



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

*“EVALUACIÓN DE LA THDI Y THDV EN TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICOS”*

Tesis de grado previa a la
Obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

AUTOR:

Temístocles Valdemar Mendoza Aguirre

DIRECTOR:

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2019

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“EVALUACIÓN DE LA THDI Y THDV EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICOS”** previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico realizado por el señor egresado: **Temístocles Valdemar Mendoza Aguirre**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 19 de Diciembre del 2018



.....
Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **TEMÍSTOCLES VALDEMAR MENDOZA AGUIRRE** declaro ser autor del presente proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual

Firma: 

Cédula: 11056474947

Fecha: 28-01-2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **TEMÍSTOCLES VALDEMAR MENDOZA AGUIRRE**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA THDI Y THDV EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICOS”**, como requisito para optar el grado de: **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios deben consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes eléctricas de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a veintiocho días del mes de enero del dos mil diecinueve.

Firma:.....

Autor: Temístocles Valdemar Mendoza Aguirre

Cédula: 1105647497

Dirección: Loja (Av. Pio Jaramillo y Faraday)

Correo Electrónico: temis94@outlook.com

Teléfono:

Celular: 0959881368

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Carlos Mauricio Orellana Uguña, MSc

Ing. Julio Roberto Gomez Peña, MSc

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, MSc

PENSAMIENTO

“Las raíces de la educación son amargas, pero la fruta es dulce”

Aristóteles

“La educación es el arma más poderosa que puedes utilizar para cambiar el mundo”

Nelson Mandela

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”

Albert Einstein

“El estudio y la preparación puede que haga gente intelectual. Pero la humildad y la sencillez hace personas sabias”

Arturo Hdez. L.

“El secreto del éxito es persistencia por la meta”

Benjamín Disraeli

DEDICATORIA

Dedicado muy especialmente a mis padres quienes me apoyaron desde el principio, por sus consejos, por la motivación que cada vez me daban, ya que sin su gran ayuda me hubiese sido imposible llegar hasta donde estoy ahora.

A cada uno de mis hermanos, tíos, primos y abuelos por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres Temístocles y María, hermanos por apoyarme durante todos estos años de estudio y darme ese amor incondicional que cada día me daba más fuerzas para luchar y poder ir cumpliendo cada uno de mis sueños.
- A mis tíos y amigos que de una forma u otra me supieron dar sus consejos, ayudarme con sus ideas y sus palabras de aliento que me daban fortaleza para seguir cada día adelante con mi meta.
- También a cada uno de los Ingenieros que trabajan en esta noble institución quienes desde el inicio me ayudaron a ir preparándome y poder convertirme en un Ingeniero.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICA:	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO	¡Error! Marcador no definido.
PENSAMIENTO	ii
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
TEMA:	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo General:	5
Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 1	6
1. REVISIÓN DE LITERATURA	6
1.1 Distorsión en la forma de onda.....	6
1.2 CARGAS LINEALES Y NO LINEALES.....	7
1.2.1 Carga Lineales.....	7
1.2.2 Carga no Lineal	7
1.3 INTRODUCCIÓN A LAS ARMÓNICAS.....	9
1.4 DEFINICIÓN DE ARMÓNICA.....	9
1.5 DISTORSIÓN ARMÓNICA	10
1.6 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL.....	10
1.6.1 La distorsión armónica total de corriente	10

1.6.2	Distorsión armónica total de voltaje.....	11
1.7	NORMATIVAS PARA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ARMÓNICOS.....	12
1.7.1	Suministrador	12
1.7.3	Norma IEEE-519.....	12
1.7.4	Normativa Nacional	15
1.8	EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	17
1.9	EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LOS TRANSFORMADORES.....	17
1.10	CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1.....	18
	CAPÍTULO 2	19
2	MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA CARACTERIZAR LA THDI Y THDV.....	19
2.1	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	19
2.2	DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	19
2.3	PROMEDIO	19
2.4	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	19
2.5	EL ERROR ESTÁNDAR.....	20
2.6	RANGO.....	20
2.7	SESGO ESTANDARIZADO	20
2.8	CURTOSIS ESTANDARIZADA	21
2.8.1	Asimetría.....	21
2.9	CAJA DE BIGOTES	22
2.9.1	Percentiles	23
2.10	VALORES ATÍPICOS.....	23
2.10.1	Atípicos lejanos	23
2.10.2	Atípicos dudosos	23
2.11	PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.....	23
2.11.1	Prueba Chi-Cuadrada	24
2.11.2	Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	25
2.11.3	Prueba de Anderson Darling	26
2.12	VALOR P.....	27
2.13	CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO.....	27
3.	RESULTADOS	28
3.1	METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE LA BASE DE DATOS	28
3.2	PASOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA THDI Y THDV.	28
3.3	Caracterización diaria de la THDI y THDV para transformadores con y sin cocinas de inducción, fase A y B	50

3.4	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3	81
4	DISCUSIÓN.....	82
5	CONCLUSIONES	83
6	RECOMENDACIONES	84
7	BIBLIOGRAFÍA.....	85
8	ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Carga Lineal.....	7
Figura 2 Carga no Lineal.....	8
Figura 3 Forma de onda con distorsión	10
Figura 4 Diferencia entre la desviación menor y mayor	20
Figura 5 Tipos de distribución normal.	21
Figura 6 Panel gráfico de caja y bigotes.....	22
Figura 7 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDV Fase A .	30
Figura 8 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDV Fase B..	31
Figura 9 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDI Fase A	31
Figura 10 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDI Fase B	32
Figura 11 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDV Fase A	33
Figura 12 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDV Fase B	33
Figura 13 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDI Fase A	34
Figura 14 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDI Fase B	34
Figura 15 Curva de la THDV FASE A para el día Lunes	51
Figura 16 Curva de la THDV FASE A para el día Martes.....	52
Figura 17 Curva de la THDV FASE A para el día Miércoles.....	52
Figura 18 Curva de la THDV FASE A para el día Jueves	53
Figura 19 Curva de la THDV FASE A para el día Viernes	53
Figura 20 Curva de la THDV FASE A para el día Sábado	54
Figura 21 Curva de la THDV FASE A para el día Domingo.....	54
Figura 22 Curva de la THDV FASE B para el día Lunes	55
Figura 23 Curva de la THDV FASE B para el día Martes.....	55
Figura 24 Curva de la THDV FASE B para el día Miércoles	56
Figura 25 Curva de la THDV FASE B para el día Jueves	56
Figura 26 Curva de la THDV FASE B para el día Viernes.....	57
Figura 27 Curva de la THDV FASE B para el día Sábado	57
Figura 28 Curva de la THDV FASE B para el día Domingo.....	58
Figura 29 Curva de la THDI FASE A para el día Lunes.....	59
Figura 30 Curva de la THDI FASE A para el día Martes	59

