

# ***Estudio de Factor de Potencia***

***SECOVI<sup>®</sup>***



***SECOVI***

***Invamex S. de R.L de C.V.***

***Planta Reynosa, Tamaulipas.***



***Agosto del 2007***

# ***Estudio de Factor de Potencia SECOVI®***

---

## ***ÍNDICE***

### **Datos Finales de Estudio**

	<b><i>PAG.</i></b>
<b>I. Introducción.</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>II. Transformador de 1500 (Sub. 1)</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>III. Transformador de 2500 (Sub. 2)</b> . . . . .	<b>24</b>
<b>IV. Conclusiones y Recomendaciones.</b> . . . . .	<b>47</b>
<b>V. Propuesta Técnica</b> . . . . .	<b>55</b>

**INVAMEX.**

Planta Reynosa, Tamaulipas.

**Secovi, S.A. de C.V.**

Oscar Wilde 155,  
Col. Colinas de San Jerónimo  
Monterrey N.L.

**Revisado por:**



Expiration Date:

December 31, 2008  
*John A. Wagoner*  
CPD Board Chairman



---

M.C. Mario Cervantes

Coronado

Ext. 148

**CERTIFIED POWER QUALITY**

**Tel. 01 81-83 33 87 88 Ext. 148**

**[www.secovi.com](http://www.secovi.com)**

# Introducción

---

Se realiza el presente Estudio de Factor de Potencia en **INVAMEX (Planta Reynosa)** con la finalidad de conocer el comportamiento actual del Sistema Eléctrico para realizar la corrección del factor de potencia a un valor sugerido de 99%, así como observar el comportamiento de los parámetros eléctricos en la Planta. Se realizan monitoreos de parámetros de estado estable (perfil de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, distorsión armónica en voltaje y distorsión armónica en corriente).

Se analizan los resultados de los monitoreos, encontrándose comportamientos diferentes para los Transformadores considerados, debido principalmente al tipo de carga instalada en cada uno de ellos. Se le da un trato especial a aquellos Transformadores en los cuales la carga instalada es típicamente no-lineal ya que este tipo de carga es fuente de Distorsión Armónica cuyos efectos pueden significar problemas en la operación de ciertos equipos en el Sistema Eléctrico entre ellos los Capacitores para Corregir el Factor de Potencia. En el reporte se obtienen conclusiones importantes en cuanto a la corrección del FP mediante los equipos adecuados que consideran los niveles de Distorsión existentes.

Los puntos considerados para el monitoreo consisten de 2 transformadores, los cuales forman una parte del total de la carga instalada en la planta. Estos Transformadores son:



# Introducción

---

Transformador de la Subestación -1,

- Transformador de 1500 KVA, 34.5 KV/480 V

Transformador de la subestación -2,

- Transformador de 2500 KVA, 34.5 KV/480 V

Se recomienda la lectura detallada del reporte para cada uno de Estos Transformadores ya que cada uno tiene comportamientos diferentes y en cada uno se dan los análisis y comentarios particulares; sin embargo para visualizar un panorama global sobre el alcance del estudio puede hacerse la lectura del capítulo de Conclusiones el cual puede considerarse como un resumen global del estudio.

El estudio pretende tanto el conocimiento de la operación del Sistema Eléctrico así como mejorar siempre la operación en beneficio de la Instalación eléctrica, el buen funcionamiento de las cargas y su tiempo de vida útil y por lo tanto la economía de su empresa.

# ***Estudio de Factor de Potencia y Armónicas SECOVI<sup>®</sup>***



***Invamex, S.A. de C.V.***

***Planta Reynosa, Tamaulipas.***

***Tablero Principal Subestación 1***

***Agosto del 2007***

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Metodología para Monitoreo

Para la realización del presente estudio, se hizo uso de un equipo trifásico marca POWER MEASUREMENT MODELO 7700 con sensores de corriente de una capacidad de 3,000 amperes.

El equipo fue conectado en las terminales de salida del transformador, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición.

El período de medición fue de 72 horas continuas en cada transformador, tomado muestras cada minuto, esto representa un muestreo total de 4,570 muestras para cada parámetro eléctrico registrado.

Las 4,570 muestras registradas se almacenan en memoria y se procesan para obtener los perfiles de operación de cada parámetro eléctrico.

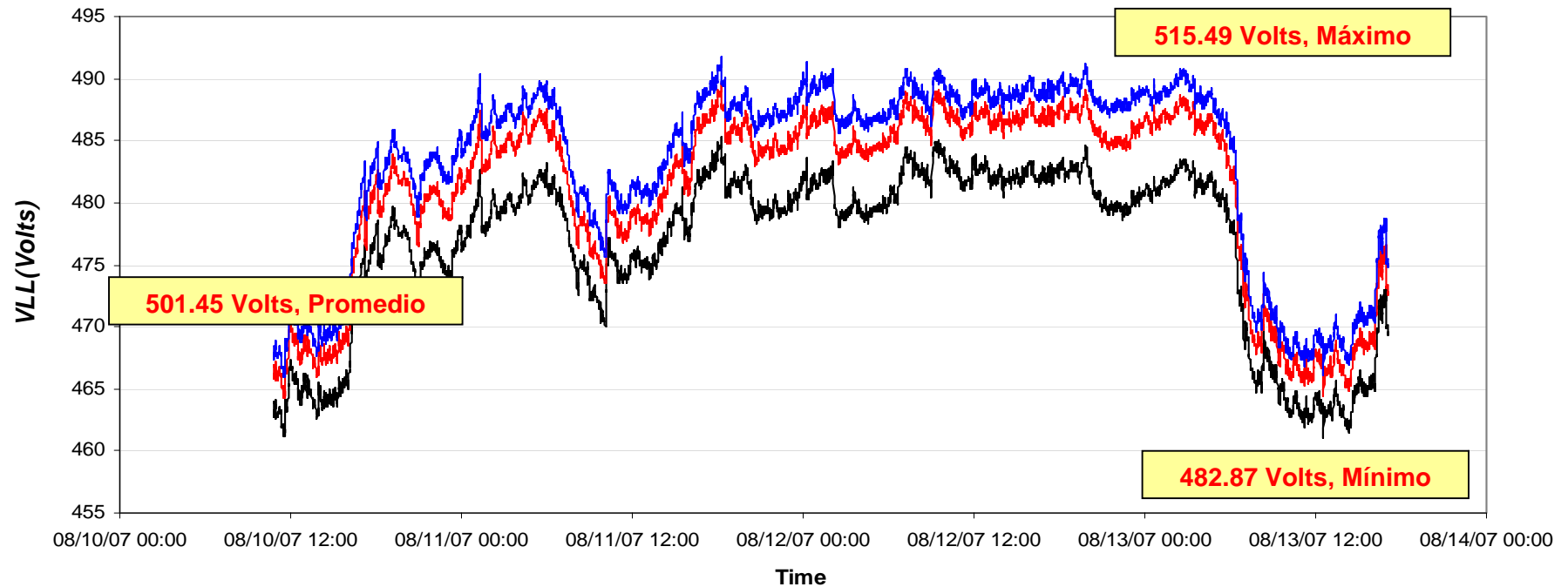
De cada parámetro eléctrico se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y ser comparados con lo que recomiendan los estándares internacionales.

Por último se programaron los equipos para detectar eventos de tipo transitorio en voltaje con variaciones por encima del 10% de voltaje pico, con la finalidad de evaluar si los arranques de cargas internas impactan en el voltaje de suministro, o en su defecto, registrar los eventos que son generados externamente y son reflejados hacia este nodo.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Perfil de Voltaje Máximo de Línea a Línea

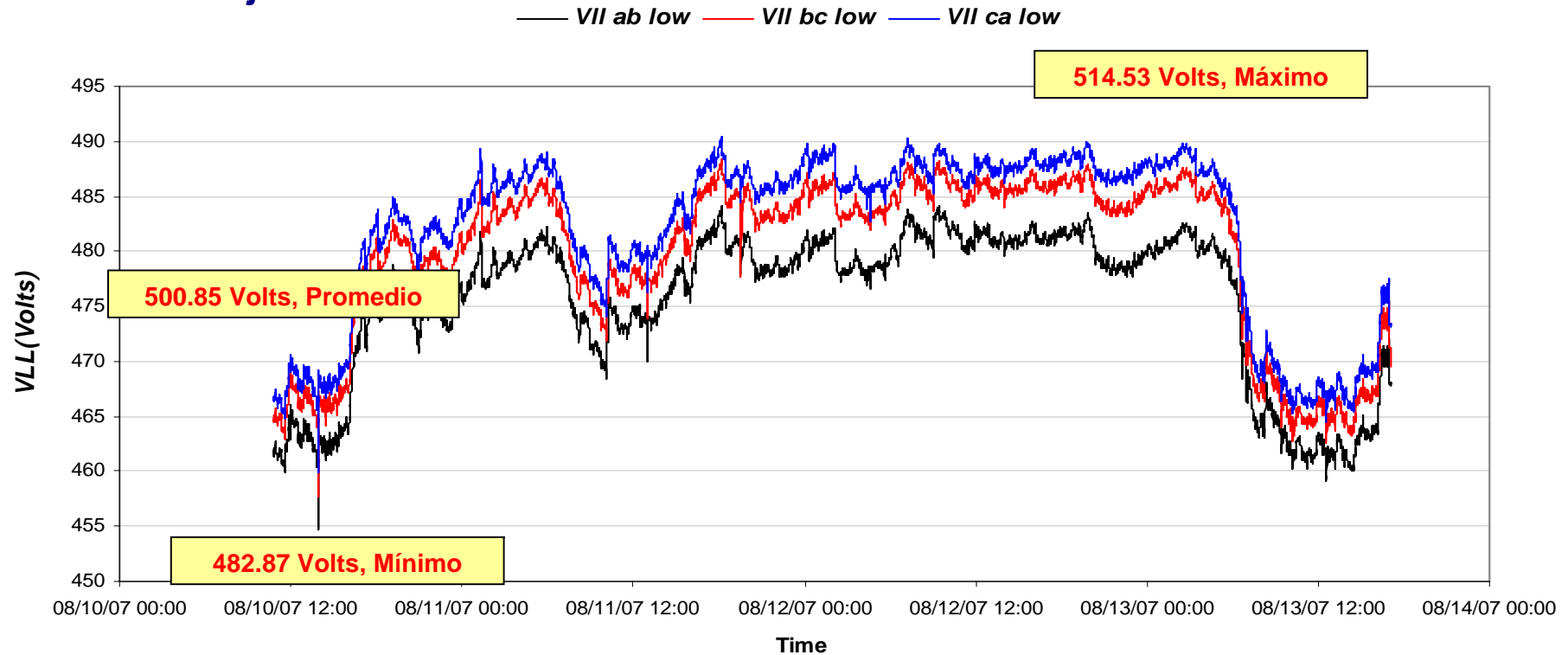
— VII ab high — VII bc high — VII ca high



En la gráfica se muestra el perfil del voltaje en un período de 72 hrs. El comportamiento del voltaje promedio es de **501.45 Volts**, valor que se encuentra **4.47 %** abajo del valor nominal de **480 Volts del Transformador 2500 kVA**. La ventana de variación presenta un máximo de **515.49 Volts (7.39% arriba del valor nominal)** y un mínimo de **482.87 Volts (0.60% abajo del valor nominal)**. Los valores máximos se presentaron de manera instantánea, sin embargo estos valores se encuentra **DENTRO** del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual esta enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

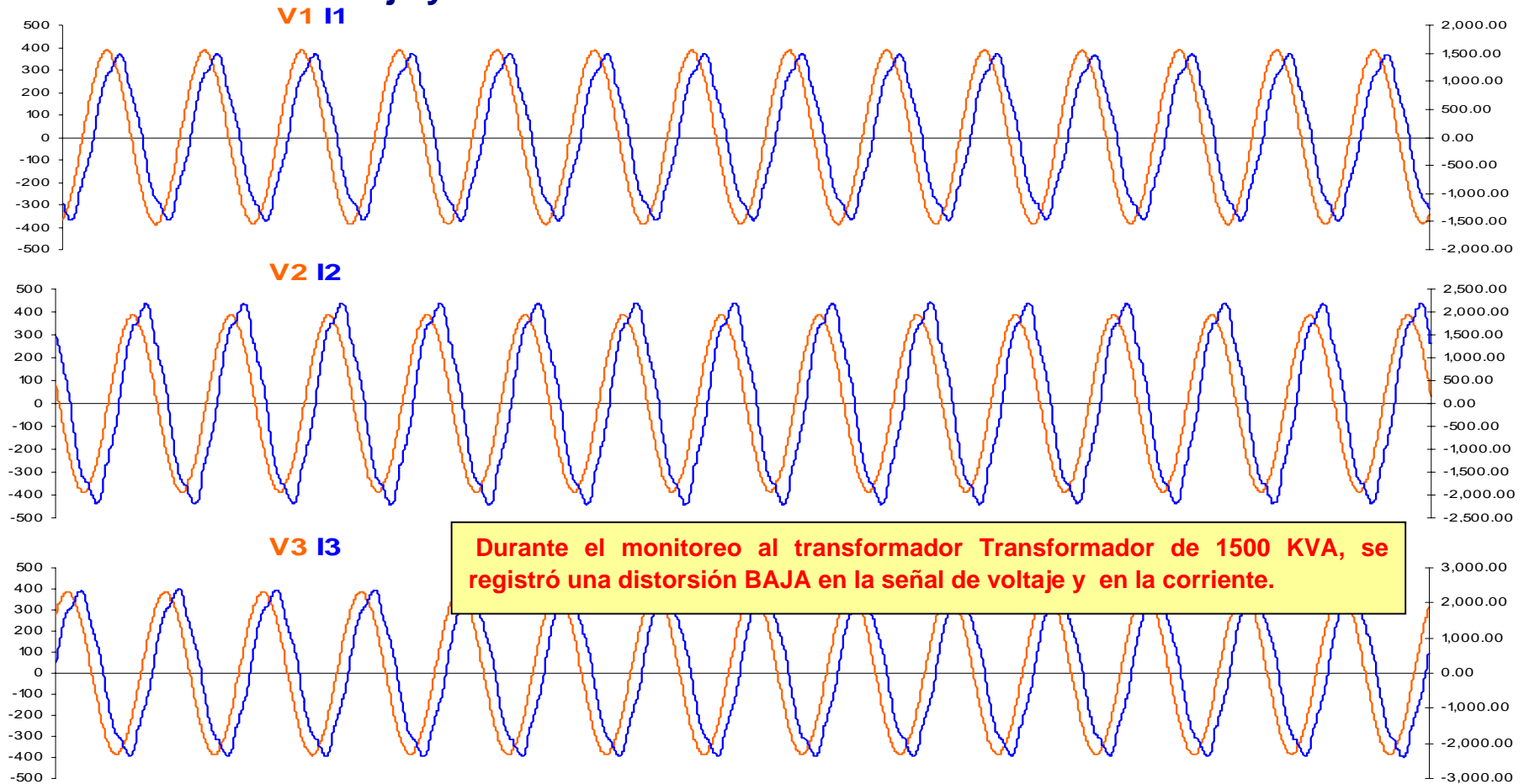
## Perfil de Voltaje Mínimo de Línea a Línea



En la gráfica se muestra el perfil del voltaje en un período de 72 hrs. El comportamiento del voltaje promedio es de **500.85 Volts**, valor que se encuentra **4.34 %** abajo del valor nominal de **480 Volts del Transformador de 2500 kVA**. La ventana de variación presenta un máximo de **514.53 Volts ( 7.19 % arriba del valor nominal)** y un mínimo de **482.87 Volts (0.60 % abajo del valor nominal)**. Los valores mínimos se presentaron de manera instantánea, sin embargo estos valores se encuentra **FUERA** del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual esta enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

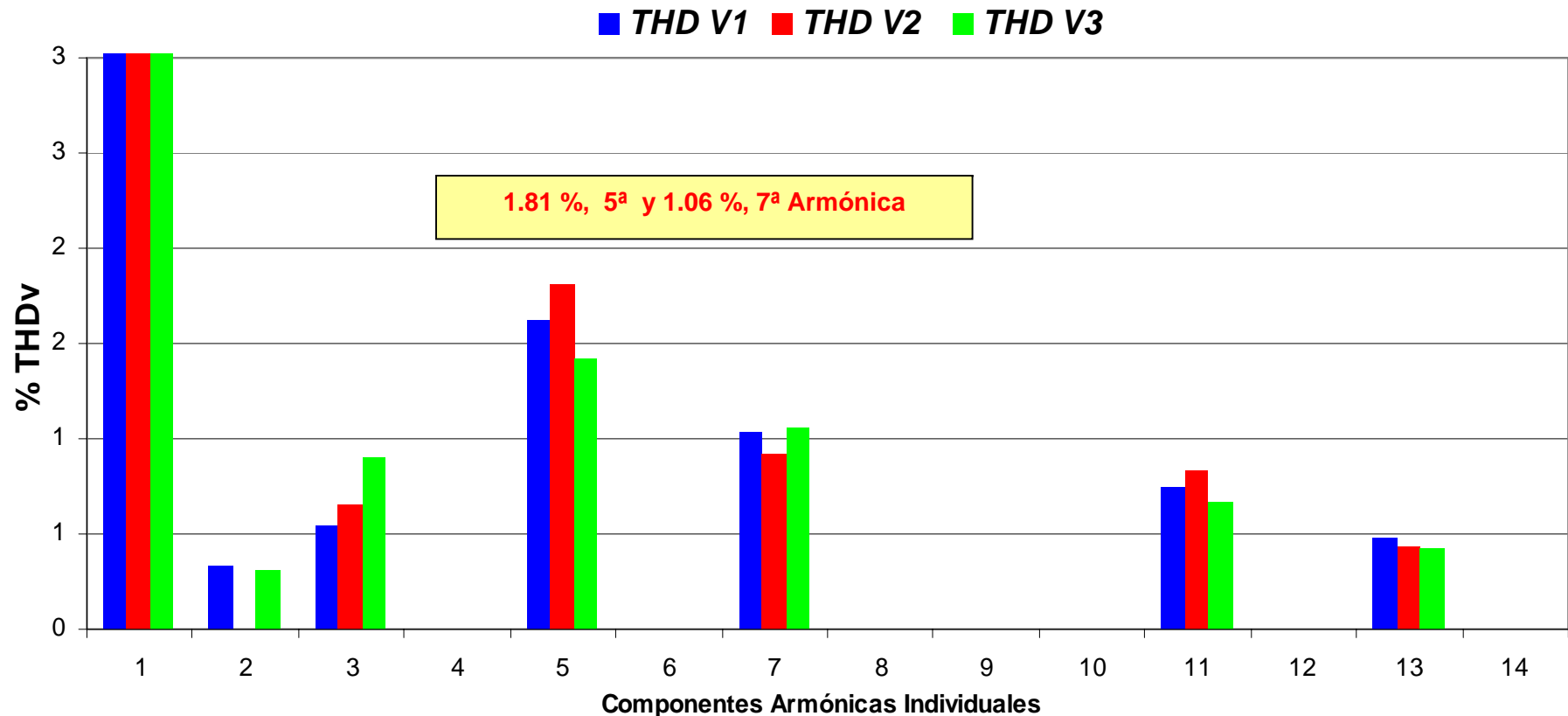
## Formas de Onda Voltaje y Corriente



En los gráficos se muestran las formas de onda individuales (por fase), donde se observa una **BAJA** distorsión en la señal de voltaje efecto que no se observa en las formas de onda de corriente. (Ver análisis completo en Conclusiones y Recomendaciones).

