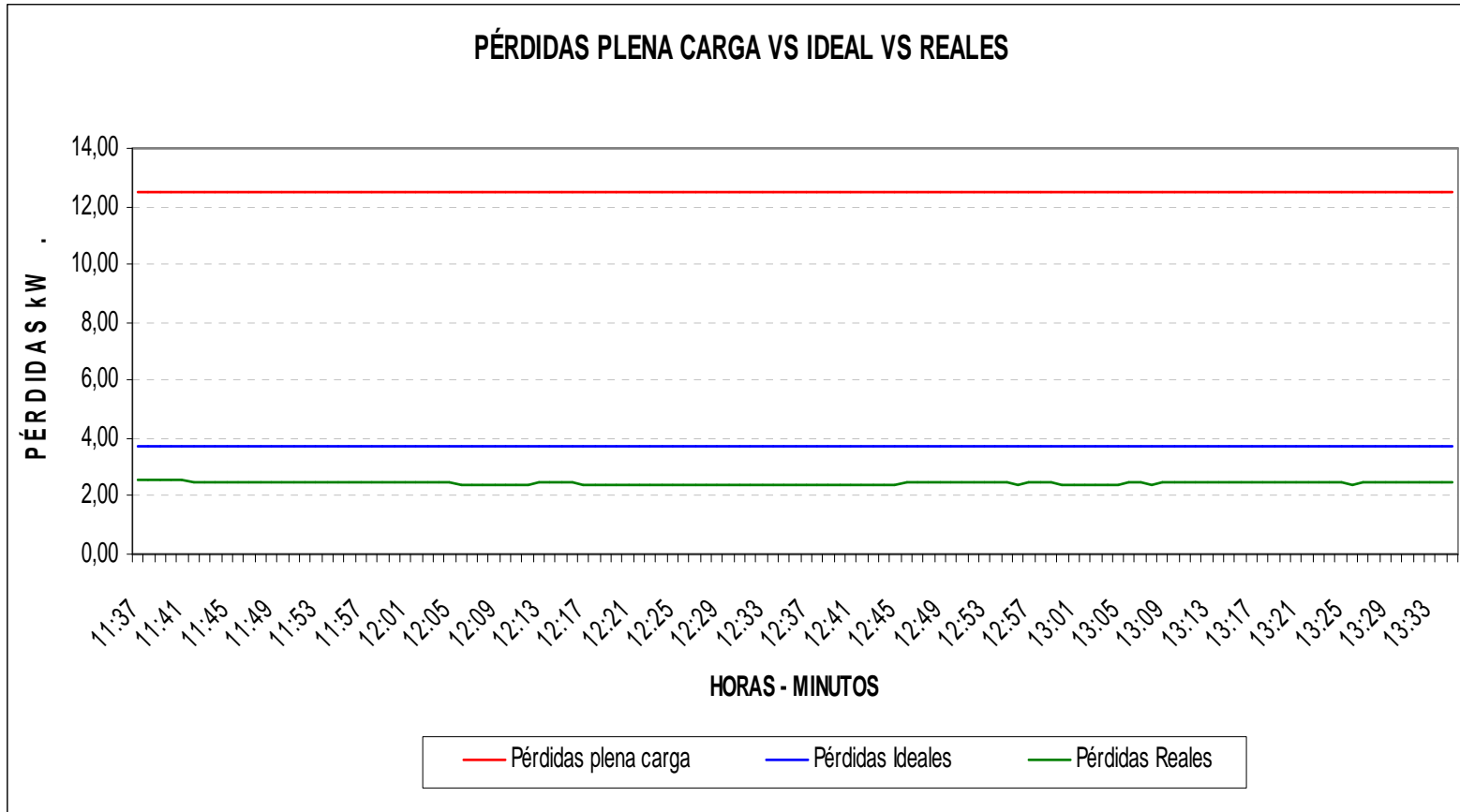