Figura 31 Curva de la THDI FASE A para el día Miércoles	60
Figura 32 Curva de la THDI FASE A para el día Jueves.....	60
Figura 33 Curva de la THDI FASE A para el día Viernes	61
Figura 34 Curva de la THDI FASE A para el día Sábado.....	61
Figura 35 Curva de la THDI FASE A para el día Domingo	62
Figura 36 Curva de la THDI FASE B para el día Lunes	62
Figura 37 Curva de la THDI FASE B para el día Martes	63
Figura 38 Curva de la THDI FASE B para el día Miércoles.....	63
Figura 39 Curva de la THDI FASE B para el día Jueves.....	64
Figura 40 Curva de la THDI FASE B para el día Viernes	64
Figura 41 Curva de la THDI FASE B para el día Sábado.....	65
Figura 42 Curva de la THDI FASE B para el día Domingo	65
Figura 43 Curva de la THDV FASE A para el día Lunes	66
Figura 44 Curva de la THDV FASE A para el día Martes.....	67
Figura 45 Curva de la THDV FASE A para el día Miércoles.....	67
Figura 46 Curva de la THDV FASE A para el día Jueves	68
Figura 47 Curva de la THDV FASE A para el día Viernes	68
Figura 48 Curva de la THDV FASE A para el día Sábado	69
Figura 49 Curva de la THDV FASE A para el día Domingo.....	69
Figura 50 Curva de la THDV FASE B para el día Lunes	70
Figura 51 Curva de la THDV FASE B para el día Martes.....	70
Figura 52 Curva de la THDV FASE B para el día Miércoles	71
Figura 53 Curva de la THDV FASE B para el día Jueves	71
Figura 54 Curva de la THDV FASE B para el día Viernes.....	72
Figura 55 Curva de la THDV FASE B para el día Sábado	72
Figura 56 Curva de la THDV FASE B para el día Domingo.....	73
Figura 57 Curva de la THDI FASE A para el día Lunes.....	74
Figura 58 Curva de la THDV FASE A para el día Martes.....	74
Figura 59 Curva de la THDI FASE A para el día Miércoles	75
Figura 60 Curva de la THDI FASE A para el día Jueves.....	75
Figura 61 Curva de la THDI FASE A para el día Viernes	76
Figura 62 Curva de la THDI FASE A para el día Sábado.....	76
Figura 63 Curva de la THDI FASE A para el día Domingo	77
Figura 64 Curva de la THDI FASE B para el día Lunes.....	77

Figura 65 Curva de la THDI FASE B para el día Martes	78
Figura 66 Curva de la THDI FASE B para el día Miércoles.....	78
Figura 67 Curva de la THDI FASE B para el día Jueves	79
Figura 68 Curva de la THDI FASE B para el día Viernes	79
Figura 69 Curva de la THDI FASE B para el día Sábado.....	80
Figura 70 Curva de la THDI FASE B para el día Domingo	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 IEEE Límites de distorsión de voltaje	13
Tabla 2 IEEE Límites máximos (%) de distorsión de corrientes armónicos impares para sistemas de distribución (120 V hasta 69000 V)	14
Tabla 3 Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con clasificación nominal superior 69kV a 161kV	14
Tabla 4 Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con clasificación nominal superior 161 kV	15
Tabla 5 Límites de armónicas $V_{i'}$ y THD	16
Tabla 6 Conjunto de eventos con las frecuencias observadas y esperadas.....	24
Tabla 7 Distribución de transformadores y datos analizados	28
Tabla 8 Clasificación de los transformadores.....	29
Tabla 9 Promedio Total de la THDV para transformadores de todas las capacidades con cocinas FASE A	35
Tabla 10 Valores característicos obtenidos para el THDV FASE A.....	36
Tabla 11 Promedio Total de todas las capacidades con cocinas THDV FASE B.....	37
Tabla 12 Valores característicos obtenidos para el THDV FASE B	38
Tabla 13 Promedio Total de todas las capacidades con cocinas THDI FASE A	39
Tabla 14 Valores característicos obtenidos para el THDI FASE A	40
Tabla 15 Promedio Total de todas las capacidades con cocinas THDI FASE B	41
Tabla 16 Valores característicos obtenidos para el THDI FASE B.....	42
Tabla 17 Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDV FASE A.....	43
Tabla 18 Valores característicos obtenidos para el THDV FASE A.....	44
Tabla 19 Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDV FASE B	45
Tabla 20 Valores característicos obtenidos para el THDV FASE B	46
Tabla 21 Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDI FASE A	47
Tabla 22 Valores característicos obtenidos para el THDI FASE A	48
Tabla 23 Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDI FASE B	49
Tabla 24 Valores característicos obtenidos para el THDI FASE B.....	50

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA THDI Y THDV EN
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
MONOFÁSICOS”**

RESUMEN

La THDI (Distorsión armónica total de corriente) y THDV (Distorsión armónica total de voltaje) son armónicos que se presentan por la inserción de cargas no lineales, como cocinas de inducción, hornos, entre otros, en una instalación o red de distribución eléctrica. La presencia de armónicos genera innumerables problemas que afectan la calidad de energía de la red de suministro eléctrico. Estas cargas no sinusoidales generan pérdidas, calentamiento de conductores, disminución del factor de potencia y en el transformador degradación del aislamiento, pérdida en el suministro de potencia, provocando un incremento de los costos operativos y reducción de la vida útil de los elementos que componen el sistema.

En esta investigación desarrollada se evalúa la THDI y THDV en los transformadores monofásicos de 10, 15, 25 y 37.5 kVA que suministran energía a consumidores residenciales en la provincia de Loja, utilizando una base de datos de mediciones realizadas durante un periodo de 3 años(2013, 2014, 2015), con el objetivo de obtener curvas características para observar el comportamiento característico de la THDI y THDV en transformadores que alimentan cargas residenciales con y sin cocina de inducción.

Después de procesar la base de datos se utilizó técnicas estadísticas para verificar si los datos cumplen con una distribución normal. Finalmente se obtuvieron las curvas características de la THDI Y THDV donde se puede apreciar el comportamiento en el tiempo de estos dos parámetros.

ABSTRACT

The THDI (total harmonic distortion of current) and THDV (total harmonic voltage distortion) are harmonics that are presented by the insertion of non-linear loads, such as induction cookers, ovens, among others, in an installation or electrical distribution network. The presence of harmonics generates innumerable problems that affect the power quality of the electricity supply network. These non-sinusoidal loads generate losses, heating of conductors, decrease of the power factor and in the transformer degradation of the insulation, loss in the power supply, causing an increase of the operative costs and reduction of the useful life of the elements that make up the system.

In this developed research THDI and THDV are evaluated in single-phase transformers of 10, 15, 25 and 37.5 kVA that supply energy to residential consumers in the province of Loja, using a database of measurements made over a period of 3 years (2013, 2014, 2015), with the objective of obtaining characteristic curves to observe the characteristic behavior of THDI and THDV in transformers that feed residential loads with and without induction cooker.

After processing the database, statistical techniques were used to determine if the database complies with a normal distribution. Finally, characteristic curves of the THDI and THDV were obtained, where the time behavior of these two parameters can be appreciated.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos desde su origen, han estado expuestos a diferentes tipos de disturbios eléctricos como sobre-tensiones, armónicos y flickers. Con el progresivo crecimiento de equipos electrónicos conectados a la red, estos problemas ocurren con mayor frecuencia debido a que para su funcionamiento los mismos distorsionan la forma de onda sinusoidal del sistema para poder trabajar (Alcántara Bonilla & Domínguez Rivera, 2018).