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)



En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en voltaje (THDv) del Transformador de 1500 kVA. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las componentes más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el **STD. 519-1992**. El valor total de **THDv** es de **2.42 %**, con una contribución individual principalmente de **5ª y 7ª** armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

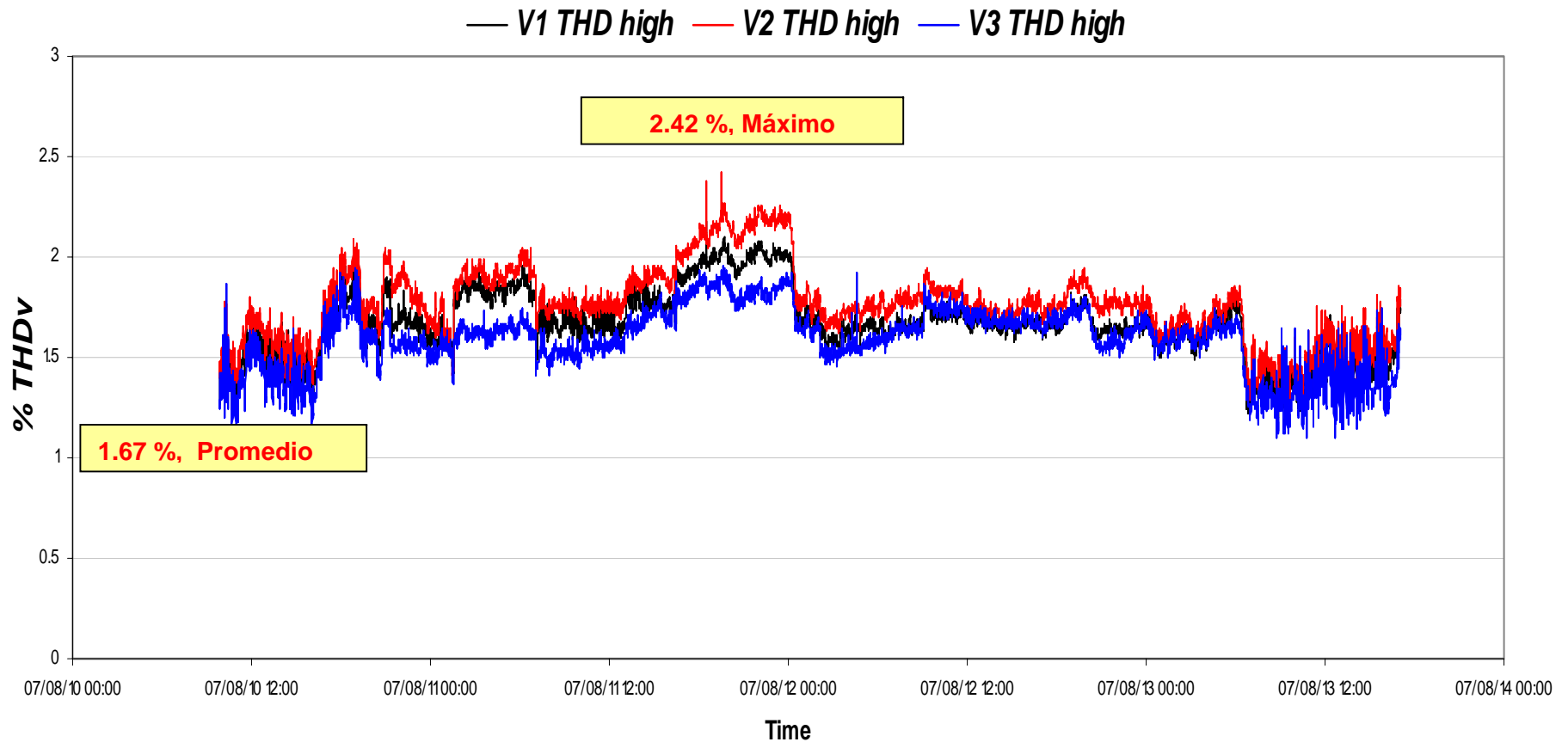
## Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi)



En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en corriente (THDi) del Transformador de 1500 kVA. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el **STD. 519-1992**. El valor total de **THDi** es de **7.35 %**, con una contribución individual principalmente de **3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 7<sup>a</sup>** armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

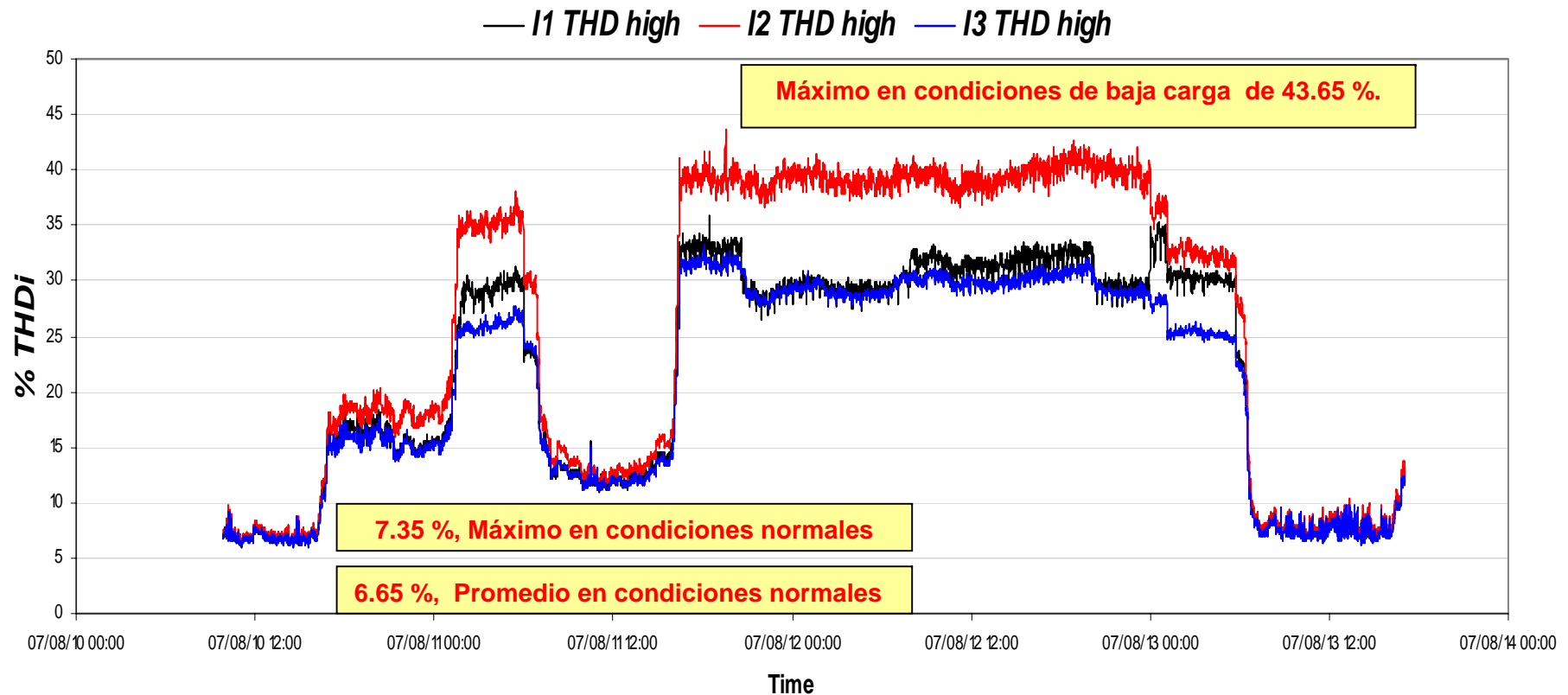
## Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (THDv)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en voltaje (THDv) en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje promedio de **1.67 %** y un valor máximo de **2.42 %**, el cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

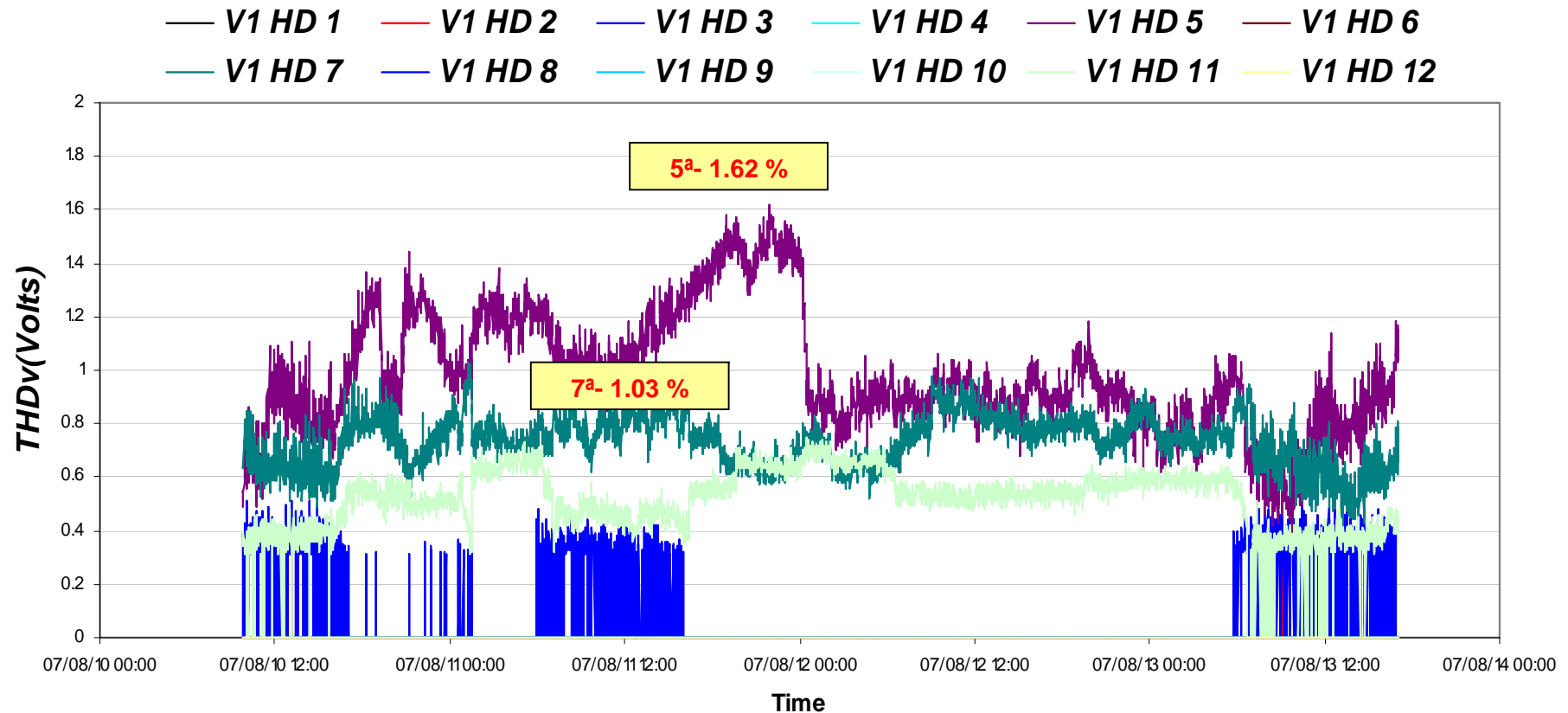
## Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (THDi)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en corriente (THDi) en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje máximo de **7.35 %** y un valor promedio de **6.65 %**, el cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD. IEEE 519-1992.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

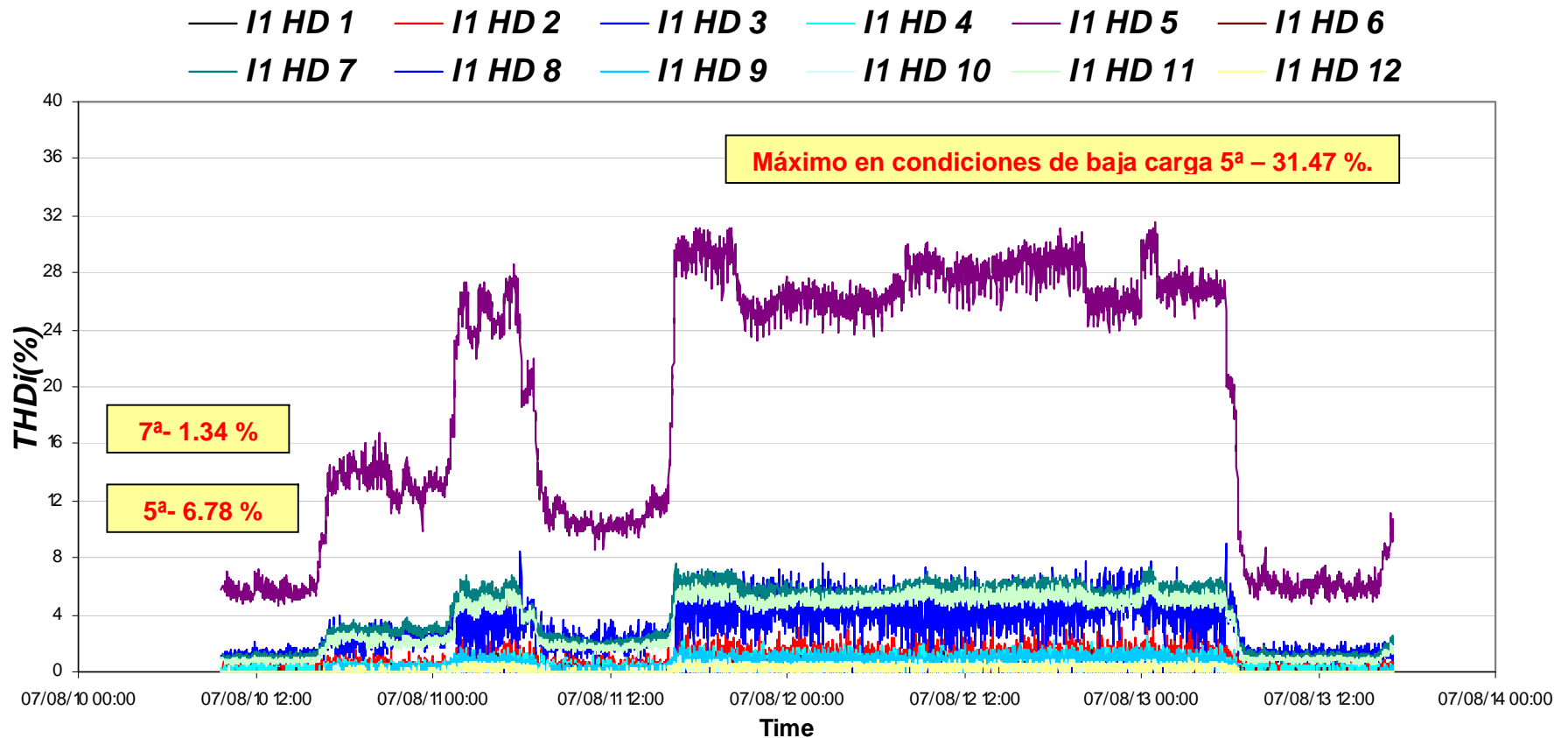
## Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (Componente Individual) (THDv)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en voltaje en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje máximo de **1.62 % de 5<sup>a</sup> armónica** y un valor máximo de **1.03 % de 7<sup>a</sup> armónica**, el cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992. sin embargo este valor se presenta de manera esporádicamente.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