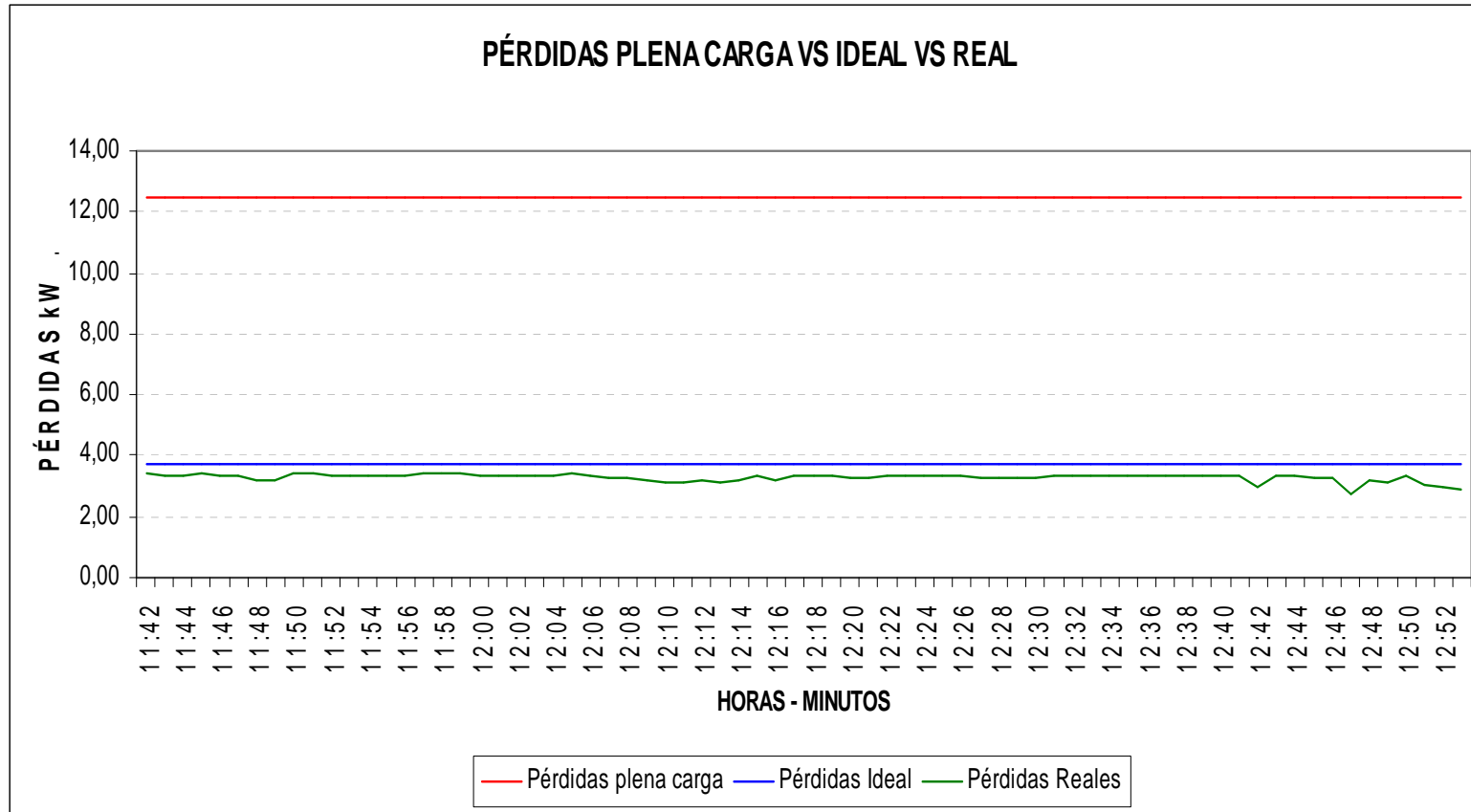