Los armónicos son un problema que han aumentado en la última década debido al incremento de las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica. Cargas no lineales más comunes en el ámbito residencial y comercial son computadoras, lavadoras con sistemas de control automático, las cocinas de inducción, sensores de presencia y foto celda, entre otros. Debido a estas cargas no lineales la calidad de energía hoy en día se ha visto muy afectada, lo que ha provocado que el nivel de confiabilidad del sistema eléctrico disminuya. Se entiende como calidad de energía según la Norma IEC 555-2, como “una característica física del suministro de electricidad la cual le debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo”.

Los armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal (Estigarribia, s.f).

La presencia de armónicos en la red eléctrica acarrea múltiples problemas que afectan la vida útil de los elementos, los problemas más comunes son; sobrecalentamiento de conductores, mal funcionamiento de los aparatos eléctricos por deterioro de la onda de tensión, degradación de aislamientos y pérdida de capacidad de suministro de potencia de los transformadores, haciendo que los costos económicos aumenten tanto para la empresa distribuidora, así como para los consumidores finales.

En la presente investigación se evaluará la THDI y THDV en los transformadores de distribución monofásicos de 10, 15, 25 y 37.5 kVA que alimentan cargas residenciales en la provincia de Loja, utilizando una base de datos proporcionada por la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA).

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Caracterizar la THDI y THDV de transformadores monofásicos de 10, 15, 25 y 37.5 kVA con y sin cocinas de inducción.

Objetivos Específicos

- Procesar la base de datos de las medidas obtenidas de la THDI y THDV en los transformadores de distribución monofásicos.
- Utilizar técnicas de clasificación estadística para identificar la THDI y THDV en los transformadores de distribución monofásicos.
- Determinar de forma gráfica la variación de la THDI y THDV durante los doce meses del año.

CAPÍTULO 1

1. REVISIÓN DE LITERATURA

La calidad de energía puede definirse como la ausencia de interrupciones, variaciones de voltaje, corriente y frecuencia que pueden conducir a una falla del sistema eléctrico.

La calidad del suministro está definida por tres factores importantes: continuidad del servicio (considerando el mínimo de fallas del suministro de potencia), limitación de las variaciones de voltaje y control de la frecuencia eléctrica a su valor nominal (González Rodríguez & Morales García , 2012).

Esta calidad se ha visto disminuida por cargas sensibles en los sistemas eléctricos, que se suelen llamar cargas perturbadoras, y normalmente tienen características no lineales. La conexión de dispositivos de electrónica de potencia a las redes eléctricas ha provocado un aumento en la distorsión de la forma de onda de tensión y corriente (López Solar, 2005).

Razón por la cual actualmente la calidad de la energía se ha convertido en un objetivo estratégico para las compañías de electricidad, para el personal de mantenimiento o de gestión de las instalaciones terciarias o industriales, y para los fabricantes de equipos, especialmente por:

- La necesidad económica de aumentar la competitividad entre las empresas
- La generalización de equipos sensibles a las perturbaciones de tensión.
- La liberalización del mercado de la electricidad (Ferracci, 2018).

1.1 Distorsión en la forma de onda

Se entiende por distorsión de la forma de onda como la diferencia entre la señal que entra a un equipo o sistema y su señal de salida. Por tanto, puede definirse como la "deformación" que sufre una señal tras su paso por un sistema. Los tipos de distorsión se clasifican en transitorios, DC offset, muescas en la tensión (notching), ruido, armónicos e inter-armónicos.

1.2 CARGAS LINEALES Y NO LINEALES

1.2.1 Carga Lineales

Son las cargas cuya corriente graficada versus la tensión aplicada, produce una línea recta. Estas cargas puras son las resistencias, inductancias y capacitancias.

Cuando se aplica un voltaje senoidal directamente a cargas puras tales como resistencias, inductancias, capacitores o una combinación de ellos, se produce una corriente proporcional que también es senoidal, por lo que se les denominan cargas lineales. La curva característica corriente – voltaje de la carga define si es o no lineal su comportamiento y no se debe pensar que todos los equipos que tienen semiconductores por definición son no lineales (Téllez Ramírez, 2000, pág. 7). En la figura 1 se presenta las formas de onda típicas de corriente y voltaje producidas por una carga lineal.

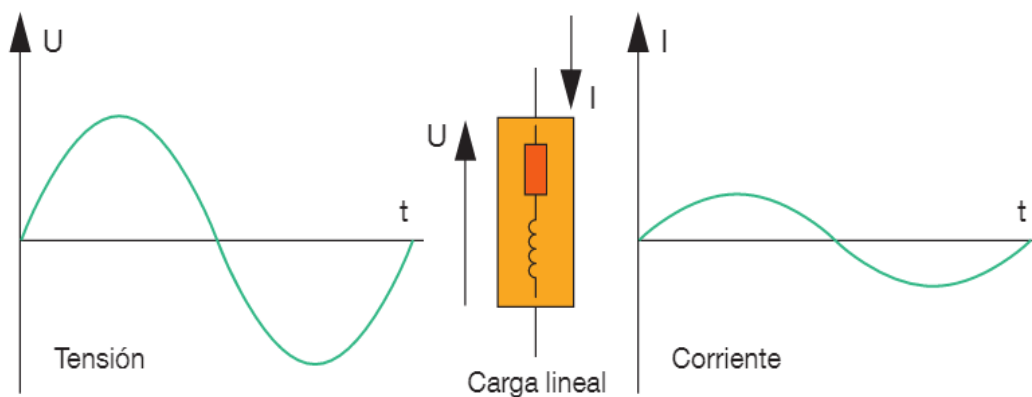


Figura 1 Carga Lineal.
Fuente: (Frank, 2015)

1.2.2 Carga no Lineal

Las cargas no lineales al producir ondas distorsionadas, son las grandes causantes de la aparición de los armónicos de corriente y voltaje, los equipos industriales, tiristores, convertidores, variadores, hasta la misma iluminación que han mejorado de gran forma la vida humana, dando eficiencia y de cierta manera evolución traen inmerso el principal factor de incidencia en la afectación de la calidad de onda, los armónicos (Perdomo García, 2016).

En las cargas no lineales es usual que la energía eléctrica no sea utilizada directamente tal como se suministra, siendo habitual el uso de circuitos rectificadores que proporcionan una corriente y tensión continua a su salida y permitan la operación de dicho equipo. Para la mayor interpretación de este concepto observar la figura 2 donde se indica una onda de corriente distorsionada debido al uso de cargas no lineales.

Generalmente, en los circuitos donde se utilizan estos rectificadores, la corriente no es de forma sinusoidal (Zavala , 2018).