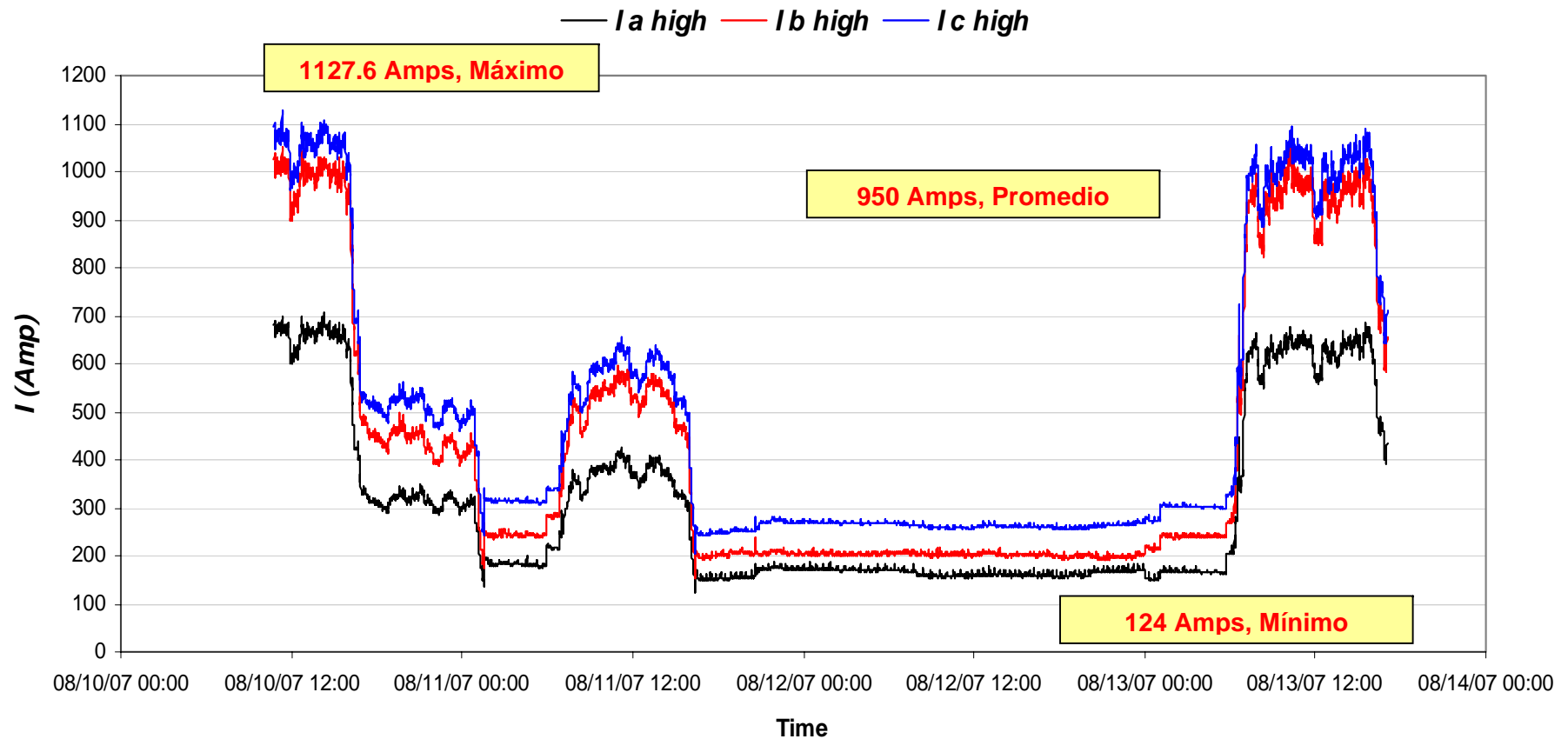
## Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (Componente Individual) (THDi)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en corriente en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje máximo de **6.78 % de 5ª armónica**, **1.34 % de 7ª armónica**, los cuales se encuentran **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

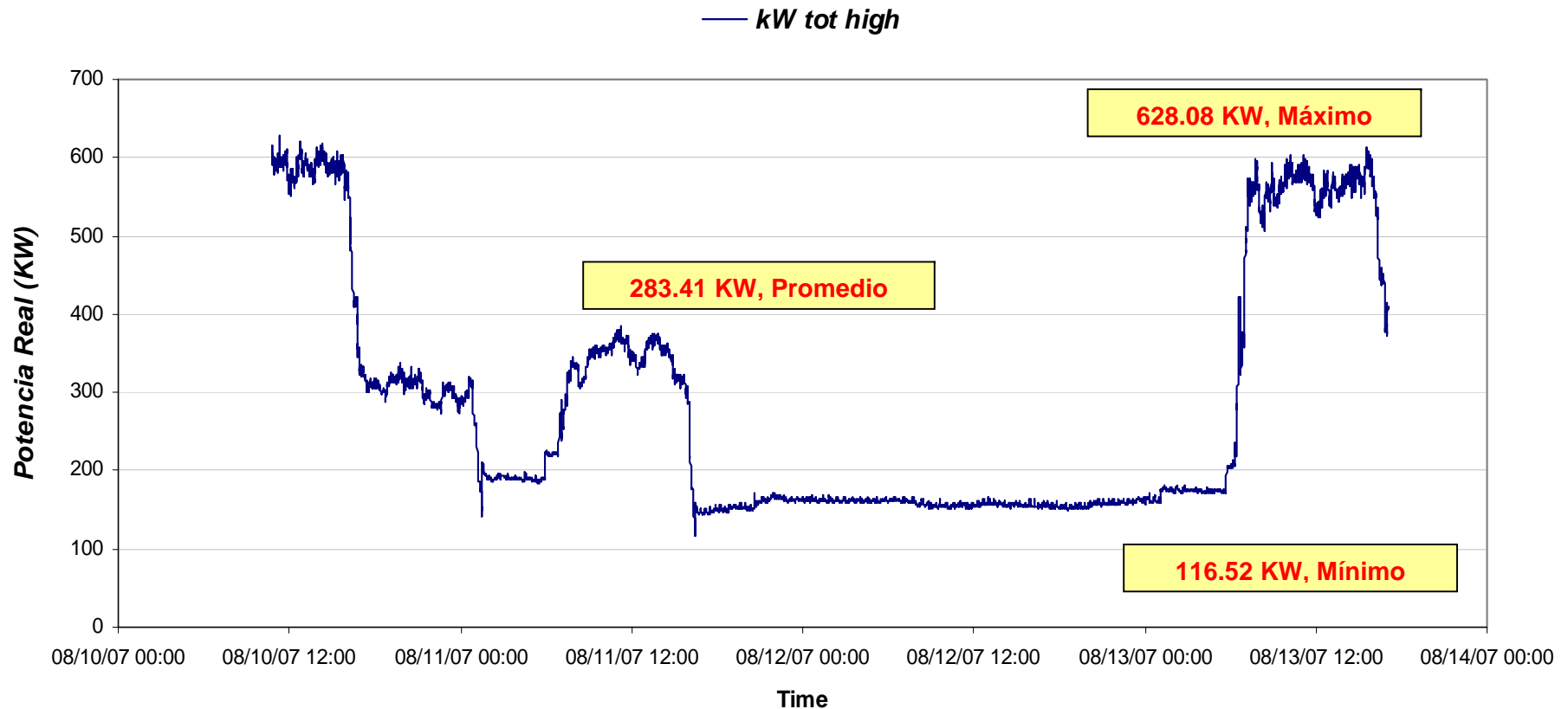
## Perfil de Corriente Máxima de Línea



En la gráfica se muestra el perfil de corriente en un período de 72 hrs. El valor de corriente promedio durante el período fue de **950 Amp.** (*Período Normal de Operación*), registrando un valor máximo en corriente de **1127.6 Amp.**

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

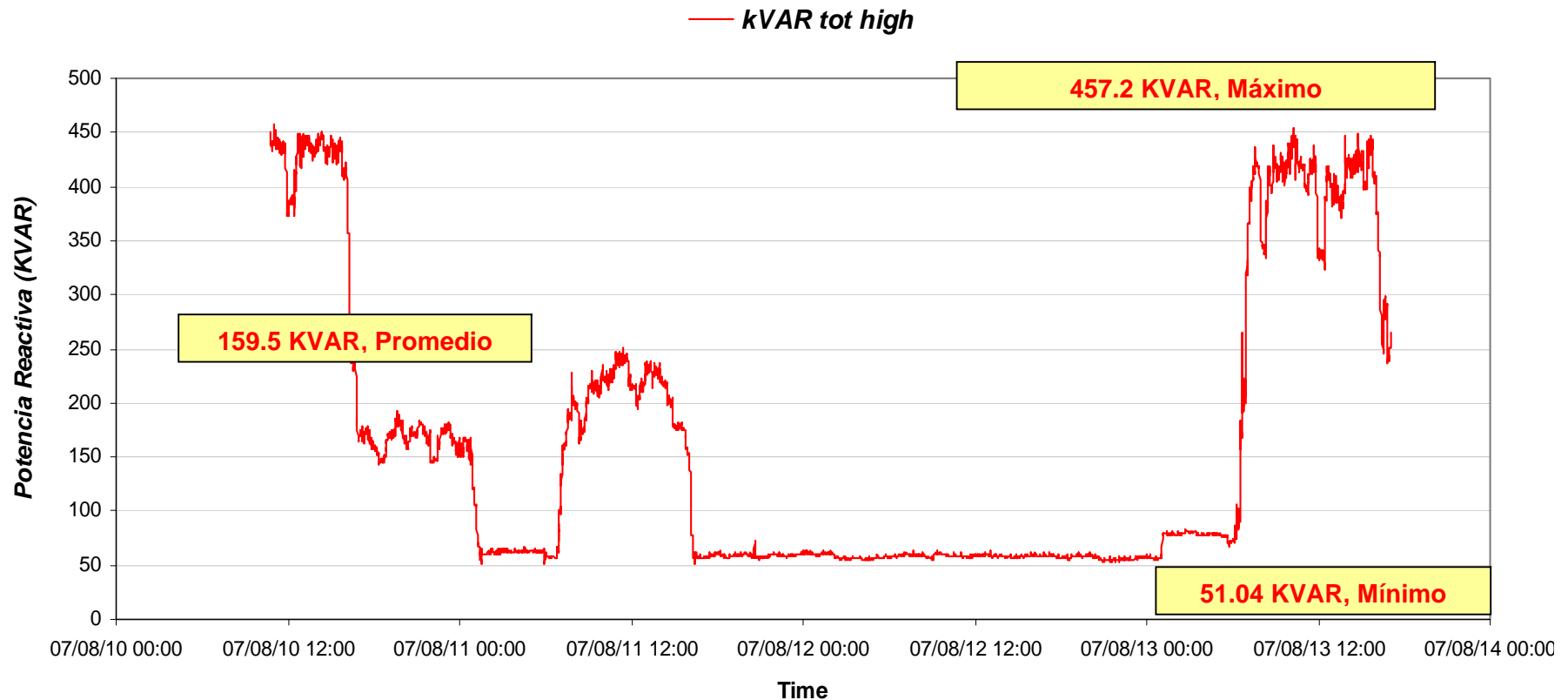
## Perfil de Potencia Real (kW)



En la gráfica se puede observar la demanda de potencia real en kW durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor de potencia real promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **283.41 KW**, registrando un valor máximo de **628.08 KW**. En el **ciclo completo de operación** se registró una potencia real mínima instantánea de **116.52 KW**.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

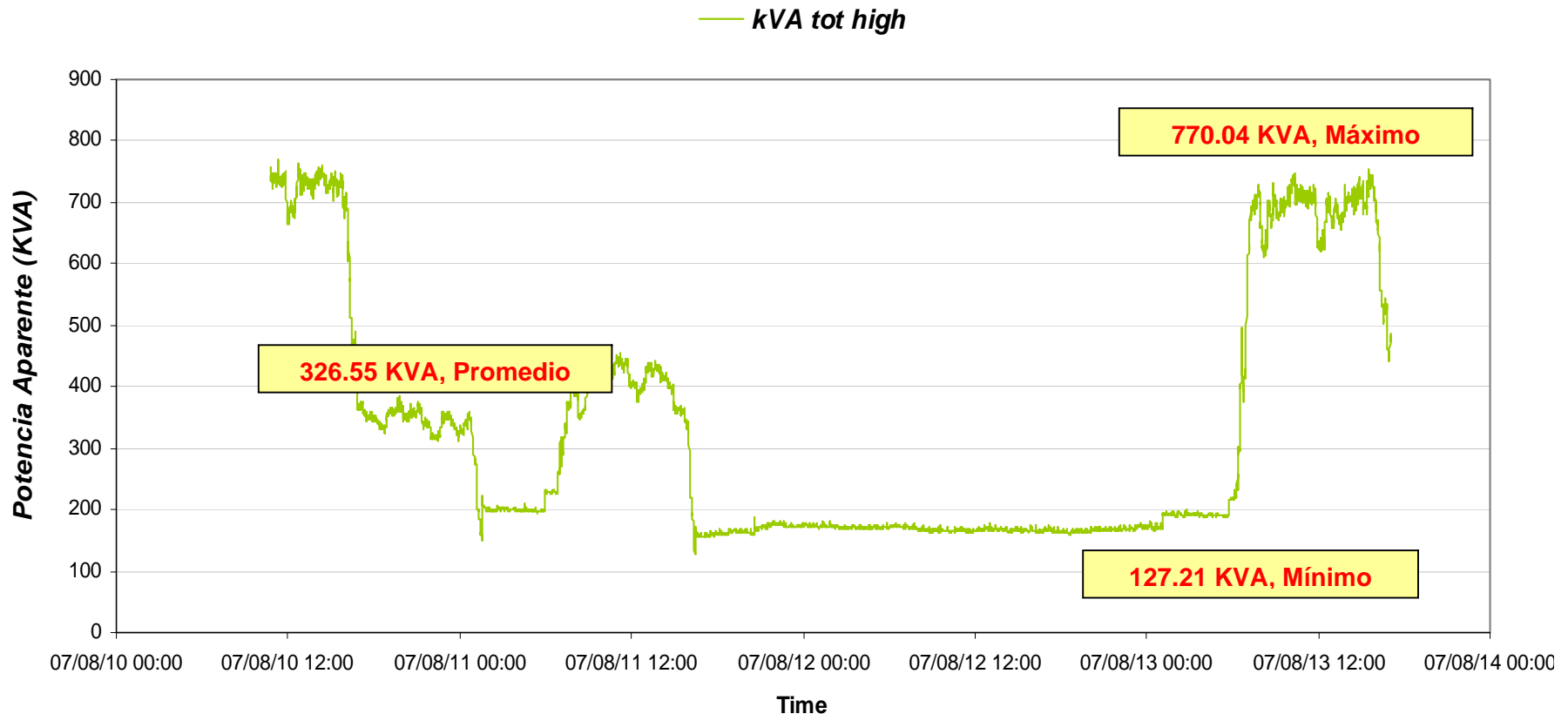
## Perfil de Potencia Reactiva (kVAR)



En la gráfica se puede observar la demanda de potencia reactiva en kVAR durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor de potencia reactiva promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **159.5 KVAR**, registrando un valor máximo de **457.2 KVAR**. En el **ciclo completo de operación** se registró una potencia reactiva mínima de **51.04 KVAR**.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

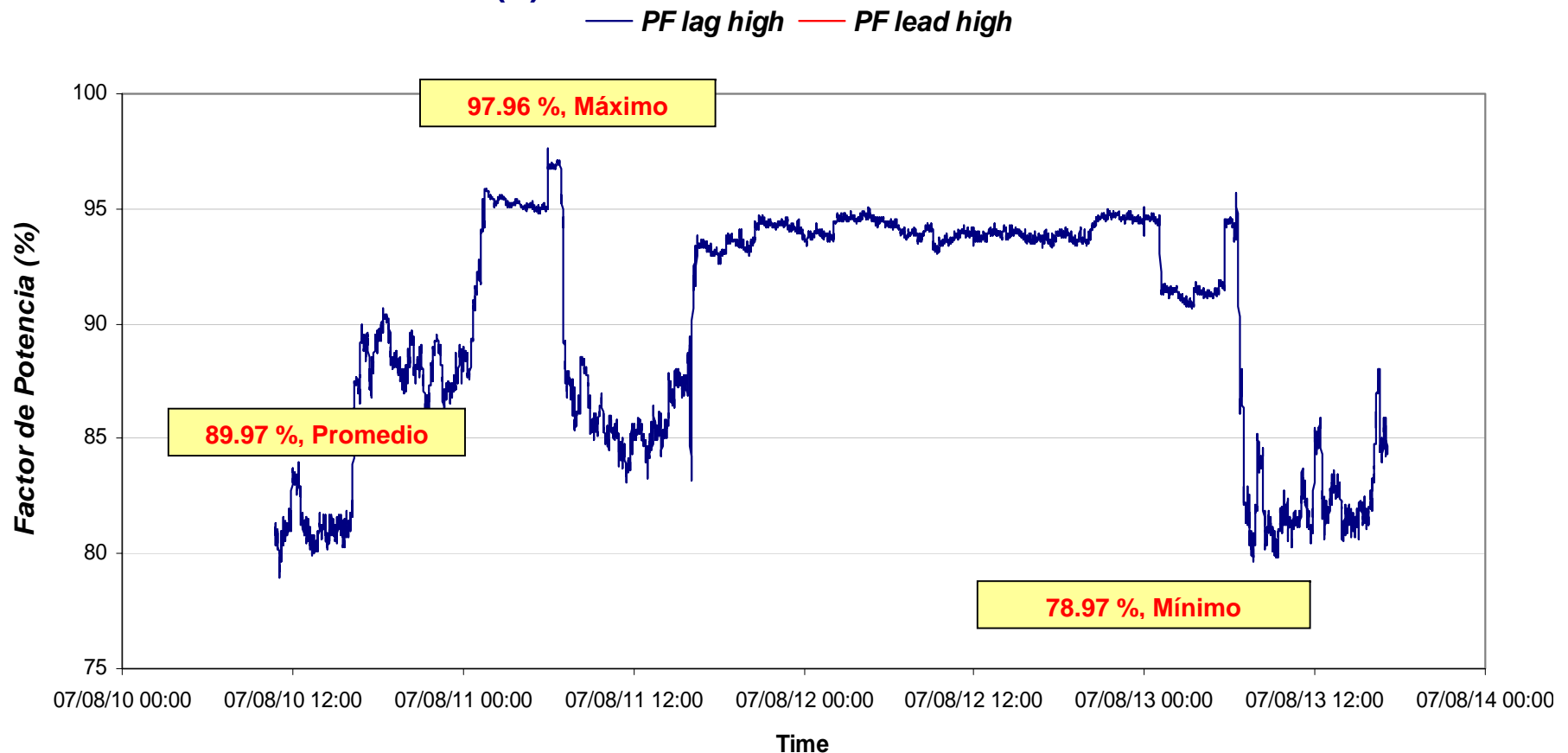
## Perfil de Potencia Aparente (kVA)