Ilustración 24. Pérdidas transformador T0012 del CCM 6 (Calderas sección 1)



**Ilustración 25. Pérdidas transformador T0014 del CCM 10-A (Pozo 5)**

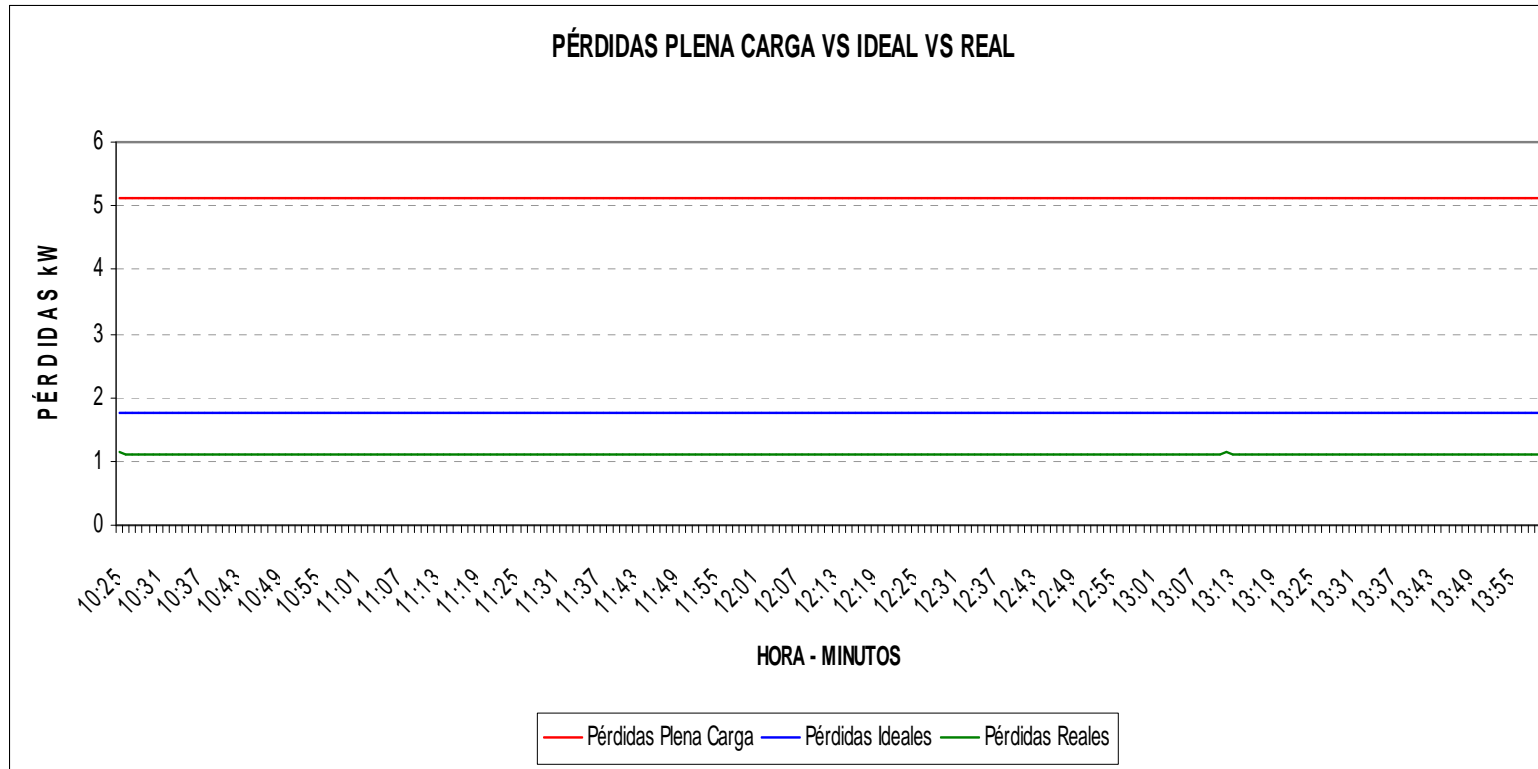
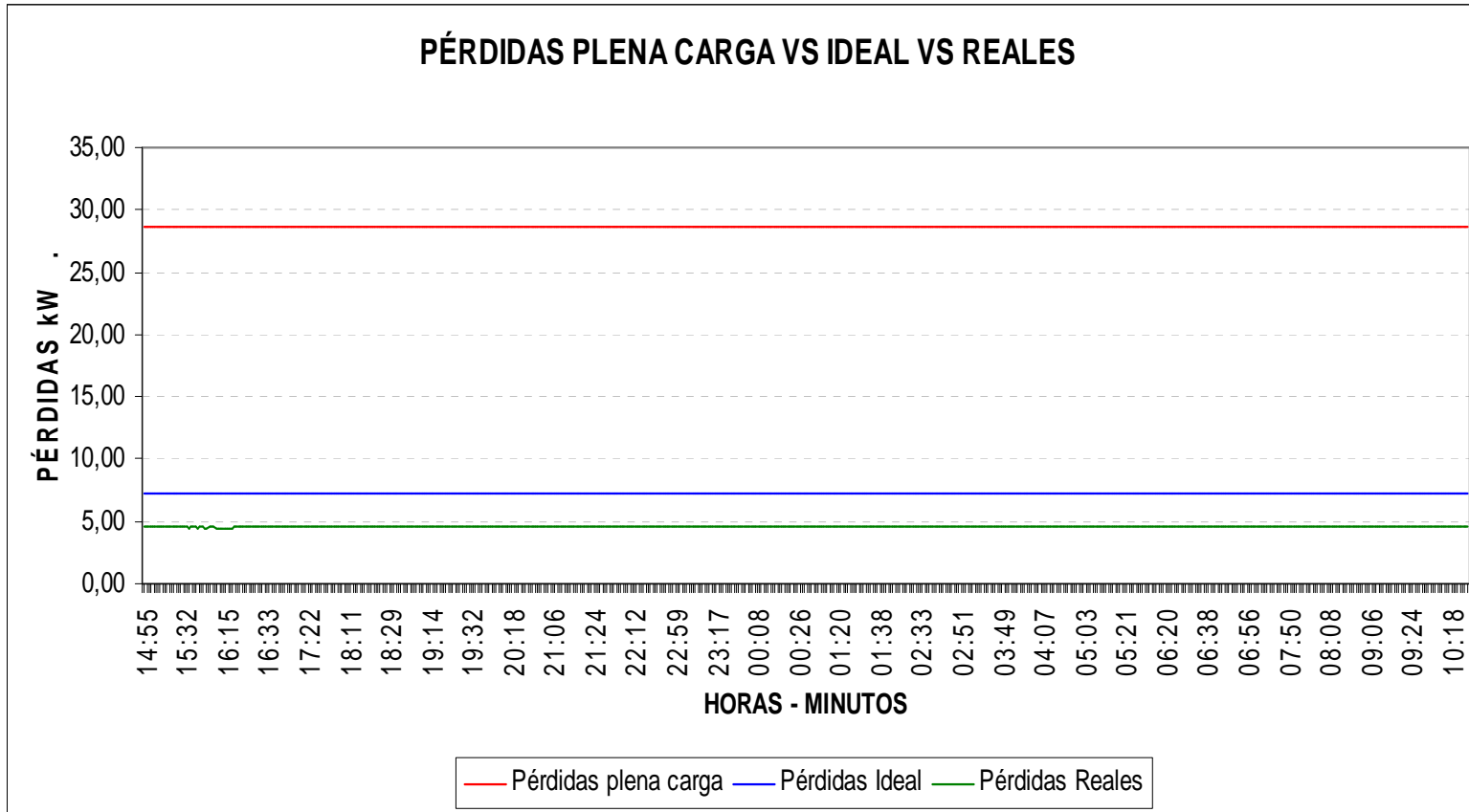
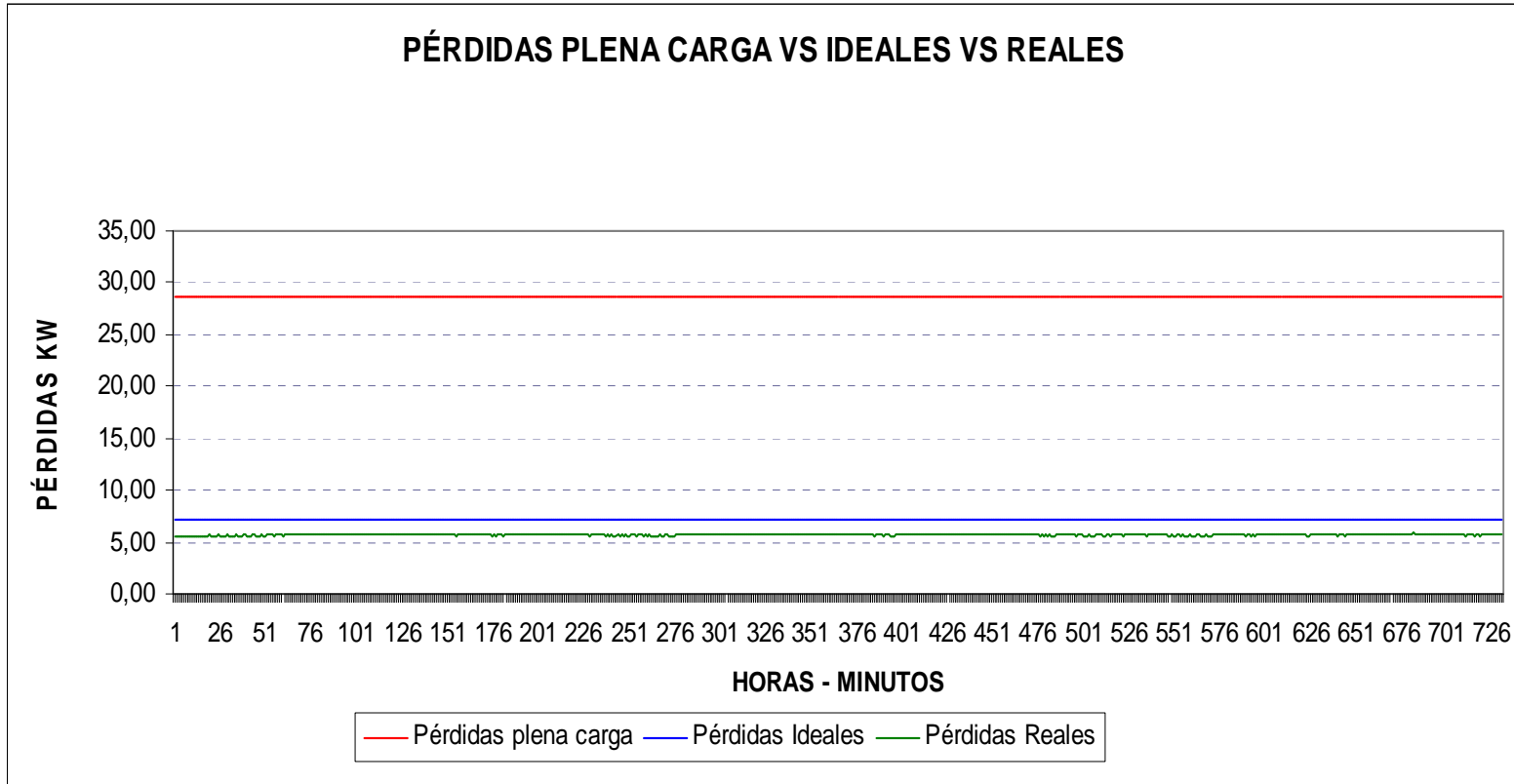