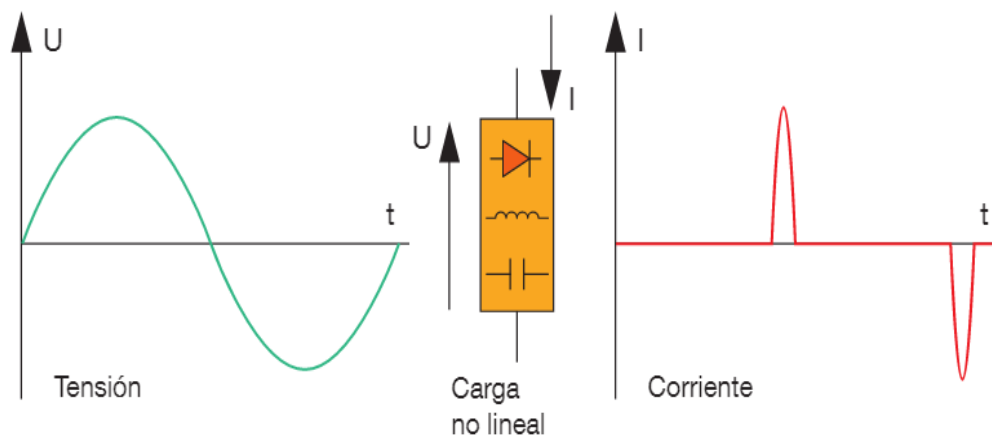


Figura 2 Carga no Lineal
Fuente: (Frank, 2015)

Los armónicos de corriente y voltaje son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal absorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo ϕ respecto a la tensión. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red (Ruggero Ríos & Sánchez Quintana, 2014).

La distorsión de la onda sinusoidal (onda ideal 60Hz) provoca la disminución de la calidad de energía y pérdidas en los núcleos de los transformadores, derivándose de este fenómeno el calentamiento excesivo (Perdomo García, 2016).

Los armónicos son señales de tensión o corriente sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia para la cual el sistema de alimentación está diseñado (operar a 60Hz) las formas de ondas distorsionadas pueden ser descompuestas

en una suma de todas las componentes armónicas y la correspondiente a la frecuencia fundamental (Salazar Rivadeneira, 2015).

Las cargas no lineales originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro. Esto puede ser peligroso para algunos equipos y cargas sensibles (*p. ej.* dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, Computadoras, etc.), además de los problemas de calentamiento que originan en las líneas y transformadores de distribución (Suárez, Di Mauro, Anaut, & Agüero, 2005)

1.3 INTRODUCCIÓN A LAS ARMÓNICAS

Los armónicos que ocasionan la aparición de tensiones no senoidales en diferentes puntos del sistema, son producidos por la circulación de corrientes distorsionadas que provocan caídas de tensión no senoidales. Mientras mayores sean las corrientes armónicas circulando a través de los alimentadores del sistema eléctrico, las tensiones en los nodos serán aún más distorsionadas (Sosa , 2013, pág. 3).

Los armónicos son voltajes o corrientes sinusoidales con frecuencia que son múltiplos enteros de la frecuencia nominal del sistema (denominada frecuencia fundamental, usualmente de 50 Hz o 60 Hz). Las ondas distorsionadas pueden ser descompuestas en una sumatoria de la frecuencia fundamental y sus armónicos. El orden del armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico y la frecuencia de la fundamental (60 Hz).

1.4 DEFINICIÓN DE ARMÓNICA

La definición de armónica se basa en el hecho de que toda función periódica puede ser representada por una serie infinita de senos y cosenos múltiplos de la frecuencia fundamental.

La onda distorsionada, que actualmente fluye a través del circuito es la componente sinusoidal de una onda periódica a una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60 Hz). Los armónicos son una componente sinusoidal de una onda periódica a una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental (Marroquín Juárez, 2012).

1.5 DISTORSIÓN ARMÓNICA

Representación cuantitativa de la distorsión a partir de una forma de onda sinusoidal pura. La figura 3 nos indica la distorsión armónica que es producida debido a cargas no lineales, o a cargas en las que la forma de onda de la corriente no conforma a la forma de onda del voltaje de alimentación (Sánchez Quintana & Ruggers Ríos , 2014).

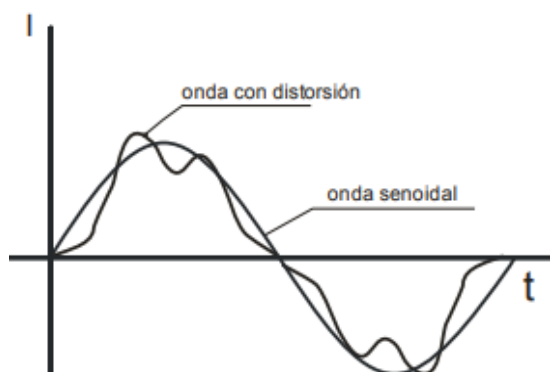


Figura 3 Forma de onda con distorsión
Fuente: (Sánchez Quintana & Ruggers Ríos , 2014)

1.6 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

Las mediciones generalmente son usadas para estimar el contenido armónico de las formas de ondas. Un indicador de la distorsión armónica comúnmente usado es la distorsión armónica total (THD), la cual puede ser calculada tanto para voltaje como para la corriente.

Este índice se define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. Este valor es usualmente expresado como un porcentaje de la onda fundamental (Suárez, Di Mauro, Anaut, & Agüero, 2005).

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\text{Suma de los cuadrados de todas las amplitudes armónicas}}}{\text{Amplitud de la fundamental}} 100\% \quad \text{Ec.1}$$

1.6.1 La distorsión armónica total de corriente

La THDI es un índice que se define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. También se lo define como una corriente sinusoidal de frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental en Ecuador (60Hz). Los armónicos de

corriente que fluyen a través de la impedancia del sistema dan lugar a armónicos de tensión. El THDI puede variar desde pocas unidades porcentuales hasta superar el 100%, como ocurre en las fuentes de potencia conmutadas (Suárez, Di Mauro, Anaut, & Agüero, 2005).

$$\text{TDHI} = \frac{\sqrt{\sum_{K=2}^{\infty} I_K^2}}{I_1} \mathbf{100\%} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

K: es el número de armónica

I₁: Valor eficaz de la onda fundamental de corriente

I_K: Valor eficaz del armónico K.

1.6.2 Distorsión armónica total de voltaje

Es una tensión sinusoidal de frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60Hz) de la tensión de suministro.

Este es usado en sistemas de baja, media y alta tensión y está definido como la relación entre el valor rms de las señales armónicas y el valor rms de la señal a frecuencia fundamental.

Las tensiones armónicas pueden ser evaluadas:

- Individualmente, por su amplitud relativa, V_k , relacionada a la tensión de la componente fundamental V_1 , donde h es el orden del armónico.
- Globalmente mediante el cálculo de la distorsión armónica total, por medio de la siguiente expresión:

$$\text{THDV} = \frac{\sqrt{\sum_{K=2}^{\infty} V_K^2}}{V_1} \mathbf{100\%} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

V₁: Valor eficaz de la onda fundamental de voltaje

V_K: Valor eficaz del armónico K.

K: es el número de armónico

1.7 NORMATIVAS PARA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ARMÓNICOS

La distorsión armónica es un problema que se presenta con mucha frecuencia en la actualidad, este fenómeno nos produce deformaciones de la onda afectando a la calidad de la energía en los sistemas eléctricos tanto a las redes eléctricas de distribución como a los consumidores finales.

Para asegurar la integridad del sistema eléctrico, es preciso establecer límites sobre los niveles de distorsión permisibles que apliquen tanto a los usuarios como a los suministradores de la energía.