En la gráfica se puede observar la demanda de potencia aparente en kVA durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor de potencia aparente promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **326.55 KVA**, registrando un valor máximo de **770.04 KVA**. En el **ciclo completo de operación** se registró una potencia aparente mínima de **127.21 KVA**.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Perfil de Factor de Potencia (%)



En la gráfica se muestra el comportamiento del factor de potencia durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor del factor de potencia promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **89.97 % (inductivo)**, registrando un valor máximo de **97.96 % (Inductivo)**. En el **ciclo completo de operación** se registró un factor de potencia mínimo de **78.97 %**.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Parámetros de Calidad de la Energía

Se realizó el monitoreo en el *Transformador de 1500 kVA* durante un período de 72 hrs., con el objetivo de analizar los parámetros de calidad de energía provenientes de la compañía suministradora:

### Voltaje nominal: 480/277 Volts (Valores Máximos)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		Std. IEEE 1100-1999
				Máximo	Mínimo	
V <sub>A-B</sub>	485.37	476.68	461.03	1.12	-3.95	Si cumple
V <sub>B-C</sub>	489.64	480.95	464.32	2.01	-3.27	Si cumple
V <sub>C-A</sub>	491.72	483.15	465.99	2.44	-2.92	Si cumple

### Voltaje nominal: 480/277 Volts (Valores Mínimos)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		Std. IEEE 1100-1999
				Máximo	Mínimo	
V <sub>A-B</sub>	484.17	475.54	454.68	0.87	-5.28	No cumple
V <sub>B-C</sub>	488.43	479.82	457.71	1.76	-4.64	Si cumple
V <sub>C-A</sub>	490.47	482.04	459.88	2.18	-4.19	Si cumple

Se puede observar que el voltaje promedio es de un valor de **480.26 Volts**, el cual se encuentra **0.05 %** abajo del valor nominal de **480 Volts de la subestación**. La ventana de variación presenta un máximo de **491.72 Volts (2.44 %** arriba del valor nominal) y un mínimo de **454.68 Volts (- 5.28%** abajo del valor nominal), quedando este último **FUERA** del rango recomendado por el estándar *IEEE 1100-1999 tabla 4-3* (variación no mayor al 5% del valor nominal). Este estándar está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico. El transformador se encuentra conectado en el **Tap 4** (33.6 KV/480V).

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Parámetros de Calidad de la Energía

La **demanda en corriente** promedio fue de **428.39 Amp.**, durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de corriente de **1127.66 Amp. (Fase B)**, de forma instantánea.

La **demanda en Potencia Real** promedio fue de **283.41 KW.** , durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de **628.08 KW**, de forma instantánea.

La **demanda en Potencia Reactiva** promedio fue de **159.54 KVAR.** , durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de **457.26 KVAR**, de forma instantánea.

La **demanda en Potencia Aparente** promedio fue de **326.55 KVA** en condiciones normales de operación, registrando un valor en demanda máxima de **770.04 KVA**. Por lo tanto, el porcentaje máximo de utilización fue de **51.33 %** y el promedio de **21.77 %**. Se observa que en el valor máximo instantáneo apenas sobrepasa el 50 % de la capacidad del transformador. En el mismo se puede incrementar hasta 730 KVA de carga.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Parámetros de Calidad de la Energía

A continuación se muestran los valores obtenidos de Distorsión Armónica THD de las señales de voltaje y corriente en sus porcentajes en forma individual y total, reflejo del tipo de carga instalada en el **TRANSFORMADOR DE 1500 KVA**. En las dos tablas siguientes se muestran los porcentajes de **THD en Voltaje como Corriente**, mostrado sus componentes individuales, así como el promedio total, y la comparación con los valores de operación recomendados por el **Std. IEEE 519-1992 sobre Practicas y Requerimientos Establecidos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Distribución**.

THD Voltaje			% THD VOLTAJE TOTAL		Std. IEEE 519-1992
Armónicas			Máximo	Promedio	
5 th	7 th	11 th			
1.62 %	1.03 %	0.75 %	2.42 %	1.67 %	Si cumple

La armónica de voltaje de mayor importancia es la **QUINTA** con un valor del **1.62 %**, la cual se encuentra **DENTRO** de lo recomendado por el estándar de límite máximo de distorsión por componente armónica individual de voltaje (**3 %** para este nivel de voltaje sobre la base de la **tabla 11.1 Std IEEE 519-1992**), y registrando un promedio **THD<sub>v</sub> total de 2.42 %**, lo cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado, de límite máximo de distorsión total de voltaje (**5%** para este nivel de voltaje).

**La Relación de Corto Circuito SCR (Short Circuit Ratio)** se define como la relación de la máxima corriente de cortocircuito con la corriente máxima promedio consumida por el transformador. Basándose en esta relación, se toman los criterios de límites permitidos en armónicas individuales, como también en su porcentaje límite total. Para este transformador, la corriente de cortocircuito ( $I_s$ ) es igual a **32,664.7 Amp.** y la corriente máxima promedio de la carga que registra el transformador es de **1,127.6 Amp.**, lo que nos da una Relación de Cortocircuito de **28.96**.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Análisis Armónico

Las formas de onda y espectro armónico característico de corriente corresponden a:

THD <sub>Corriente</sub>								
SCR=I <sub>s</sub> /I <sub>L</sub>	h<11				Std. IEEE 519-1992	% THD <sub>CORRIENTE TOTAL</sub>		Std. IEEE 519-1992
	3 th	5 th	7 th	11 th		Máximo	Promedio	
28.96	1.7%	6.78%	1.40 %	1.32%	Si cumple	7.35 %	6.65 %	Si cumple

La corriente armónica de mayor contribución es la **QUINTA**, con un valor del **6.78 %**, con respecto a la componente fundamental, la cual se encuentra **DENTRO** de lo recomendado por el estándar de límite máximos de distorsión por componente armónica individual de corriente (**7 % sobre la base de la SCR calculada** en referencia a la **tabla 10.3 Std IEEE 519-1992**), y registrando un **THD<sub>i</sub> total** de **7.35 %**, lo cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el estándar de límite máximos de distorsión Total de Corriente (**8 % sobre la base de la SCR calculada**).

## Factor de Potencia

Se registró un valor promedio de **89.97 %**, con un valor mínimo de **78.97 %**. Por lo que se requieren **450 KVAR** para compensar reactivamente hasta llegar al factor de potencia unitario.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## Factor de Potencia

**Caso propuesto:** Corregir el factor de potencia a un porcentaje de 100 % para lo cual se requiere una compensación de potencia reactiva de **450 KVAR**.

CALCULO DE POTENCIA REACTIVA REQUERIDOS PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA										
ID	Datos					Formulas				Cap. del Banco
	KWA	FPA	KVAA	KVARA	FPd	ANGA	ANGd	KVA <sub>d</sub>	KVAR <sub>d</sub>	KVARCAP
SUB.1	545.00	0.7897	690.14	423.39	1.0000	37.8425	0.0000	545.00	0.00	461.01

La frecuencia de resonancia armónica del transformador es la **21 armónica** ó 1260 Hz.

## ACCIONES CONCRETAS

Para este caso se recomienda la Instalación de un **banco de capacitores híbrido de 450 KVAR, es decir una parte fija de 100 KVAR y una parte automática de 350 KVAR** con un voltaje nominal de 480 Volts. Lo anterior se valida de acuerdo al contenido armónico registrado en condiciones de carga normal el cual es muy bajo, se observa en condiciones de baja carga un incremento del mismo sin embargo no es significativa su magnitud.

# Tablero Principal Subestación 1 (Transformador de 1500 KVA)

## ELEVAR EL FACTOR DE POTENCIA GENERAL DE LA PLANTA (CASO 100 %)

TABLA DE RESUMEN	
AHORRO EN COSTO MENSUAL	\$ 27,809
PORCENTAJE DE AHORRO EN FACTURACION MENSUAL DE C.F.E.	2.5 %
INVERSION ESTIMADA	\$ 248,108 M.N
RETORNO DE LA INVERSIÓN	8.9 Meses

Mediante la implementación de esta oportunidad de ahorro se pretende elevar el factor de potencia general de la planta, del promedio actual de 89.97 % a 100%. Con la implementación del filtro de armónicas propuesto se evitara su futuro daño y se prolongara su vida útil hasta los 7 años que tienen de diseño.

# ***Estudio de Factor de Potencia y Armónicas SECOVI<sup>®</sup>***



***Invamex, S.A. de C.V.***

***Planta Reynosa, Tamaulipas.***

***Tablero Principal Subestación 2***

***Agosto del 2007***

# **Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)**

## **Metodología para Monitoreo**

Para la realización del presente estudio, se hizo uso de un equipo trifásico marca POWER MEASUREMENT MODELO 7700 con sensores de corriente de una capacidad de 3,000 amperes.

El equipo fue conectado en las terminales de salida del transformador, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición.

El período de medición fue de 72 horas continuas en cada transformador, tomado muestras cada minuto, esto representa un muestreo total de 4,570 muestras para cada parámetro eléctrico registrado.

Las 4,570 muestras registradas se almacenan en memoria y se procesan para obtener los perfiles de operación de cada parámetro eléctrico.

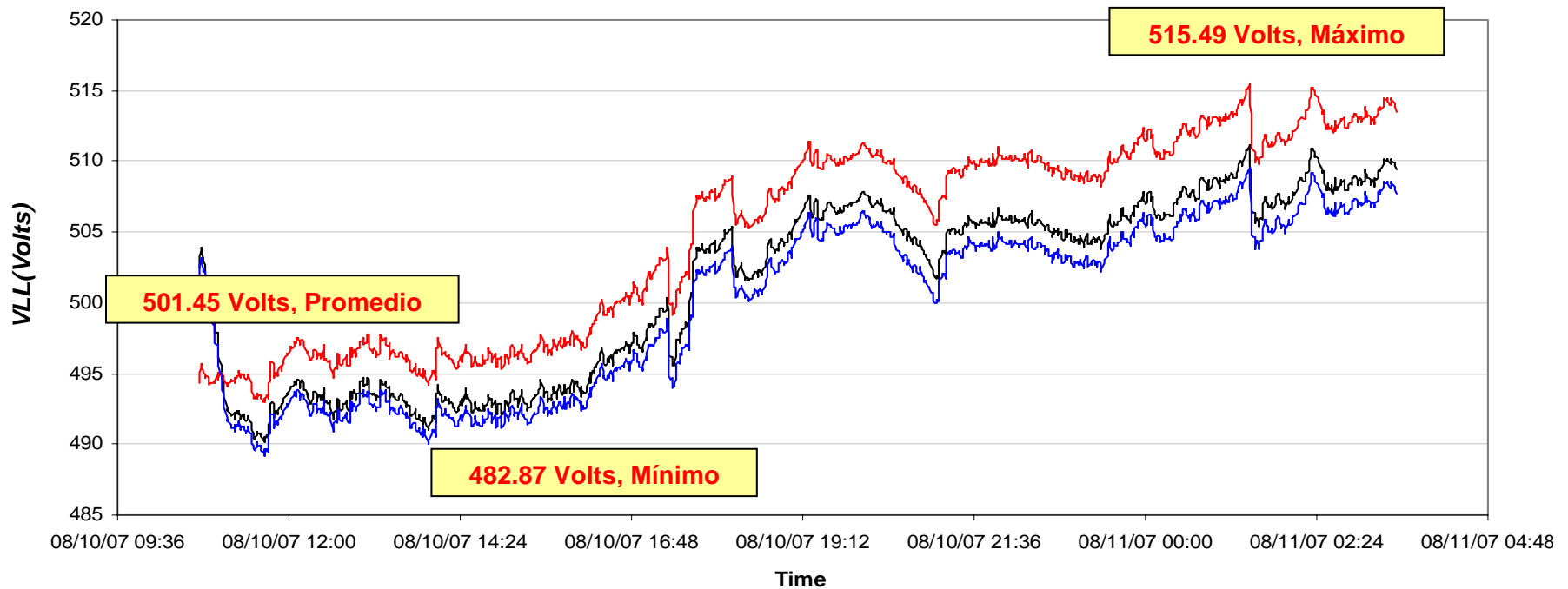
De cada parámetro eléctrico se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y ser comparados con lo que recomiendan los estándares internacionales.

Por último se programaron los equipos para detectar eventos de tipo transitorio en voltaje con variaciones por encima del 10% de voltaje pico, con la finalidad de evaluar si los arranques de cargas internas impactan en el voltaje de suministro, o en su defecto, registrar los eventos que son generados externamente y son reflejados hacia este nodo.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Perfil de Voltaje Máximo de Línea a Línea

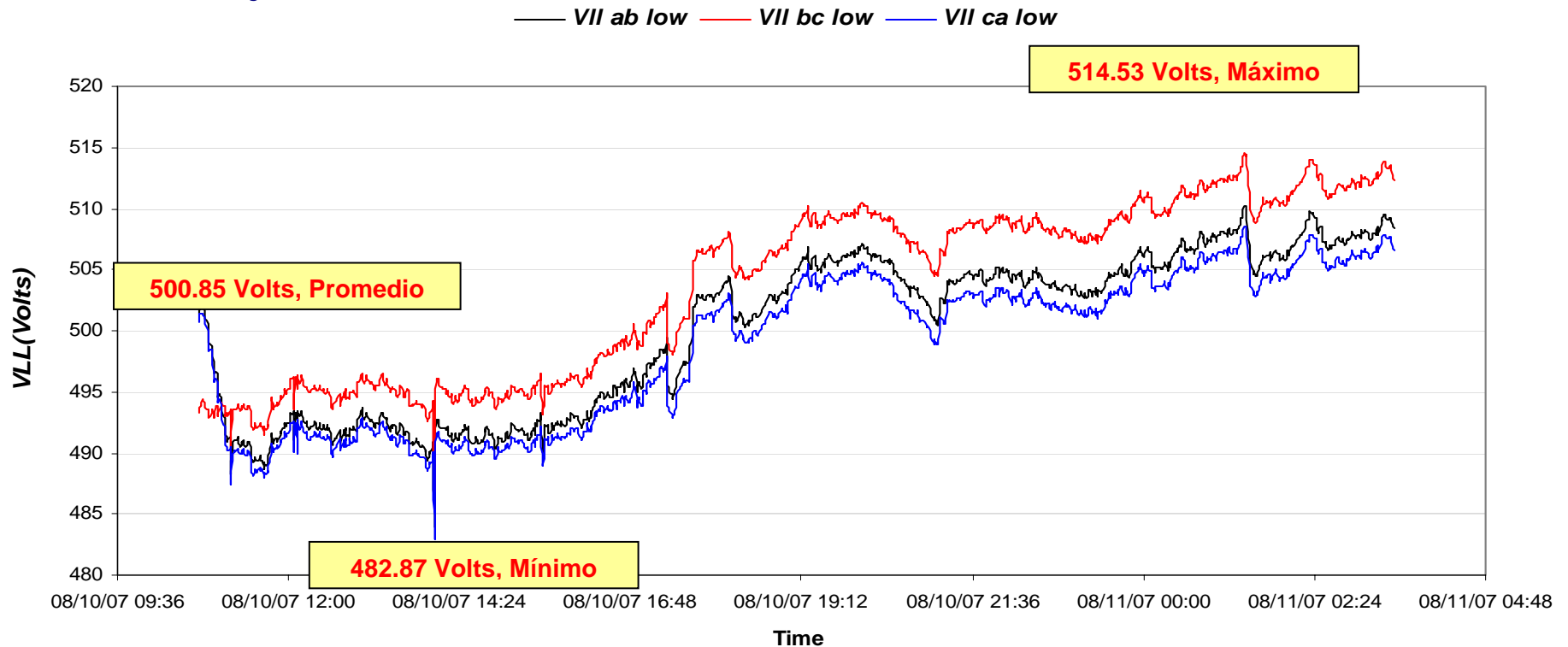
— VII ab high — VII bc high — VII ca high



En la gráfica se muestra el perfil del voltaje en un período de 72 hrs. El comportamiento del voltaje promedio es de **501.45 Volts**, valor que se encuentra **4.47 %** abajo del valor nominal de **480 Volts del Transformador 2500 kVA**. La ventana de variación presenta un máximo de **515.49 Volts (7.39% arriba del valor nominal)** y un mínimo de **482.87 Volts (0.60% abajo del valor nominal)**. Los valores máximos se presentaron de manera instantánea, sin embargo estos valores se encuentra **DENTRO** del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual esta enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