Ilustración 26. Pérdidas transformador T0016 del CCM 7 (Principal alcoquímica)



**Ilustración 27. Pérdidas transformador T0017 del CCM 9 (Torre enfriamiento cítrico)**



## **Anexo 6. Resultados TLM.**

Los resultados expuestos a continuación fueron calculados con el programa del TLM, en el cual se indica cada uno de los factores importantes en el estudio que se aplicaron a los transformadores de potencia de la fábrica de Sucromiles S.A.



**Tabla 1. Cuadro de resultados TLM**

Ítem	Cedula	CCM	Estados plena carga			Estados reales			Estados óptimos			Factor utilización %		Acciones a tomar
			I.c	N (%)	C.O	I.c	N (%)	C.O	I.c	N (%)	C.O	Real	Ideal	
1	T0003	2	2000	98,6	36'581760	890	99	6'244859	800	99	5'853453	44,51	44,01	Mantener carga
2	T0004	7-A	2008	99,3	17'975520	266	98,94	3'315702	954	99,5	4'058814	13,25	47,51	Trasladar
3	T0005	4	2099	99,2	15'610320	738	99,38	2'651973	902	99,4	2'856619	39	42,9	Anexar carga
4	T0006	3	2099	99,2	21'286800	1103	99,39	3'277743	901	99,4	3'920952	52,5	42,91	Mantener carga
5	T0007	5	2000	98,8	29'959200	251	98,48	4'483985	838	99,2	5'265469	12,55	41,93	Trasladar
6	T0009	1	1251	98,6	22'926672	196	98,48	3'354491	517	99	3'914586	15,68	41,36	Observación 1
7	T0010	10	1004	99,3	9'303120	65	96,79	2'680673	639	99,3	3'765296	6,47	63,61	Observación 2
8	T0011	6	875	98,3	19631160	220	98,59	2'980644	366	98,8	3'426427	25,15	41,79	Trasladar
9	T0012	6	875	98,3	19631160	330	98,74	3'247279	366	98,8	3'426427	37,72	41,79	Trasladar
10	T0013	Pozo 4	380	98,3	8'088984	162	98,73	1'585891	172	98,7	1'652202	42,65	45,21	Mantener carga
11	T0014	10-A	363	98,3	8'088984	90,5	98,5	1,39741	164	98,7	1'650612	24,87	45,08	Trasladar
12	T0015	Pozo 6	192	98,2	4'478112	145	98,39	2'024146	93	98,5	1'052210	75,68	48,55	Mantener carga
13	T0016	7	3138	98,9	45'128016	624	99,08	5'768532	1194	99,2	6'534608	19,89	38,05	Observación 3
14	T0017	9	3138	98,9	45'128016	931	99,22	6'009458	1194	99,2	6'534608	29,69	38,05	Anexar carga

CONVERSIONES	
Ic	Corriente de carga
N	Eficiencia
C.O	Costo de operación