Las normas actuales están diseñadas para limitar las corrientes armónicas de cada usuario en lo individual de forma que los niveles armónicos en voltaje sean aceptables en su totalidad en el sistema de potencia, siendo su cumplimiento una responsabilidad compartida entre suministrador y usuarios.

1.7.1 Suministrador

Es su responsabilidad que en la acometida la THDV se encuentre dentro de los límites establecidos por lo que debe asegurarse que en condiciones de resonancia en el sistema de generación, transmisión o distribución no ocasionen niveles inaceptables de distorsión en voltaje, aun si los usuarios se encuentran dentro de los límites de generación armónica en corriente.

1.7.2 Usuarios

Deben de asegurar que en la acometida la generación de armónicas en corriente se ubique dentro de los límites establecidos, tanto para componentes armónicas individuales como para la Distorsión de Demanda Total (TDD) (Oropeza Soto & Quintero Ramírez, 2017, pág. 46).

1.7.3 Norma IEEE 519-2014

La finalidad de esta norma es proporcionar los valores límites para restringir la inyección de las tasas armónicas y la distorsión de corriente que los usuarios pueden inyectar en el Punto Acoplamiento Común (PCC). Los límites de distorsión de voltaje y corriente deben usarse como valores de diseño de los sistemas eléctricos para los casos más desfavorables en condiciones de operación normales.

Los límites de corriente y voltaje armónicos para este estándar son analizados en el PCC. Punto dónde otros clientes comparten la misma red o pueden conectarse nuevos clientes en el futuro.

Para corrientes, los valores de distorsión pueden referirse a una base constante, como es la componente fundamental. Esto provee una referencia constante mientras la fundamental puede variar sobre un amplio rango.

1.7.3.1 Límites de distorsión de voltaje.

En la tabla 1 se indican los valores límites aceptables para los armónicos de voltaje, note que los límites recomendables se indican para el componente armónico individual máximo y para el THDV. Estos límites en la distorsión de voltaje serán en los sistemas de hasta media tensión (IEEE Std, 2014).

Tabla 1
IEEE Límites de distorsión de voltaje

Voltaje del bus en PCC	HDv (%)	THDV (%)
Inferiores a 69kV	3	5
69kV hasta los 161kV	1.5	2.5
Superiores a 161kV	1	1.5

Fuente: (IEEE Std, 2014)

1.7.3.2 Límites de distorsión de corriente

La norma IEEE establece la máxima distorsión de corriente permisible para un usuario en base a la distorsión de la demanda total en corriente (THDI). En la tabla 2 se presenta los límites máximos de distorsión de corrientes armónicas impares para sistemas de distribución (120V hasta 69000V).

Tabla 2

IEEE Límites máximos (%) de distorsión de corrientes armónicas impares para sistemas de distribución (120 V hasta 69000 V)

$\frac{I_{sc}}{I_L}$	$n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 \leq h$	THD
< 20*	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Fuente: (IEEE Std, 2014)

Donde:

Isc.- es la corriente de corto circuito en el punto de medición PCC.

IL.- es la corriente de demanda máxima (con la componente de frecuencia fundamental) en el punto PCC.

En la tabla 3 se presenta los límites máximos de distorsión de corrientes armónicas recomendadas para sistemas de distribución (69kV hasta 161kV).

Tabla 3

Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con clasificación nominal superior 69kV a 161kV

$\frac{I_{sc}}{I_L}$	$n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 \leq h$	THD
< 20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 < 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 < 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100 < 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Fuente: (IEEE Std, 2014)

En la tabla 4 se presenta los límites máximos de distorsión de corrientes armónicas impares para sistemas de distribución mayores a 161kV.

Tabla 4

Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con clasificación nominal superior 161 kV

$\frac{I_{sc}}{I_L}$	$n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 \leq h$	THD
$< 25^*$	1.0	0.5	0.38	0.15	0.1	1.5
$25 < 50$	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	.15	0.45	0.22	3.75

Fuente: (IEEE Std, 2014)

1.7.4 Normativa Nacional

En Ecuador existen normativas relacionadas con el nivel de armónico como la Regulación CONELEC 004/01 aquí se establecen los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las empresas Distribuidoras.

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

ΔV_k : Variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k : Voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición de k de 10 minutos.

V_n : Voltaje nominal en el punto de medición.

Para determinar la calidad de energía la Regulación CONELEC 004/01 especifica las siguientes ecuaciones:

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) * 100 \quad \text{Ec.5}$$

$$THDV = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right] * 100 \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

V_i' : Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THDV: Factor de distorsión total por armónicas de voltaje, expresado en porcentaje.

V_i : Valor eficaz (rms) de voltaje armónico “i” (para $i=2\dots 40$) expresado en voltios.

V_n : Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales V_i' y la THD, expresados como porcentaje de voltaje nominal en el punto de medición respectivo, no deben superar los valores límites indicados en la tabla 5.

Tabla 5

Límites de armónicas V_i' y THD

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA V_i' o THD' (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
> 25	$0,1 + 0,6*25/n$	$0,2 + 1,3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores a 21	0,2	0,2
Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
18	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores a 12	0,2	0,5
THD	3	8

Fuente: (CONELEC, Calidad del Servicio Electrico de Distribución, 2001)

1.8 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los efectos de los armónicos en los sistemas eléctricos de distribución se presentan de varias formas, principalmente calentamiento de equipos como motores, transformadores y conductores (aumento de las pérdidas), también provocan resonancia en los bancos de capacitores, de igual manera muestra una influencia en la operación de equipos como medidores de inducción, relevadores y equipo electrónico.

1.9 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LOS TRANSFORMADORES

La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental, lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil. Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas I^2R , pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro.

El efecto de las armónicas en los transformadores es doble: las corrientes armónicas causan un incremento de las pérdidas en el cobre y pérdidas de flujos de dispersión, el efecto total es un incremento en el calentamiento del transformador. La norma IEEE 519-2014 proporciona un límite de armónicos de voltaje para los transformadores, el mismo que no debe sobrepasar un THDV del 5%. Las pérdidas en los transformadores, causadas tanto por las corrientes como por las tensiones armónicas son directamente proporcionales a la frecuencia, por lo tanto, las componentes armónicas de frecuencias altas pueden causar un calentamiento en el transformador más importante que los armónicos de frecuencias bajas.

Las pérdidas por dispersión son por corrientes parásitas debido al flujo electromagnético extraviado en el devanado, núcleo, abrazadera del núcleo, campo magnético, pared del tanque y otras partes estructurales del transformador. Esta pérdida aumentará en proporción al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia. La temperatura también aumentará en las partes estructurales por las corrientes de Eddy, aproximadamente al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia. La IEEE C57.110-1998 proporciona un procedimiento de cálculo para obtener las pérdidas

de corriente de Eddy para un transformador dado. Las pérdidas por dispersión son de especial importancia cuando se evalúa el aumento del calentamiento debido a los efectos de corrientes no sinusoidales (Abreu, 2005).