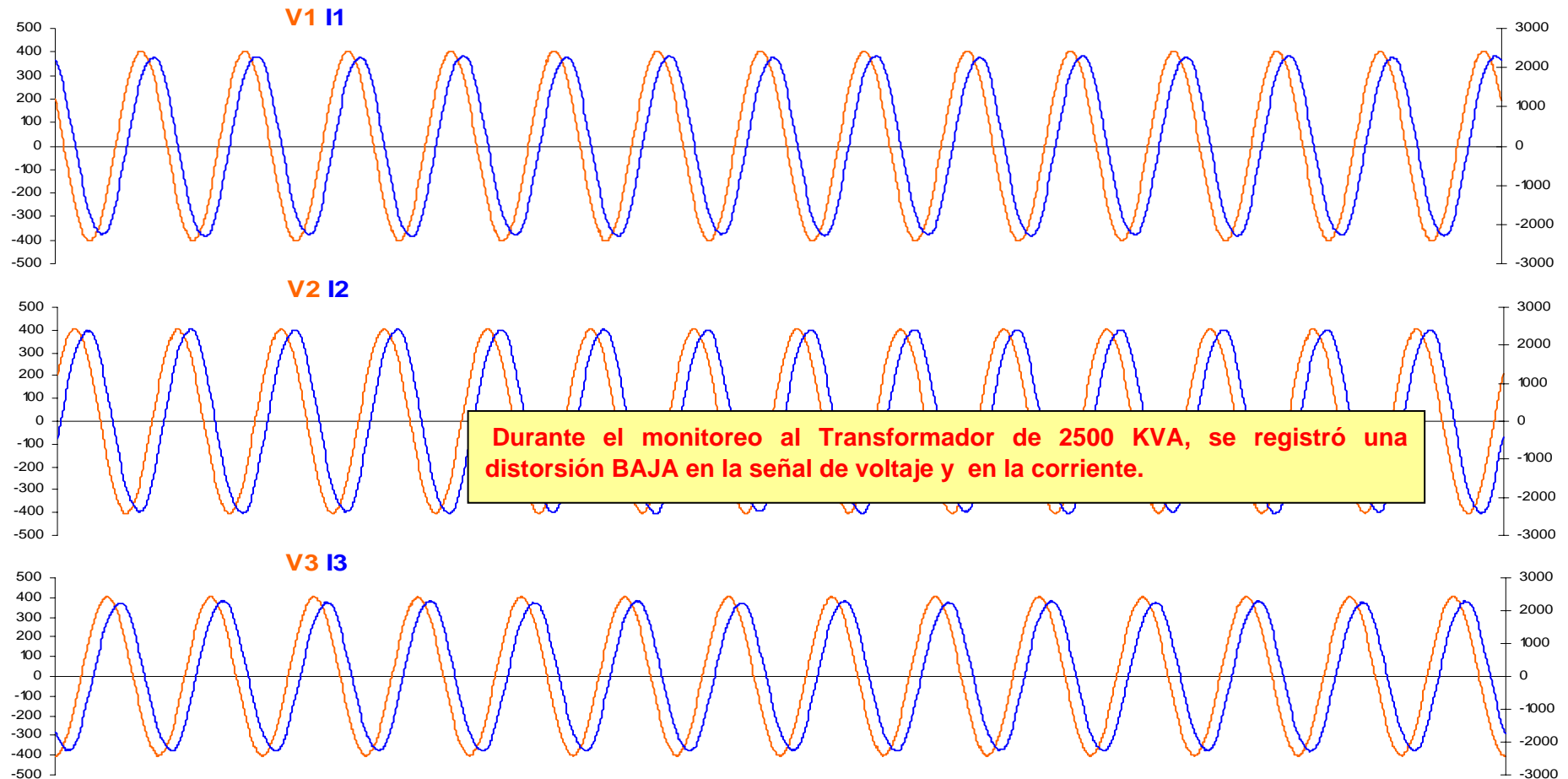
## Perfil de Voltaje Mínimo de Línea a Línea



En la gráfica se muestra el perfil del voltaje en un período de 72 hrs. El comportamiento del voltaje promedio es de **500.85 Volts**, valor que se encuentra **4.34 %** abajo del valor nominal de **480 Volts del Transformador de 2500 kVA**. La ventana de variación presenta un máximo de **514.53 Volts ( 7.19 % arriba del valor nominal)** y un mínimo de **482.87 Volts (0.60 % abajo del valor nominal)**. Los valores mínimos se presentaron de manera instantánea, sin embargo estos valores se encuentra **FUERA** del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual esta enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

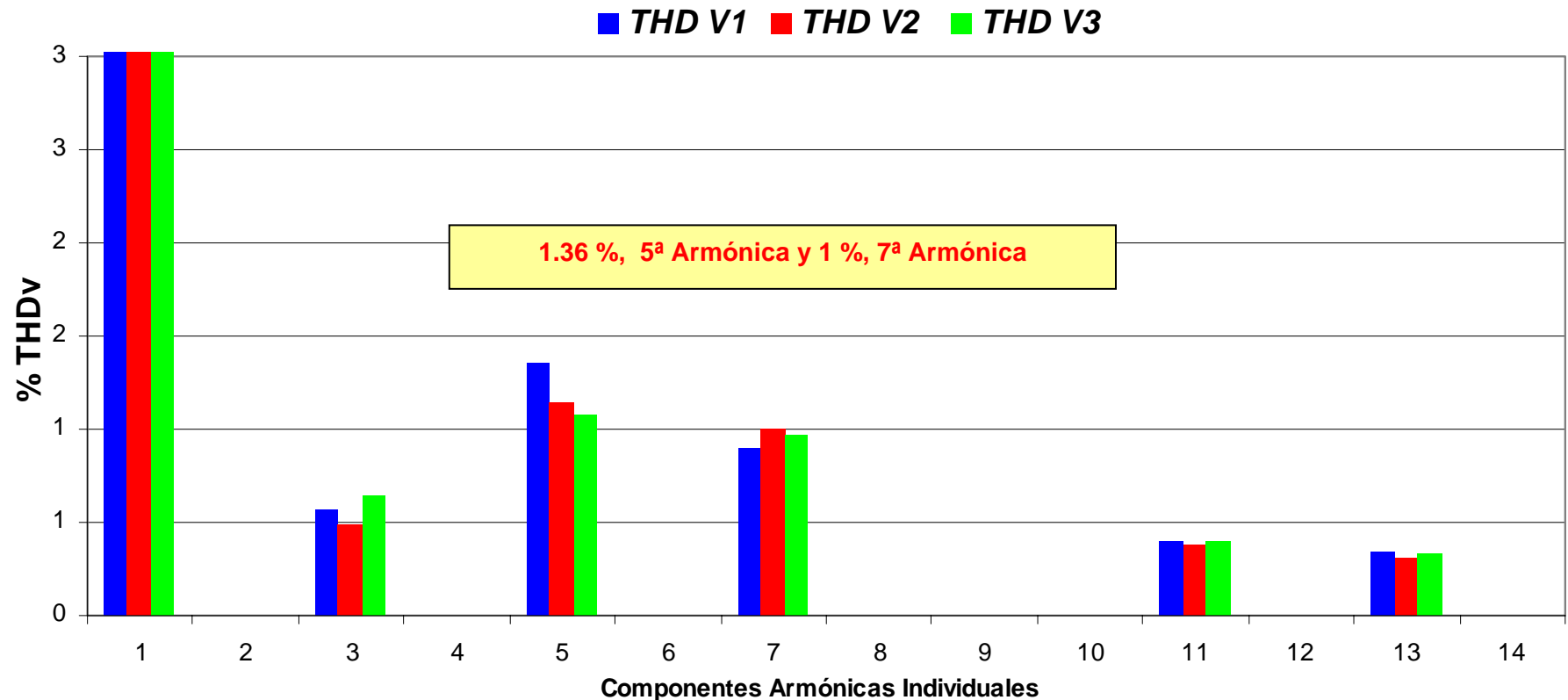
## Formas de Onda Voltaje y Corriente



En los gráficos se muestran las formas de onda individuales (por fase), donde se observa una **BAJA** distorsión en la señal de voltaje efecto que no se observa en las formas de onda de corriente. (Ver análisis completo en Conclusiones y Recomendaciones).

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

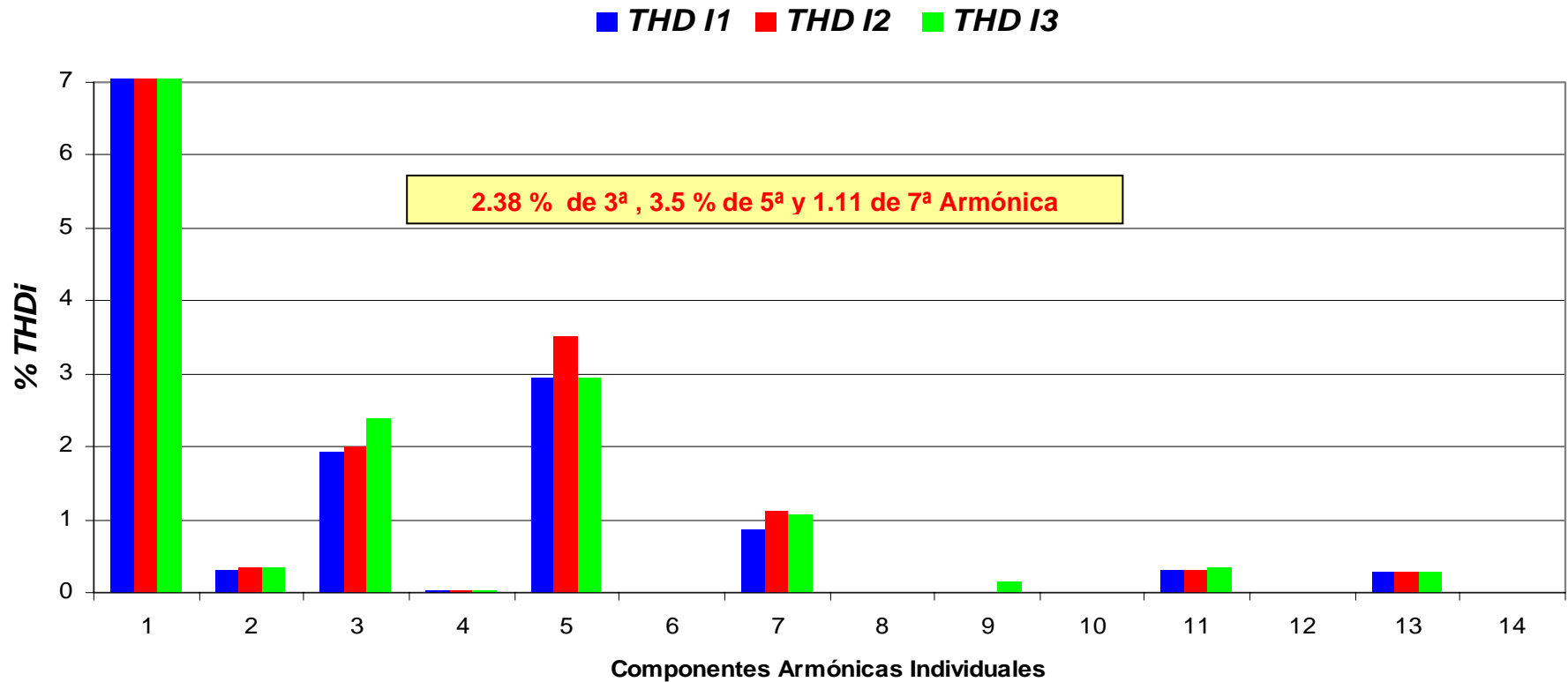
## Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)



En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en voltaje (THDv) del Transformador de 2500 kVA. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las componentes más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el **STD. 519-1992**. El valor total de **THDv** es de **1.56 %**, con una contribución individual principalmente de **5ª y 7ª** armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

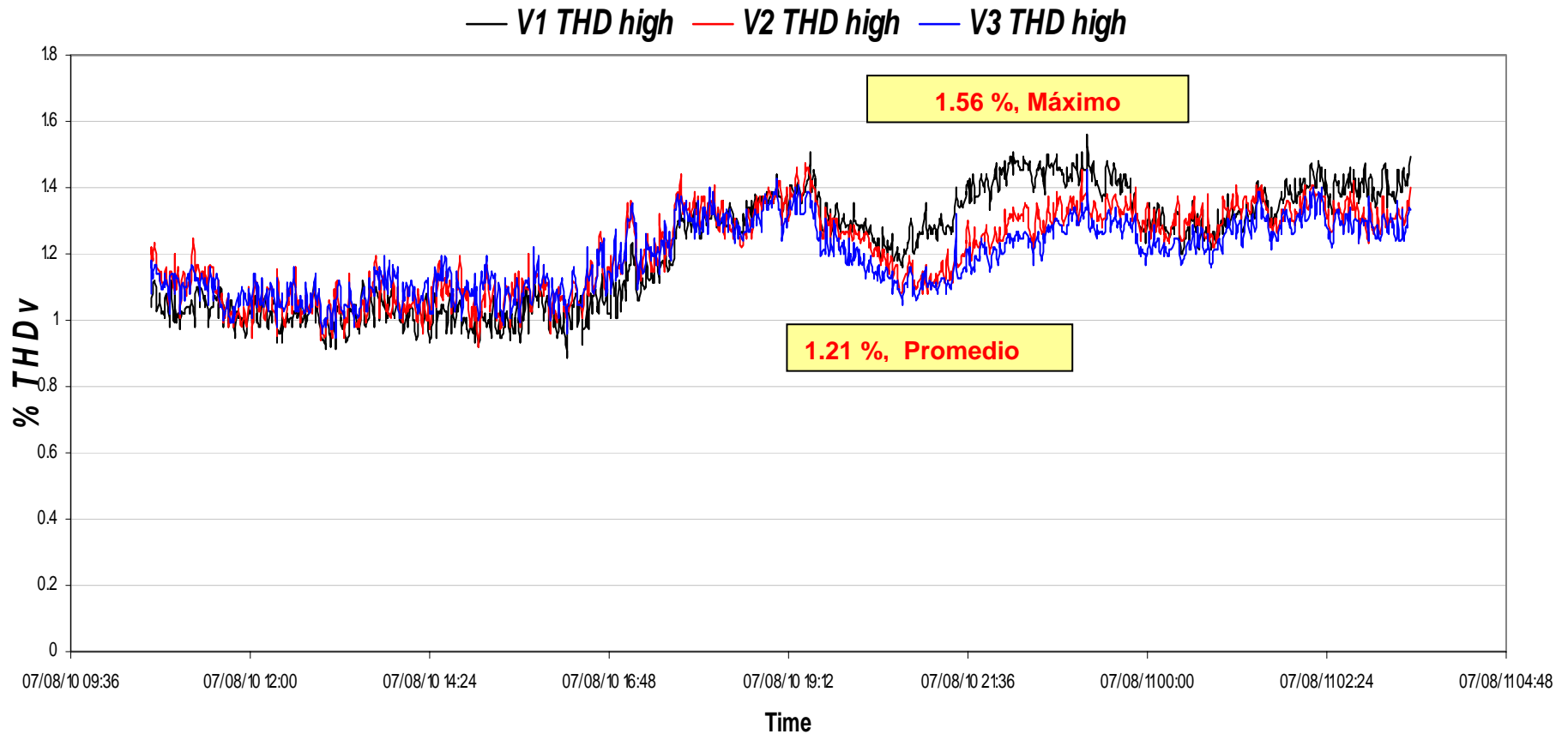
## Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi)



En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en corriente (THDi) del Transformador de 2500 kVA. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el **STD. 519-1992**. El valor total de **THDi** es de **4.46 %**, con una contribución individual principalmente de **3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 7<sup>a</sup>** armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