1.10 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1

En este capítulo se identificó la importancia que tienen las normas sobre la calidad de energía eléctrica, las que nos sirven para controlar y limitar las armónicas de corriente y voltaje que se presentan en las redes eléctricas de baja tensión. La revisión bibliografía permitió identificar el límite permisible de la THDV que no debe sobrepasar el 8% de acuerdo a la Regulación CONELEC 004/01 y el 5% según la norma internacional IEEE 519-2014 en las redes eléctricas de baja tensión.

En la revisión bibliográfica permitió identificar que la presencia de cargas no sinusoidales que producen los consumidores finales en los transformadores de distribución, son la principal causa que afecta su capacidad de transformación, vida útil y de incrementar las pérdidas en el cobre y núcleo.

La mayoría de los autores utilizan la metodología propuesta por la norma IEEE 519 para evaluar la influencia de la THDI y THDV de un caso en particular, por lo que en esta investigación se realiza un análisis de la THDI y THDV en una región.

CAPÍTULO 2

2 MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA CARACTERIZAR LA THDI Y THDV

2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Se dedica a la descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de fenómenos de estudio; los datos pueden ser resumidos de forma numérica (la media y la desviación estándar) o gráficamente (histograma, pirámide poblacional entre otros).

2.2 DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución de probabilidad continua más importante en todo el campo de la estadística es la distribución normal. Su gráfica, denominada curva normal, es la curva con forma de campana, la cual describe de manera aproximada muchos fenómenos que ocurren en la naturaleza, la industria y la investigación.

2.3 PROMEDIO

(Murray R & Larry J, 2009) Afirman “Un promedio es un valor típico o representativo de un conjunto de datos. Como estos valores típicos tienden a encontrarse en el centro de los conjuntos de datos, ordenados de acuerdo con su magnitud, a los promedios se les conoce también como medidas de tendencia central”. A continuación se presenta la ecuación:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} = \frac{\sum X}{N} \quad \text{Ec.7}$$

2.4 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

(Murray R & Larry J, 2009) Afirman “que la desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza”.

La desviación estándar mide la dispersión de una distribución de datos. Entre más dispersa está una distribución de datos, más grande es su desviación estándar. El símbolo σ (sigma) se utiliza frecuentemente para representar la desviación estándar de una población, mientras que s se utiliza para representar la desviación estándar de una muestra. En la figura 4 se indica una diferencia que existe entre una desviación estándar con una mayor dispersión de los datos y una menor dispersión de los mismos.



Figura 4 Diferencia entre la desviación menor y mayor

Fuente: (Minitab S.)

A continuación se expresa la ecuación de la desviación estándar para una muestra:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n}} \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

X: es un valor de un conjunto de datos

\bar{X} : es la media del conjunto de datos

n: es el número de puntos de datos

2.5 EL ERROR ESTÁNDAR

El error estándar mide el error aleatorio en un dato estadístico informado: el tipo de error causado por la variación aleatoria del muestreo al repetir una prueba en las mismas condiciones.

$$S_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec.9}$$

2.6 RANGO

El rango es la diferencia entre el número mayor y el número menor de un conjunto de números.

$$R = X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n} \quad \text{Ec.10}$$

2.7 SESGO ESTANDARIZADO

Medida de la forma de la distribución de los datos. Datos sesgados a la izquierda tienen un sesgo negativo; una distribución de datos simétrica tiene sesgo cero, y datos

sesgados a la derecha tienen sesgo positivo. A continuación se muestra la ecuación del primer sesgo de Pearson.

$$\text{Sesgo} = \frac{\text{Media-Moda}}{\text{Desviación Típica}} = \frac{\bar{X}-\text{moda}}{s} \quad \text{Ec.11}$$

2.8 CURTOSIS ESTANDARIZADA

La *curtosis* indica qué tan puntiaguda es una distribución; esto por lo regular es en relación con la distribución normal. Una distribución normal tiene curtosis nula. Una distribución más apuntada que la normal tiene curtosis positiva. Una distribución menos apuntada que la normal tiene curtosis negativa.

Si tiene un pico alto como en la figura 5(a), se dice Leptocúrtica, mientras si es aplasta, como de la figura 5(b), se dice Platicúrtica. La distribución normal, mostrada en la figura 5(c), que no es ni muy puntiaguda ni aplastada, se llaman mesocúrtica.

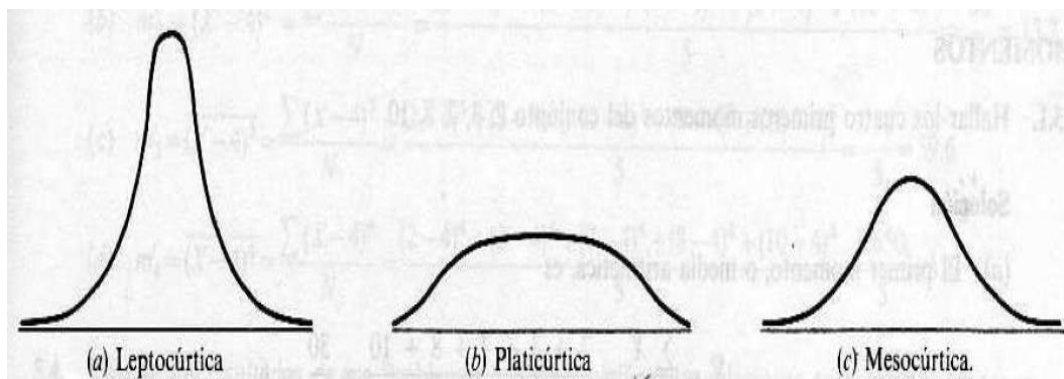


Figura 5 Tipos de distribución normal.

Fuente: (Murray R & Larry J, 2009)

Una medida de curtosis utiliza el cuarto momento respecto a la media en forma adimensional y viene dada por:

$$\alpha_4 = \frac{m^4}{s^4} = \frac{m_4}{m_2^2} \quad \text{Ec.12}$$

2.8.1 Asimetría

Mide la simetría o la ausencia de la misma. Una distribución simétrica, tal como la normal tiene asimetría cero. Distribuciones para las cuales los valores de su asimetría estén por encima de cero presentan asimetría positiva. Distribuciones para las cuales los valores de su asimetría estén por debajo de cero presentan asimetría negativa.

Si los datos provienen de una distribución normal, los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados deben de estar entre -2 y +2 (Zuñiga Solis, 2017).

2.9 CAJA DE BIGOTES

En la figura 6 se presenta un gráfico de caja y bigotes, inventado por John Tukey, es una representación gráfica de una variable en la que a partir de sus percentiles se obtiene información sobre la distribución de sus observaciones (concentración o dispersión de los datos o existencia de valores atípicos).

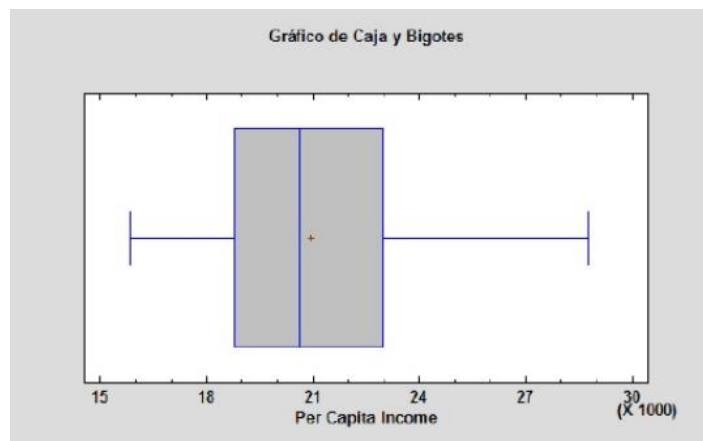


Figura 6 Panel gráfico de caja y bigotes
Fuente: (Madrid, 2009)

La caja central cubre la mitad de los datos, extendiéndose desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior. Las líneas extendidas a izquierda y derecha de la caja (los bigotes) muestran la localización del mayor y menor de los datos. La mediana de los datos está indicada por la línea vertical en el interior de la caja, mientras que el signo (+) muestra la localización de la media muestral. El hecho de que el bigote superior es algo más largo que el inferior, a la vez que la media es algo mayor que la mediana, es indicativo de asimetría positiva en los datos.

El diagrama de la caja se construye a partir de los percentiles 25%, 50% (mediana) y 75%. Como medida de la dispersión se utiliza el rango intercuartílico (percentil 75% - percentil 25%) de manera que cualquier dato que se aleje de los percentiles 25 ó 75% una distancia superior a 1,5 veces el rango intercuartílico se considera atípico.

2.9.1 Percentiles

Los percentiles de una variable proporcionan información sobre cómo están distribuidos los datos estudiados. Son importantes los percentiles 25 (cuartil inferior), 50 (mediana) y 75 (cuartil superior) (Madrid, 2009).

2.10 VALORES ATÍPICOS

2.10.1 Atípicos lejanos

Son puntos situados a más de 3 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de los límites de la caja. (Nota: el rango intercuartílico es la distancia entre los cuartiles primero y tercero y coincide con la anchura de la caja.) Los valores fuera de estos límites se denotan por un punto (habitualmente un pequeño cuadrado) con un signo más superpuesto en él. Si los datos provienen de una distribución normal, la posibilidad de que un punto esté lo suficientemente lejos de la caja para clasificarlo como un punto atípico es sólo de 1 entre 300 en una muestra del tamaño actual. A menos que haya cientos de observaciones en la muestra, los puntos fuera de estos límites son indicativos de valores atípicos (o de una distribución no normal)

2.10.2 Atípicos dudosos

Son puntos situados a más de 1.5 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de los límites de la caja. Estos valores se denotan por puntos y no se le superpone el signo más. Si los datos provienen de una distribución normal, la posibilidad de observar 1 o 2 puntos atípicos en una muestra de $n=100$ observaciones está cercana al 50% y no indica necesariamente la presencia de un valor atípico verdadero. Estos puntos deben ser considerados simplemente buenos para una investigación posterior (Zuñiga Solis, 2017).

2.11 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Es un modelo estadístico que trata de verificar si un conjunto de datos se puede ajustar o afirmar que proviene de una determinada distribución; en general resumen la discrepancia entre los valores observados y los valores esperados en un modelo de estudio.

Las pruebas que se pueden aplicar son: la Chi-Cuadrada, la prueba de Smirnov-Kolmogorov y Anderson Darling, estas pruebas miden el grado de ajuste que existe

entre la distribución obtenida a partir de la muestra y la distribución teórica que se supone que debe seguir esa muestra.

Estas dos pruebas están basadas en la hipótesis nula, como no hay diferencias significativas entre la distribución muestral y la teórica, H_0 es la distribución que se supone a dicha muestra aleatoria.

2.11.1 Prueba Chi-Cuadrada

La prueba Chi-Cuadrada permite evaluar el grado de correspondencia entre las frecuencias observadas y esperadas en cada categoría. Para comparar un grupo de frecuencias observado con uno esperado, debemos ser capaces de establecer qué frecuencias deben ser esperadas. La hipótesis H_0 , establece la proporción de objetos que caen en cada una de las categorías en la población supuesta.

$$X^2 = \frac{(o_1 - e_1)^2}{e_1} + \frac{(o_2 - e_2)^2}{e_2} + \dots + \frac{(o_k - e_k)^2}{e_k} = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j} \quad \text{Ec.13}$$

Donde, si la frecuencia total es N ,

$$\sum o_j = \sum e_j = N \quad \text{Ec.14}$$

Una expresión equivalente a la ecuación 13 es:

$$X^2 = \sum \frac{o_j^2}{e_j} - N \quad \text{Ec.15}$$

En la tabla 6 se indica la ocurrencia de un conjunto de eventos $E_1, E_2, E_3, \dots, E_K$ con las frecuencias observadas $o_1, o_2, o_3, \dots, o_k$ y según las reglas de probabilidad se espera que estos eventos ocurrieran con frecuencias esperadas o teóricas $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$.

Tabla 6

Conjunto de eventos con las frecuencias observadas y esperadas

Eventos	E_1	E_2	E_3	E_k
Frecuencias observadas	o_1	o_2	o_3	...	o_k
Frecuencias esperadas	e_1	e_2	e_3		e_k

Fuente: Elaboración propia

Para investigar el grado de coincidencia entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas se calcula el estadístico, que está basado en la hipótesis nula H_0 y puede probarse mediante el siguiente estadístico:

$$X^2 = \sum_j^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j} \quad \text{Ec.16}$$

Dónde:

O_j : Es el número de frecuencias observadas de los casos.

e_j : Es el número de frecuencia esperada.

k : Es el número de categorías.

Si $X^2 = 0$, las frecuencias observadas y las frecuencias teóricas coinciden exactamente; en tanto que si $X^2 > 0$, la coincidencia no es exacta. Cuanto mayor sea el valor de X^2 , mayor la discrepancia entre frecuencias observadas y frecuencias esperadas (Murray R & Larry J, 2009).

2.11.1.1 Hipótesis nula H_0

La hipótesis nula denotada por H_0 , es la pretensión de que inicialmente se supone cierta (la pretensión de “creencia previa”). La hipótesis alternativa denotada por H_a , es la aseveración contradictoria a H_0 . La hipótesis nula será rechazada en favor de la hipótesis alternativa sólo si la evidencia muestral sugiere que H_0 es falsa. Si la muestra no contradice fuertemente a H_0 , se continuará creyendo en la verdad de la hipótesis nula. Las dos posibles conclusiones derivadas de un análisis de prueba de hipótesis son entonces rechazar H_0 o no rechazar H_0 (Devore, s.f.).

2.11.2 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

La prueba de Kolmogorov es una prueba de bondad de ajuste, es decir, del grado en que la distribución observada difiere de otra distribución. Es una alternativa a la prueba Chi-Cuadrada de bondad de ajuste cuando el número de datos es pequeño.

(Sáez Castillo, 2012) Afirma que en este caso el test es aplicable sobre todo a variables de tipo continuo. Se basa en la comparación de la función de distribución teórica propuesta por el modelo cuyo ajuste estamos evaluando con la función de distribución empírica de los datos.

Concretamente, si tenemos X_1, \dots, X_N una muestra de una va X , si notamos por $F(x)$ a la función de distribución del modelo propuesto y por $S_N(x)$ a la función de distribución empírica asociada a la muestra, el estadístico que se utiliza para este contraste viene dado por:

$$D_N = \text{Sup}_x |F(x) - S_N(x)| \quad \text{Ec.17}$$

Al calcular hay que tener en cuenta que la variable (x) es de tipo continuo.