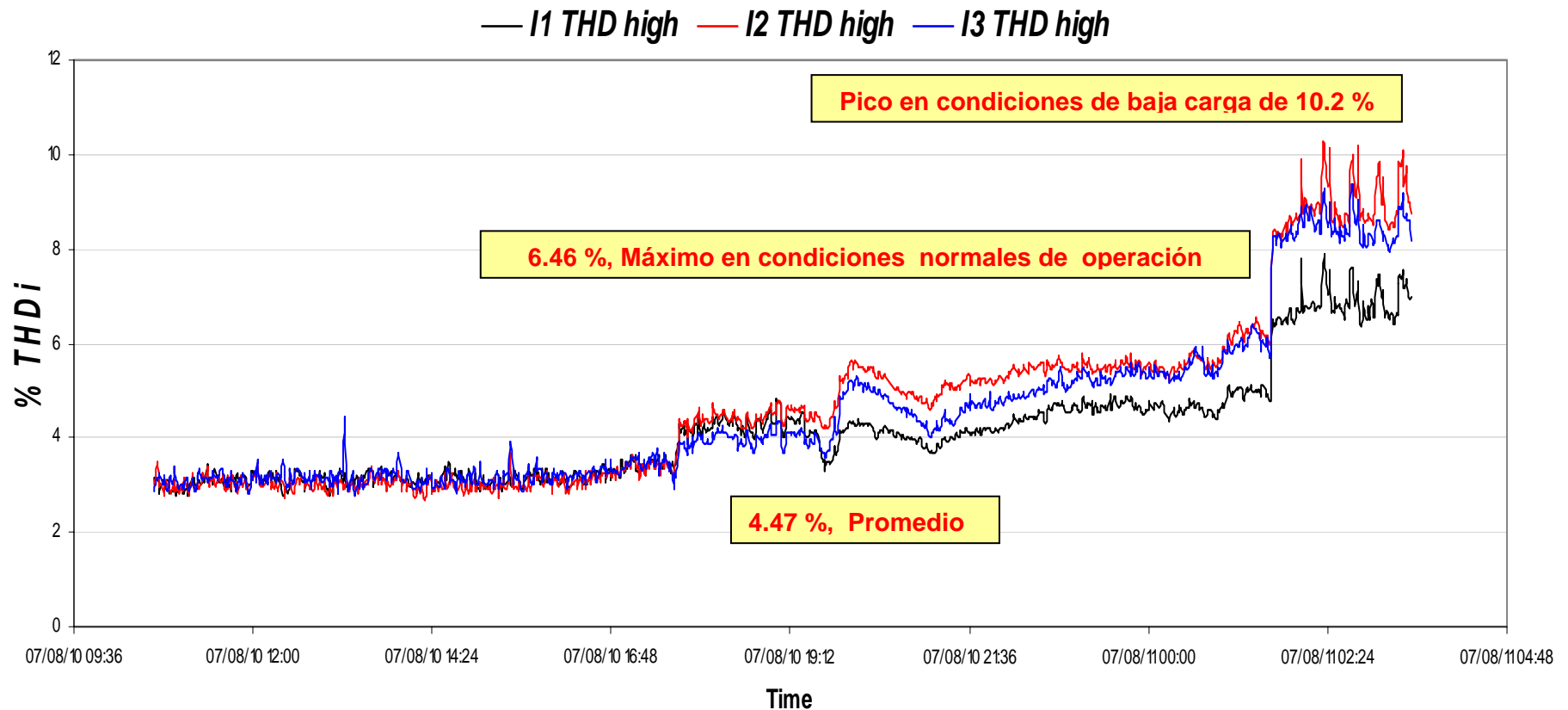
## Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (THDv)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en voltaje (THDv) en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje promedio de **1.21 %** y un valor máximo de **1.56 %**, el cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

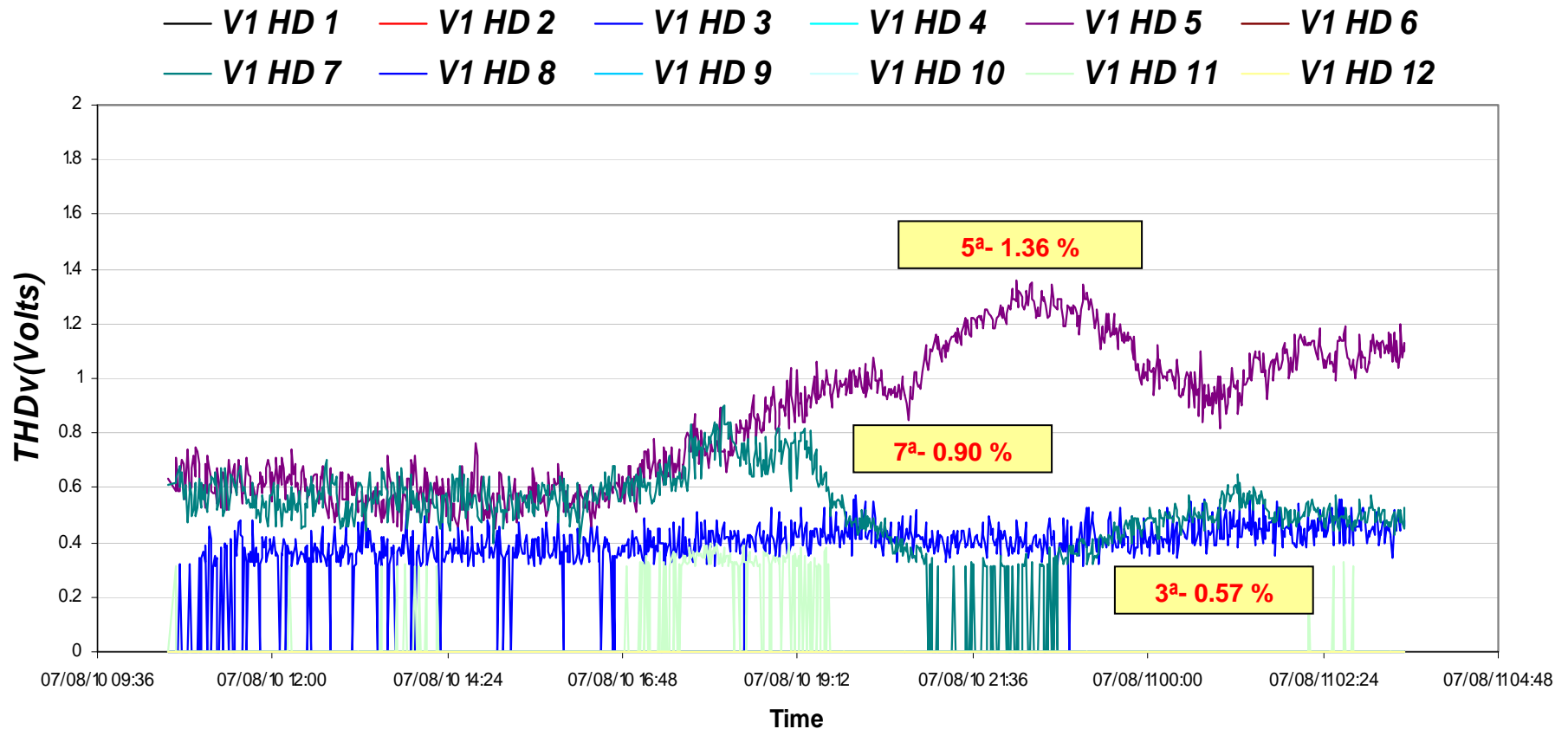
## Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (THDi)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en corriente (THDi) en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje máximo de **6.46 %** y un valor promedio de **4.47 %**, el cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD. IEEE 519-1992.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (Componente Individual) (THDv)

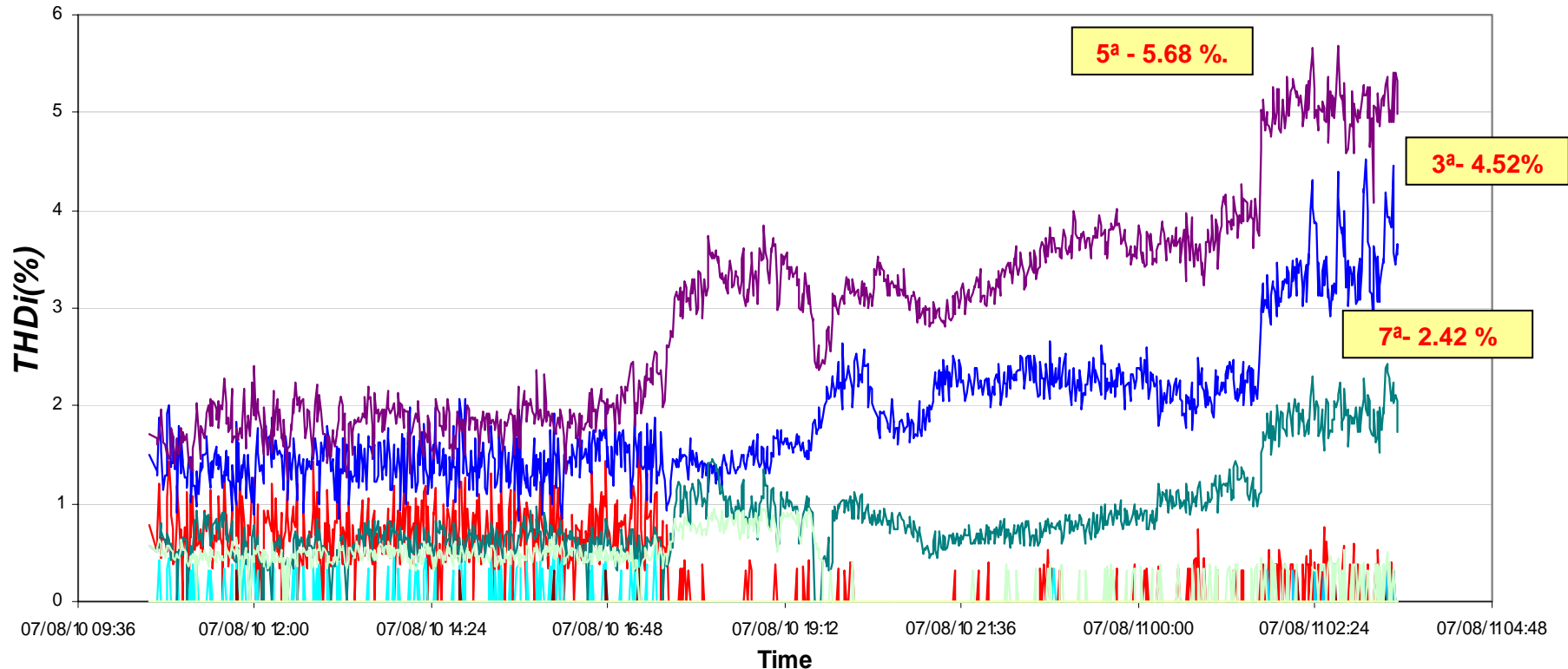


En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en voltaje en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje máximo de **1.36 % de 5<sup>a</sup> armónica** y un valor máximo de **0.90 % de 7<sup>a</sup> armónica**, el cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992. sin embargo este valor se presenta de manera esporádicamente.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (Componente Individual) (THDi)

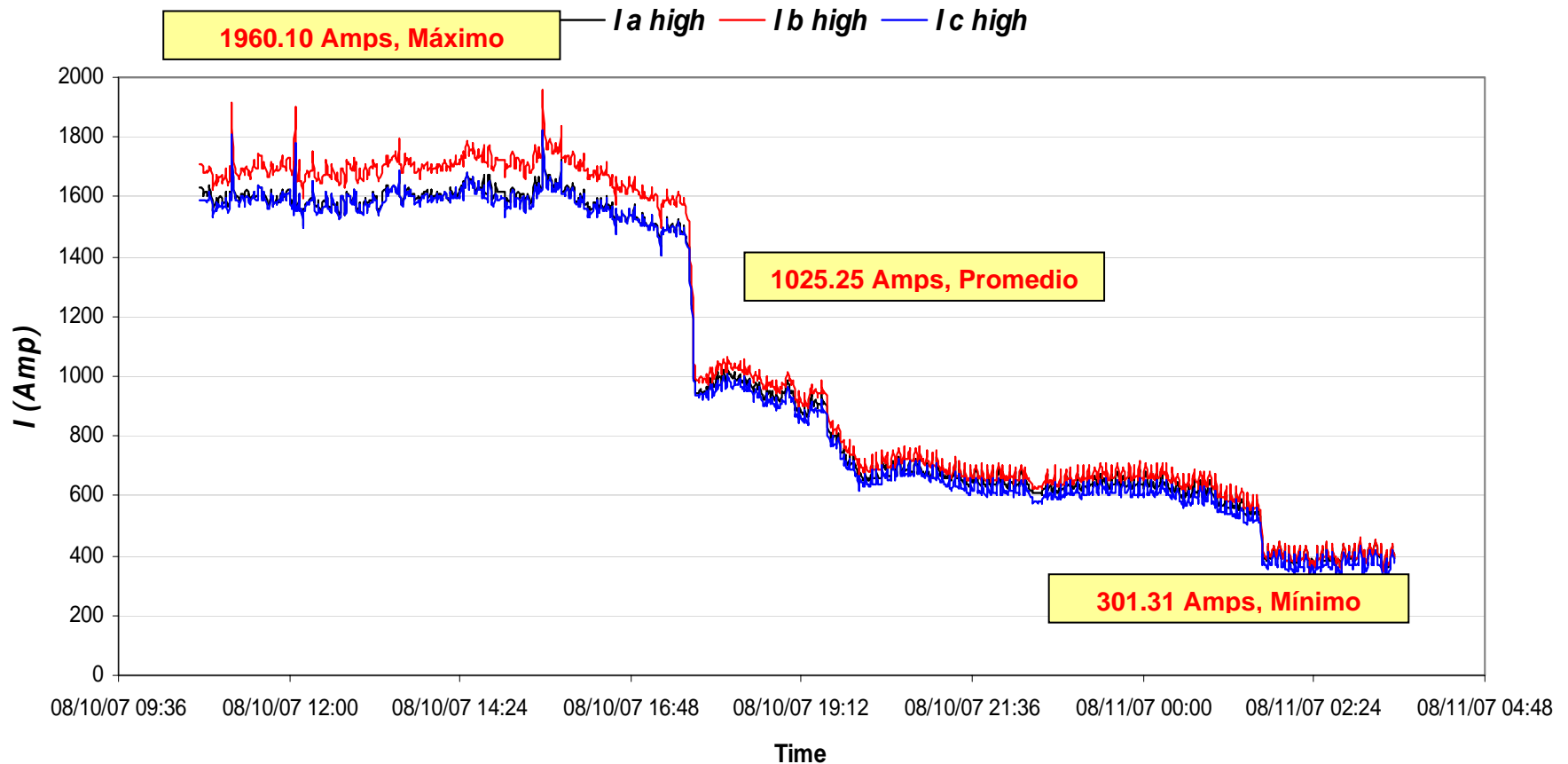
— I1 HD 1    — I1 HD 2    — I1 HD 3    — I1 HD 4    — I1 HD 5    — I1 HD 6  
 — I1 HD 7    — I1 HD 8    — I1 HD 9    — I1 HD 10    — I1 HD 11    — I1 HD 12



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en corriente en un período de 72 hrs. Se registró un porcentaje máximo de **5.68 % de 5ª armónica**, **4.52 % de 3ª armónica**, los cuales se encuentran **DENTRO** del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

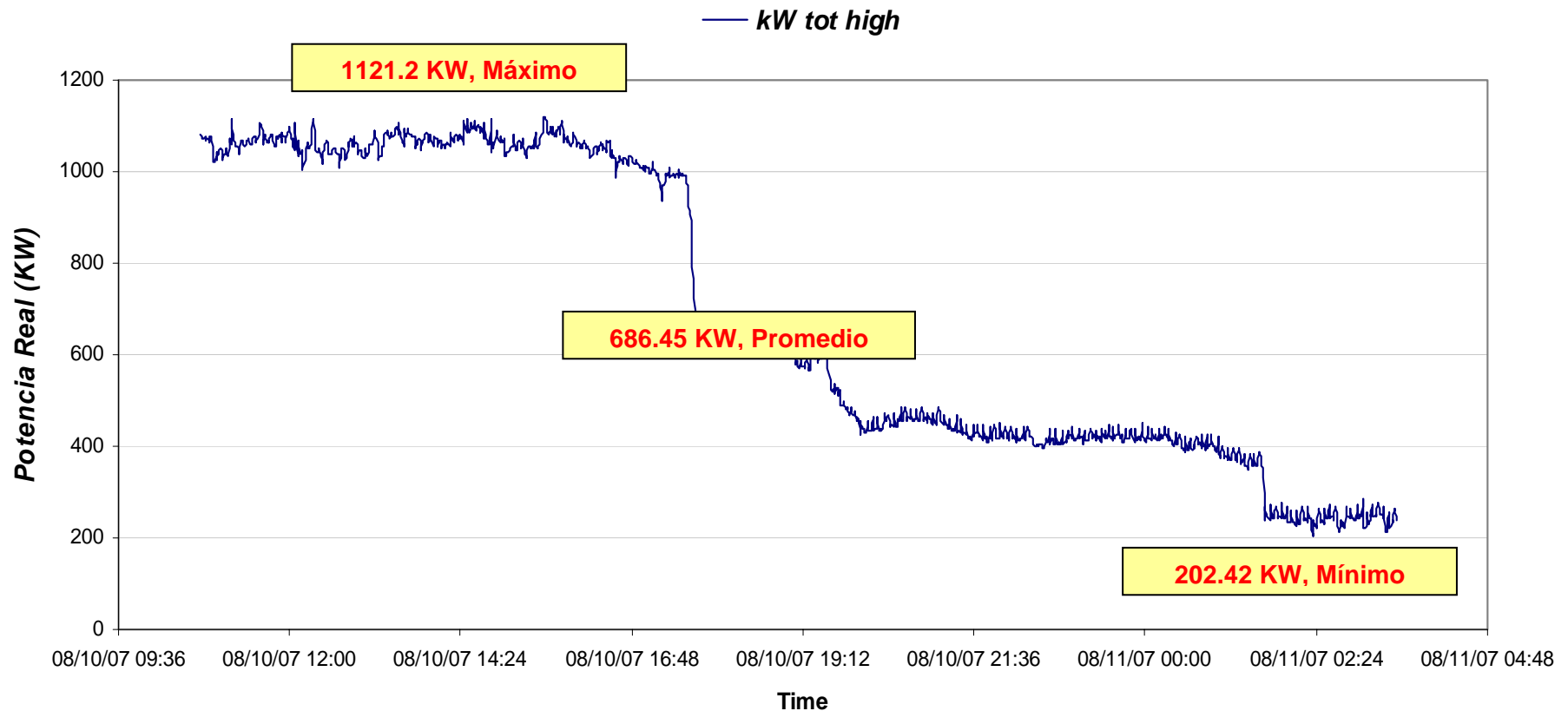
## Perfil de Corriente Máxima de Línea



En la gráfica se muestra el perfil de corriente en un período de 72 hrs. El valor de corriente promedio durante el período fue de **1025.25 Amp.** (**Período Normal de Operación**), registrando un valor máximo en corriente de **1838.7 Amp.** Y un máximo instantáneo de **1960.1 Amp.**

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

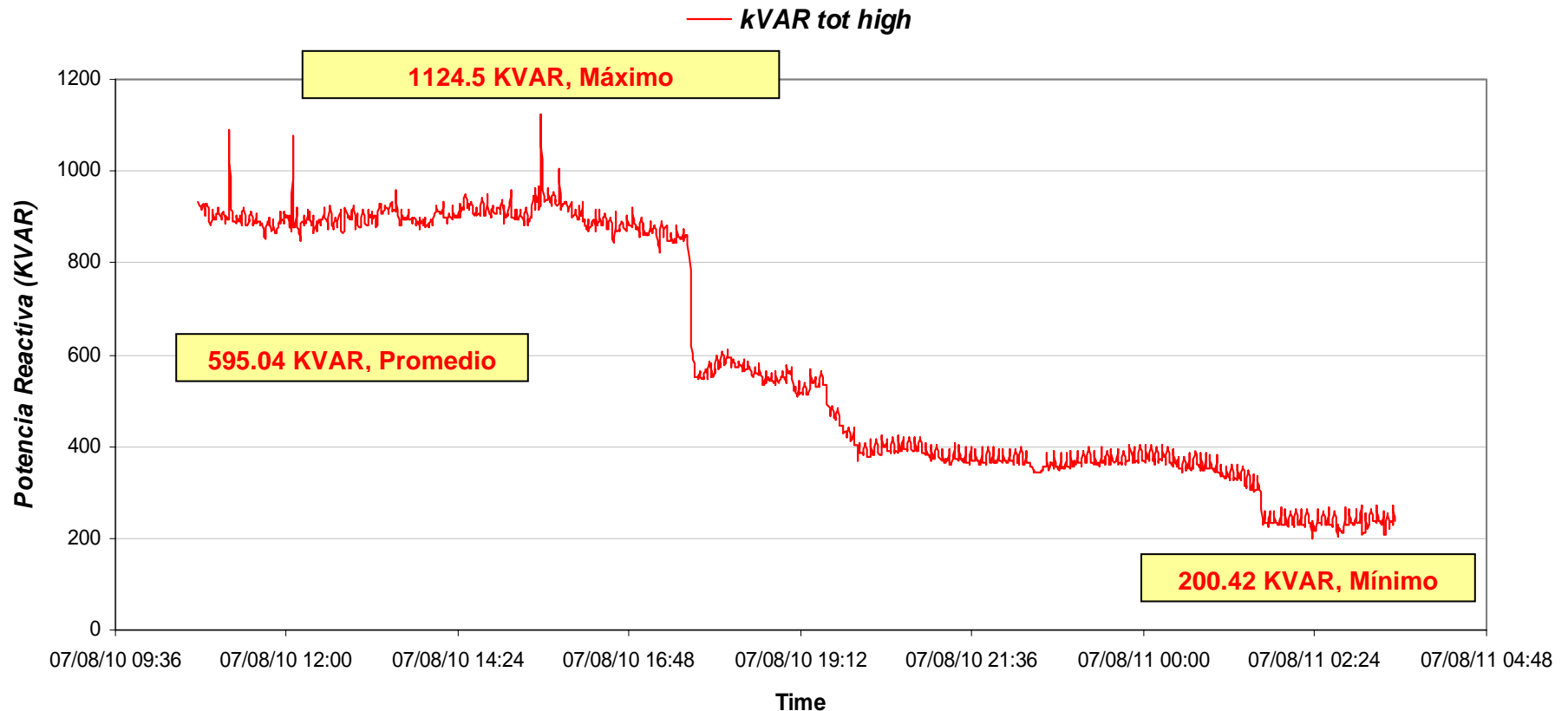
## Perfil de Potencia Real (kW)



En la gráfica se puede observar la demanda de potencia real en kW durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor de potencia real promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **686.45 KW**, registrando un valor máximo de **1121.2 KW**. En el **ciclo completo de operación** se registró una potencia real mínima instantánea de **202.42 KW**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

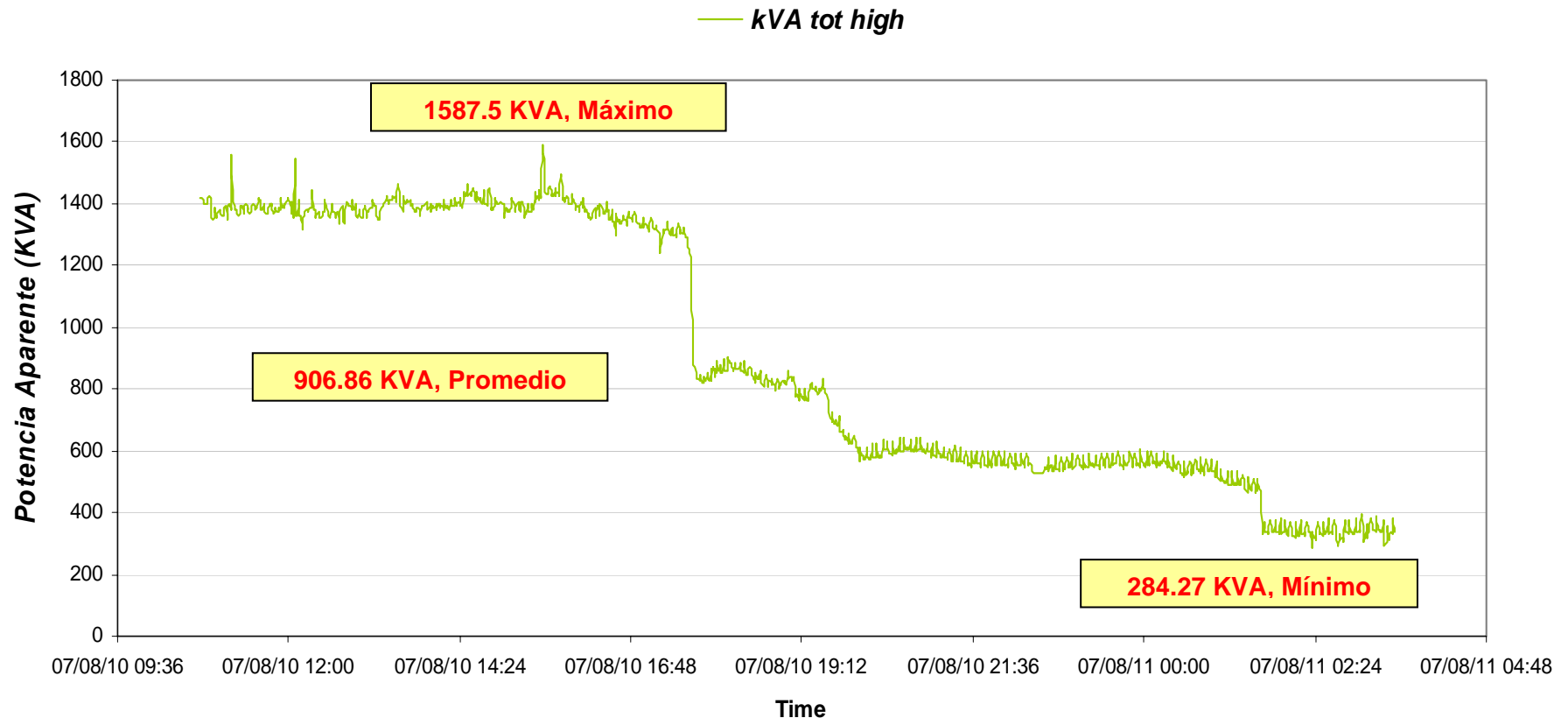
## Perfil de Potencia Reactiva (kVAR)



En la gráfica se puede observar la demanda de potencia reactiva en kVAR durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor de potencia reactiva promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **595.04 KVAR**, registrando un valor máximo de **1124 KVAR**. En el **ciclo completo de operación** se registró una potencia reactiva mínima de **200.42 KVAR**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

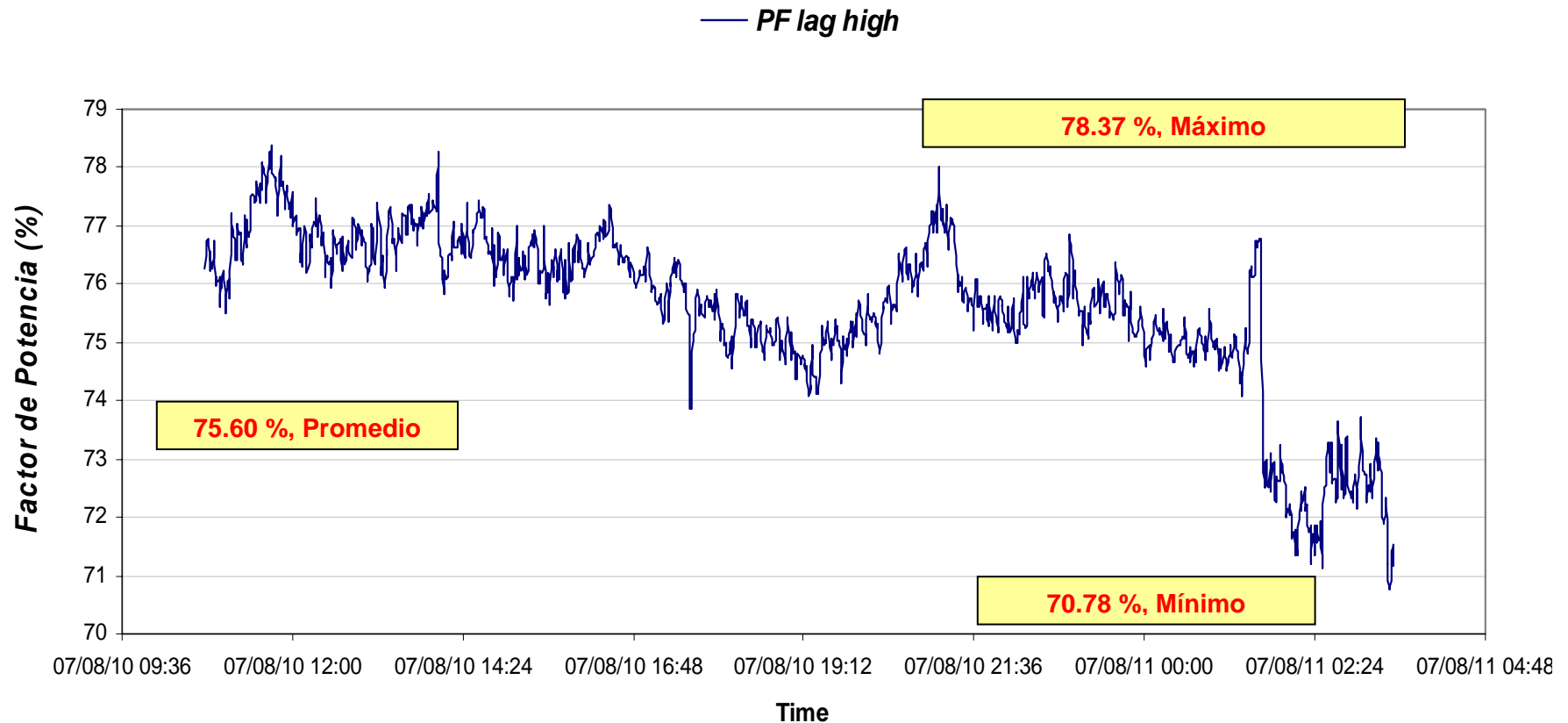
## Perfil de Potencia Aparente (kVA)



En la gráfica se puede observar la demanda de potencia aparente en kVA durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor de potencia aparente promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **906.86 KVA**, registrando un valor máximo de **1587.56 KVA**. En el **ciclo completo de operación** se registró una potencia aparente mínima de **284.27 KVA**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

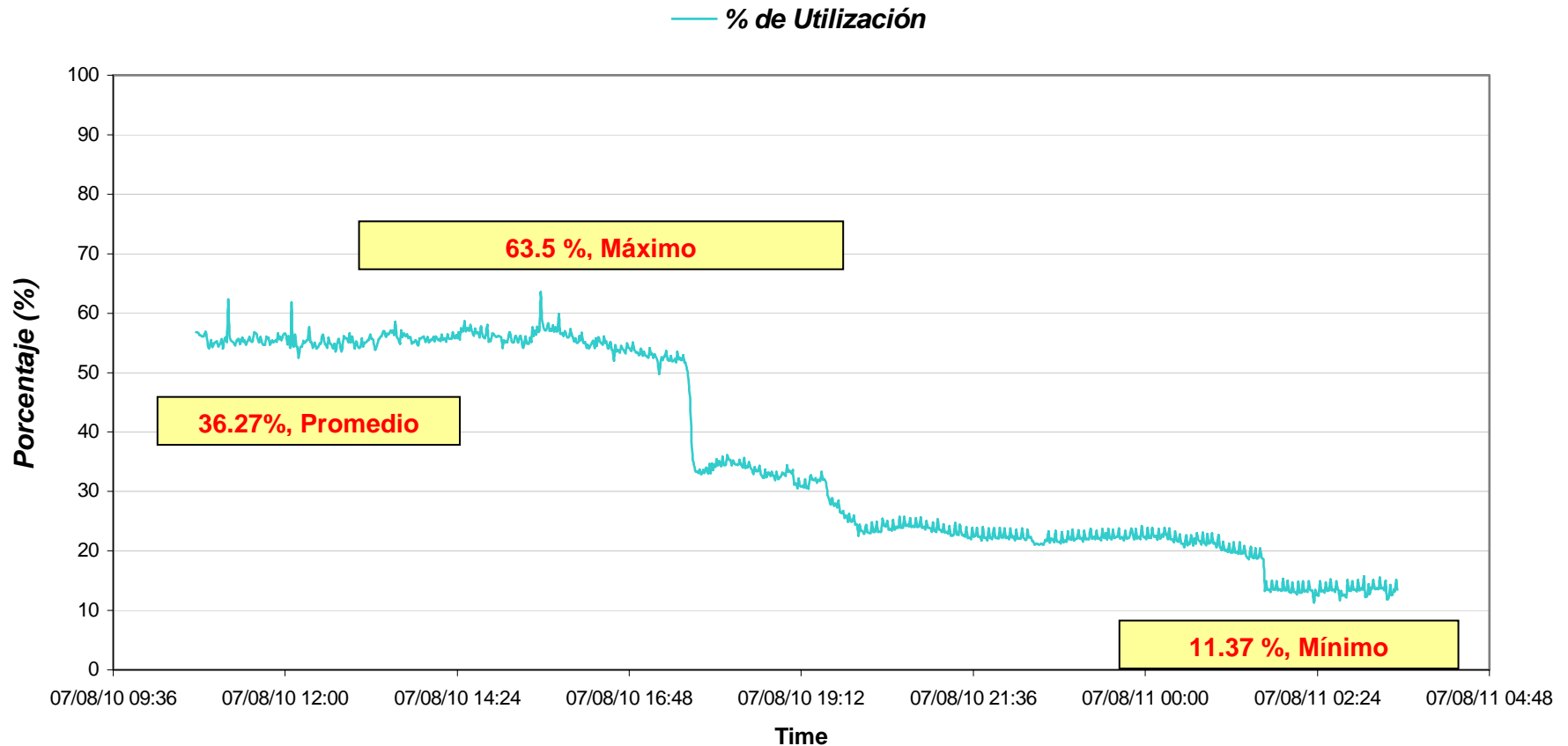
## Perfil de Factor de Potencia (%)



En la gráfica se muestra el comportamiento del factor de potencia durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor del factor de potencia promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **75.60 % (inductivo)**, registrando un valor máximo de **78.37 % (Inductivo)**. En el **ciclo completo de operación** se registró un factor de potencia mínimo de **70.78 %**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Perfil de Porcentaje de Utilización (%)



En la gráfica se muestra el comportamiento de la utilización del transformador de 2500 KVA durante el período de monitoreo de 72 hrs. El valor promedio durante el período de monitoreo (**Operación Normal**) fue de **36.27 % (inductivo)**, registrando un valor máximo de **63.5 % (Inductivo)**. En el **ciclo completo de operación** se registró un mínimo de **11.37 %**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Parámetros de Calidad de la Energía

Se realizó el monitoreo en el *Transformador de 2500 kVA* durante un período de 72 hrs., con el objetivo de analizar los parámetros de calidad de energía provenientes de la compañía suministradora:

### Voltaje nominal: 480/277 Volts (Valores Máximos)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		Std. IEEE 1100-1999
				Máximo	Mínimo	
V <sub>A-B</sub>	511.18	501.28	490.11	6.50	2.11	No cumple
V <sub>B-C</sub>	515.49	504.83	492.95	7.39	2.70	No cumple
V <sub>C-A</sub>	509.51	499.94	489.21	6.15	1.92	No cumple

### Voltaje nominal: 480/277 Volts (Valores Mínimos)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		Std. IEEE 1100-1999
				Máximo	Mínimo	
V <sub>A-B</sub>	510.17	500.11	483.86	6.29	0.80	No cumple
V <sub>B-C</sub>	514.53	503.66	486.84	7.19	1.43	No cumple
V <sub>C-A</sub>	508.55	498.77	482.87	5.95	0.60	No cumple

Se puede observar que el voltaje promedio es de un valor de **502.01 Volts**, el cual se encuentra **4.59 %** arriba del valor nominal de **480 Volts de la subestación**. La ventana de variación presenta un máximo de **515.48 Volts (7.39%** arriba del valor nominal) y un mínimo de **482.87 Volts (0.60%** arriba del valor nominal), quedando este último **FUERA** del rango recomendado por el estándar **IEEE 1100-1999 tabla 4-3** (variación no mayor al 5% del valor nominal). Este estándar está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico. el transformador se encuentra conectado en el **Tap 5** (32.7 KV/480V), por lo tanto con una alimentación de 34.5 KV, **para un voltaje de salida de 480 Volts (± 5%) se recomienda cambiar el TAP al numero 3.**

## Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

### Parámetros de Calidad de la Energía

La **demanda en corriente** promedio fue de **1025.25 Amp.**, durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de corriente de **1960.1 Amp. (Fase B)**, de forma instantánea.

La **demanda en Potencia Real** promedio fue de **686.4 KW.** , durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de **1121.2 KW**, de forma instantánea.

La **demanda en Potencia Reactiva** promedio fue de **595.04 KVAR.** , durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de **1124.5 KVAR**, de forma instantánea.

La **demanda en Potencia Aparente** promedio fue de **906.86 KVA** en condiciones normales de operación, registrando un valor en demanda máxima de **1587.5 KVA**. Por lo tanto, el porcentaje máximo de utilización fue de **63.5 %** y el promedio de **36.27 %**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Parámetros de Calidad de la Energía

A continuación se muestran los valores obtenidos de Distorsión Armónica THD de las señales de voltaje y corriente en sus porcentajes en forma individual y total, reflejo del tipo de carga instalada en el **TRANSFORMADOR DE 1500 KVA**. En las dos tablas siguientes se muestran los porcentajes de **THD en Voltaje como Corriente**, mostrado sus componentes individuales, así como el promedio total, y la comparación con los valores de operación recomendados por el **Std. IEEE 519-1992 sobre Practicas y Requerimientos Establecidos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Distribución**.

THD Voltaje			% THD VOLTAJE TOTAL	Std. IEEE 519-1992
Armónicas				
3 th	5 th	7 th		
0.57 %	1.36 %	0.90 %	1.56 %	1.21 %
				Si cumple

La armónica de voltaje de mayor importancia es la **QUINTA** con un valor del **1.36 %**, la cual se encuentra **DENTRO** de lo recomendado por el estándar de límite máximo de distorsión por componente armónica individual de voltaje (**3 %** para este nivel de voltaje sobre la base de la **tabla 11.1 Std IEEE 519-1992**), y registrando un promedio **THD<sub>v</sub> total de 1.56 %**, lo cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado, de límite máximo de distorsión total de voltaje (**5%** para este nivel de voltaje).

**La Relación de Corto Circuito SCR (Short Circuit Ratio)** se define como la relación de la máxima corriente de cortocircuito con la corriente máxima promedio consumida por el transformador. Basándose en esta relación, se toman los criterios de límites permitidos en armónicas individuales, como también en su porcentaje límite total. Para este transformador, la corriente de cortocircuito ( $I_s$ ) es igual a **52,358 Amp.** y la corriente máxima promedio de la carga que registra el transformador es de **1,960.1 Amp.**, Lo que nos da una Relación de Cortocircuito de **26.71**.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Análisis Armónico

Las formas de onda y espectro armónico característico de corriente corresponden a:

THD <sub>Corriente</sub>								
SCR=I <sub>s</sub> /I <sub>L</sub>	h<11				Std. IEEE 519-1992	% THD <sub>CORRIENTE TOTAL</sub>		Std. IEEE 519-1992
	3 th	5 th	7 th	11 th		Máximo	Promedio	
26.71	4.5%	5.68%	2.4 %	1.2%	Si cumple	6.46 %	4.47 %	Si cumple

La corriente armónica de mayor contribución es la **QUINTA**, con un valor del **5.68 %**, con respecto a la componente fundamental, la cual se encuentra **DENTRO** de lo recomendado por el estándar de límite máximos de distorsión por componente armónica individual de corriente (**7 % sobre la base de la SCR calculada** en referencia a la **tabla 10.3 Std IEEE 519-1992**), y registrando un **THD<sub>i</sub> total** de **6.46 %**, lo cual se encuentra **DENTRO** del porcentaje recomendado por el estándar de límite máximos de distorsión Total de Corriente (**8 % sobre la base de la SCR calculada**).

## Factor de Potencia

Se registró un valor promedio de **75.60 %**, con un valor mínimo de **70.78 %**. Cabe mencionar que se requieren **900 KVAR** para compensar reactivamente hasta llegar al factor de potencia unitario.

# Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

## Factor de Potencia

**Caso propuesto:** Corregir el factor de potencia a un porcentaje de 100 % para lo cual se requiere una compensación de potencia reactiva de **900 KVAR**.

CALCULO DE POTENCIA REACTIVA REQUERIDOS PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA										
ID	Datos					Formulas				Cap. del Banco
	KWA	FPA	KVAA	KVARA	FPd	ANGA	ANGd	KVA <sub>d</sub>	KVAR <sub>d</sub>	KVARCAP
SUB.2	850.00	<b>0.7078</b>	1200.90	848.33	<b>1.0000</b>	44.9438	0.0000	850.00	0.00	<b>923.71</b>

La frecuencia de resonancia armónica del transformador es la **18 armónica** ó **1080 Hz**.

## ACCIONES CONCRETAS

Para este caso se recomienda la Instalación de un **banco de capacitores híbrido de 900 KVAR, es decir una parte fija de 200 KVAR y una parte automática de 700 KVAR** con un voltaje nominal de 480 Volts. Lo anterior se valida de acuerdo al contenido armónico registrado en condiciones de carga normal el cual es muy bajo, se observa en condiciones de baja carga un incremento del mismo sin embargo no es significativa su magnitud.

## Tablero Principal Subestación 2 (Transformador de 2500 KVA)

### ELEVAR EL FACTOR DE POTENCIA GENERAL DE LA PLANTA (CASO 100 %)

TABLA DE RESUMEN	
AHORRO EN COSTO MENSUAL	\$ 55,620
PORCENTAJE DE AHORRO EN FACTURACION MENSUAL DE C.F.E.	2.5 %
INVERSION ESTIMADA	\$ 423,224 M.N
RETORNO DE LA INVERSIÓN	7.6 Meses

Mediante la implementación de esta oportunidad de ahorro se pretende elevar el factor de potencia general de la planta, del promedio actual de 75.60 % a 100%. Con la implementación del filtro de armónicas propuesto se evitara su futuro daño y se prolongara su vida útil hasta los 7 años que tienen de diseño.

# ***Estudio de Factor de Potencia***

***SECOVI<sup>®</sup>***



***Invamex S. de R.L de C.V.***

***Planta Reynosa, Tamaulipas.***

***Conclusiones y Recomendaciones***

# Conclusiones y Recomendaciones

Con base en el análisis de las mediciones presentadas con anterioridad así como las observaciones registradas durante el Estudio realizado en la empresa INVAMEX, Planta Reynosa, Tamaulipas. El día 10 de Agosto de 2007, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones generales, esto con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM), así como las recomendaciones de los STDs. IEEE-1100-1999, IEEE-519-1992.

1. Considerando el historial de los registros de la medición del Factor de Potencia (INVAMEX) desde Julio de 2006 al mes de Julio de 2007, donde se registro un factor de potencia promedio de **81.09 % en el año**. El factor de potencia mínimo se registró en Mayo de 2006 siendo de **77.62 %**, donde en el historial eléctrico se requieren actualmente un total de **1350 KVar** para corregir el factor de potencia a un valor sugerido de **100 %**.
2. Durante el monitoreo realizado en los 2 Transformadores de la planta, 34.5 KV //480 V, los cuáles representan la potencia total instalada en la planta, se registraron diferentes comportamientos en el factor de potencia en los Transformadores. Con base en estos valores registrados se observa que el bajo factor de potencia general que actualmente se tiene, es causa de que en los transformadores el factor de potencia promedio es del **79 %**. Donde en la **Tabla 1.1** se muestran estos valores:

SUB - 1	SUB - 2
TR-1500	TR-2500
<b>0.79</b>	<b>0.76</b>

**Tablas 1.1. Se muestra el factor de potencia promedio registrado para condiciones normales de operación.**

# Conclusiones y Recomendaciones

3. La **tabla 1.2** ilustra los resultados obtenidos donde en la columna de la derecha se identifica el **Equipo Requerido** para la **Corrección del Factor de Potencia**. En la tabla también se indican los niveles de **Distorsión Armónica totales y Armónicas individuales**, tanto en voltaje como en corriente, considerados para determinar el equipo adecuado.

**Tablas 1.2. Se muestran los resultados obtenidos de factor de potencia y niveles de Distorsión Armónica.**

CONDICIONES ACTUALES DE OPERACION DE LOS TRANSFORMADORES MONITOREADOS Y FRECUENCIA DE RESONANCIA PARA LOS KVAR PROPUESTOS														
Subestación	KVA	Z%	F.P	F.P	THD	THD <sub>v</sub>	1a	Porcentaje de Corrientes Armónicas				Frec Res	KVA	Equipo
			Actual	Prop.	%	%	Amp.	3a	5a	7a	11a			
SUB -1	1500	5.53	79%	100%	2.42	7.35	100%	1.7%	6.7%	1.4%	1.3 %	21	450	Banco de Capacitores
SUB -2	2500	5.75	76%	100%	1.56	6.46	100%	4.5%	5.6%	2.4%	1.2%	18	900	Banco de Capacitores

El análisis efectuado se realiza para corregir el factor de potencia deseado de **100 %** instalando bancos de capacitores en cada uno de los transformadores instalados.

## Conclusiones y Recomendaciones

---

3. Con base en el análisis de Armónicas practicado a cada transformador el cual se realiza con base en el STD. IEEE 519-1992 (IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems) se concluye que la compensación reactiva debe realizarse de la siguiente forma:

A) Se recomienda instalar un **Banco de Capacitores tipo híbrido de 450 KVAR con alimentación 480 Volts, con características de 100 KVAR fijos y 350 KVAR automático**, para la **Sub -1**, transformador de 1500 KVA, para corrección del factor de potencia, por lo que en condiciones de operación con carga normal se registra un factor de potencia de **79%**, por lo tanto para incrementar el factor de potencia a **100 %**.

Se recomienda instalar un **Banco de Capacitores de 900 KVAR con alimentación 480 Volts, con características de 200 KVAR fijos y 700 KVAR automático** para la **Sub -2**, transformador de 2500 KVA, para corrección del factor de potencia, por lo que en condiciones de operación con carga normal se registra un factor de potencia de **76%**, por lo tanto para incrementar el factor de potencia a **100 %** en este transformador se requiere la instalación de un banco de capacitores con las especificaciones antes mencionadas.

# Conclusiones y Recomendaciones

---

4. Con la implementación de los equipos propuestos para corregir el factor de potencia con un total de **1350 KVAR** se espera un resultado global de mejoría a un **nuevo factor de potencia promedio de 100 %**.
5. Con referencia al incisos A, B y C puntos anteriores se recomienda **que los Bancos de Capacitores Híbridos** operen mediante un cierto numero de pasos en KVAR Automáticos y una parte fija que se encuentra presente siempre en el consumos de la planta, los cuales entran y salen automáticamente mediante señales de control, de acuerdo al nivel de carga inductiva en la planta. Esto es necesario para que la función de corrección del factor de potencia se realizara adecuadamente asegurando que solo operen cuando se les requiera.

*“Además de tener bonificación por mantener el factor de potencia arriba de 0.9, la corrección del factor de potencia mejora las condiciones de utilización tanto del Transformador como de la instalación eléctrica ya que se evita el flujo de Potencia Reactiva reflejándose como con una disminución en el flujo de corriente, esto se traduce en menos consumo de potencia aparente (KVA's), que se abatirían los costos de facturación por parte de la compañía suministradora de energía.”*

## Conclusiones y Recomendaciones

6. El comportamiento de la **Distorsión Armónica (%THDV)** en la forma de onda de los 2 transformadores instalados en la planta se observó se encuentran **DENTRO** del valor recomendado del 5% por el STD. IEEE 1100-1999. Algunos de los aspectos cuando la señal de voltaje sobrepasa el 5% de distorsión armónica en voltaje son los siguientes:

*Cuando la Distorsión Armónica se incrementa (THD > al 5%), la forma de onda del voltaje de frecuencia fundamental de 60 Hz. presenta una deformación considerable debido a las componentes armónicas, el efecto es que al alimentar a los equipos con esta señal de voltaje distorsionada puede provocar falla en los equipos de protección, algunos síntomas son: calentamiento en motores y transformadores, mal funcionamiento de fuentes de voltaje que alimentan tarjetas electrónicas, entre otros.*

7. El comportamiento de la **Distorsión Armónica (%THDI) en Corriente** para los 2 Transformadores, según el monitoreo (ver Tabla 1.2). Estos valores se encuentran **DENTRO** de los límites recomendados por el Std. IEEE 519-1992, Tabla 4.3, que recomienda un rango de 5-10%. *La corriente armónica es el resultado de operación normal de la carga no lineal instalada (Drives, plc, y equipos electrónicos), sin embargo cuando la carga no lineal predomina en la instalación el efecto de esta distorsión empieza a reflejarse en la onda de voltaje provocando distorsión pudiendo tener los efectos descritos en el punto anterior.*

## Conclusiones y Recomendaciones

8. Se recomienda instalar equipo de protección contra transitorios de voltaje ya que es el mismo efecto se tiene en el caso de algún parpadeo en la energía de alimentación, apagones y fallas. Para la protección de equipo crítico sensible (variadores de frecuencia, tarjetas electrónicas y PLC's así como otros dispositivos electrónicos), ya que la generación de estos eventos transitorios ocurre dentro de la misma planta o bien por inducciones debidas a descargas atmosféricas.

*Los picos transitorios de voltaje son causa de del tiempo de vida útil de componentes electrónicos de cargas sensibles ya que estos eventos llegan hasta los componentes sensitivos de los equipos de control porque no hay nada que los detenga o en su defecto que los desvíe, llegando hasta los componentes más sensibles provocando errores de paridad, daños en discos duros, tarjetas electrónicas y falla en fuentes de voltaje.*

- ✓ Con relación al punto anterior, y con base en la recomendación del std. 8.6 IEEE 1100-1999, IEEE C62 y las normas IEC 1000-4-4 y IEC 1000-4-5 de instalar un sistema de supresión en cascada categorías A, B y C, se recomienda la instalación de dispositivos Supresores de Picos Transitorios de Voltaje (TVSS) en los tableros con carga sensible con la finalidad de brindar protección a equipo electrónico sensible.
- ✓ Los Supresores de Eventos Transitorios de Voltaje( TVSS) de **Categoría C**, con características de **160KAmp** de capacidad con tiempo de respuesta menor a 1ns, con alarma audible, con contador de eventos transitorios son recomendados en los 2 **Tableros de Distribución Principal** de cada uno de los 2 Transformadores, según std. 8.6 IEEE 1100-1999, IEEE C62.

# Conclusiones y Recomendaciones

---

## Recuperación de la Inversión

Por lo tanto se tiene obtiene un ahorro de **\$ 83,439 M.N** mensuales, contemplando la inversión de los bancos de capacitores de **\$ 671,333 M.N**, se observa la inversión se recupera en un periodo de **7 meses**.

Por lo que al cabo de los 8 meses se obtendrá un ahorro en la facturación de energía eléctrica de **\$ 83,439**, donde las garantías de los equipos suministrados son de 7 años.

Mas aparte cualquier duda o soporte técnico que se necesite vía telefónica se dará sin ningún tipo de cargo.

# ***Estudio de Factor de Potencia***

***SECOVI<sup>®</sup>***



***Invamex S. de R.L de C.V.  
Planta Reynosa, Tamaulipas.  
Propuesta Técnica***

# Propuesta Técnica de Equipos

A continuación se presenta la descripción de los equipos de protección propuestos para el sistema eléctrico:

Para corrección del factor de potencia y mantenerlo en un valor promedio arriba del rango de penalización entrando al rango de bonificación por parte de la compañía suministradora del Servicio Eléctrico.

- Para instalarse en paralelo en el Tablero Principal en el área de la subestación del transformador Sub-2, se recomienda la instalación de **1 Banco de Capacitores Automático** de las siguientes características:
  - ✓ Banco de Capacitores Automático trifásico automático, 900 KVAR, 480V, 14 pasos de 50 KVAR cada uno y una parte fija de 200 Kvar. El equipo deberá contar con los rangos de voltaje (+/-10%) y temperatura (70° C en forma continua) adecuados para su correcta operación.

**Total 1 Banco de Capacitores Híbrido.**

- Para instalarse en paralelo en el Tablero Principal en el área de la subestación del transformador Sub-1, se recomienda la instalación de **1 banco de Capacitores automático** de las siguientes características:
  - ✓ Banco de Capacitores Automático trifásico, 450 KVAR, 480V, 7 pasos de 50 KVAR cada uno y una parte fija de 100 KVAR. El equipo deberá contar con los rangos de voltaje (+/-10%) y temperatura (70° C en forma continua) adecuados para su correcta operación.

**Total 1 Banco de Capacitores Híbrido.**

# Propuesta Técnica de Equipos

---

- **Para Tableros Principales (Transformador Sub-1 y Transformador Sub-2)**

Supresor de transitorios de 480/277 volts, configuración estrella, 160,000 Amp. de descarga, 7 modos de protección, sistema sine wave tracking para rastreo de transitorios, contador de eventos suprimidos, alarma audible, prueba de integridad por módulo, filtrado de ruido.

- **Total 2 Supresores de Transitorios de Voltaje Clase C.**