La hipótesis nula a contrastar es:

H_0 : Los datos de la muestra se ajustan a la distribución dada por $F(x)$ frente a la hipótesis alternativa.

H_1 : Los datos de la muestra no se ajustan a la distribución dada por $F(x)$.

Se rechazará la hipótesis nula en favor de la alternativa cuando el valor-P asociado al valor que tome D_N sea inferior a 0.05.

2.11.3 Prueba de Anderson Darling

La prueba de Anderson-Darling es una prueba no paramétrica usada para medir que si una muestra proviene de una distribución específica. Para un conjunto de datos y una distribución específica, cuanto mejor se adapte la distribución a los datos, menor será esta estadística. La estadística de Anderson-Darling permite determinar si los datos cumplen con el supuesto de normalidad para una prueba t. Las hipótesis para la prueba de Anderson-Darling son:

H_0 : los datos siguen una distribución especificada

H_1 : los datos no siguen una distribución especificada

Utilizar el valor p correspondiente para comprobar si los datos provienen de la distribución elegida. Si el valor de p es menor que un alfa elegido (generalmente 0.05 o 0.10), entonces rechace la hipótesis nula de que los datos provienen de esa distribución. También puede usar la estadística Anderson-Darling para comparar el ajuste de varias distribuciones para determinar cuál es la mejor. Sin embargo, para concluir que una distribución es la mejor, su estadística de Anderson-Darling debe ser sustancialmente más baja que las demás (Minitab S. f., s.f).

La fórmula para el estadístico Anderson Darling determina si los datos provienen de una distribución con función acumulativa F

$$A^2 = -N - S \quad \text{Ec.18}$$

Donde el estadístico para la prueba de Anderson Darling es:

$$A_n^2 = -\sum_{i=1}^N \frac{2i-1}{n} \left[\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{n+1-i})) \right] - n \quad \text{Ec.19}$$

2.12 VALOR-P

El valor-P es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Un valor p más pequeño proporciona una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula. El valor p sirve para determinar si los datos no siguen una distribución normal, este valor se lo compara con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como α o alfa) de 0.05 funciona adecuadamente. Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal, cuando los datos sí siguen una distribución normal.

- **Valor-P $\leq \alpha$: Los datos no siguen una distribución normal (Rechaza H_0)**

Si el valor-P es menor que o igual al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que sus datos no siguen una distribución normal.

- **Valor-P $> \alpha$: No se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal (No puede rechazar H_0)**

Si el valor-P es mayor que el nivel de significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula. Usted no tiene suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una distribución normal (Zuñiga Solis, 2017).

2.13 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

La metodología estadística identificada en este capítulo permitirá validar la base de datos la cual se empleara para determinar el comportamiento de la THDI y THDV durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana, con este fin se buscaran los valores de límite superior e inferior, desviación estándar y promedio para cada intervalo horario analizado.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE LA BASE DE DATOS

La base de datos de las mediciones de calidad de energía fue facilitada por la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA), la cual emplearon el equipo FLUKE 1744 (error del 0.01%) para las respectivas mediciones, esta base de datos se encuentra conformada por mediciones efectuadas a diferentes transformadores monofásicos de distribución, las mismas que fueron realizadas durante 3 años (2013, 2014, 2015), cada 10 minutos, las 24 horas del día y durante una semana a cada uno de los respectivos transformadores. Las mediciones se encuentran en formato Excel ver Anexo 1 digital.

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron las mediciones efectuadas a 245 transformadores monofásicos del sector residencial del área de concesión de la EERSSA (Empresa Electric Regional del Sur S.A.), incluidos transformadores que brindan servicio eléctrico a usuarios residenciales que poseen cocina de inducción, en la tabla 7 se indica un resumen de las mediciones efectuadas.

Tabla 7

Distribución de transformadores y datos analizados

Capacidades de los transformadores (kVA)	Total de transformadores con cocinas de inducción	Total de transformadores sin cocinas de inducción	Datos analizados fase (A Y B)
10	16	38	108864
15	15	52	135072
25	40	48	177408
37.5	24	12	72576
TOTAL	95	150	493920

Fuente: Elaboración propia

3.2 PASOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA THDI Y THDV.

Primer paso.

Se procedió a separar los transformadores que tienen cocinas de inducción con los que no poseen, después se procede a clasificarlos como se indica en la tabla 8.

Tabla 8*Clasificación de los transformadores*

Capacidades de los transformadores (kVA)	Total de transformadores con cocinas de inducción	Total de transformadores sin cocinas de inducción
10	16	38
15	15	52
25	40	48
37.5	24	12
TOTAL	95	150

Fuente: Elaboración propia**Segundo paso**

Para el procesamiento de la base de datos fue necesario agrupar atendiendo los siguientes criterios, cada medición fue efectuada durante 7 días, las 24 horas del día y medida en intervalos de tiempo de cada 10 minutos, a la base de datos se le saco el promedio a cada transformador las 24 horas y los 7 días de la semana para todos los transformadores analizados con y sin cocinas de inducción, una vez agrupado o procesado de esta forma fue posible a partir de esta clasificación calcular la desviación estándar, el intervalo de confianza, límite superior e inferior para cada uno de los transformadores; este procedimiento se desarrolló para los 7 días de la semana y para la fase A y B del transformador. Para el cálculo del intervalo de confianza se aplicó un coeficiente alfa con un nivel de significancia de 0.05 ya que según (Spiegel, 2000, pág. 237) afirma “que en la práctica, es frecuente un nivel de significación de 0.05 a 0.01, si se escoge un nivel de significación del 0.05 significa que hay 5 oportunidades de rechazar la hipótesis cuando debiera haberse aceptado, es decir tenemos un 95% de confianza que hemos adoptado la decisión correcta”.

Tercer paso

En este paso se procedió a extraer el promedio general de la THDV y THDI para todos los transformadores de las diferentes capacidades, analizando su comportamiento de los parámetros de la THDV y THDI, para cocinas de inducción y sin cocinas de inducción, para los 3 años respectivos, tanto para la fase A y B del transformador. Ver anexo 1 se indican todos los datos analizados durante la presente investigación.

En la figura 7 y figura 8 se representa el comportamiento de las curvas de la THDV en los transformadores que poseen cocinas de inducción tanto para la fase A y B, analizados durante los 7 días de la semana, donde se observa que la THDV para la Fase A de transformadores que poseen cocinas de inducción se encuentra dentro de los límites establecido por la Norma Nacional CONELEC 004/01(Tolerancia del 8%). Donde el límite mayor promedio se encuentra con un valor de 4.004% y el valor promedio mínimo esta alrededor de un 2.208%.

En la figura 8 se observa que los valores de la THDV para la Fase B se encuentran dentro de la tolerancia del 8% y el valor más bajo está a un 6.61%.

En la figura 9 y 10 se indican los valores de la THDI medidos durante 3 años, obteniendo un valor máximo de 21.632% y un mínimo de 12.225% para la fase A y la fase B un valor máximo de 25.85% y un mínimo de 15.253%.

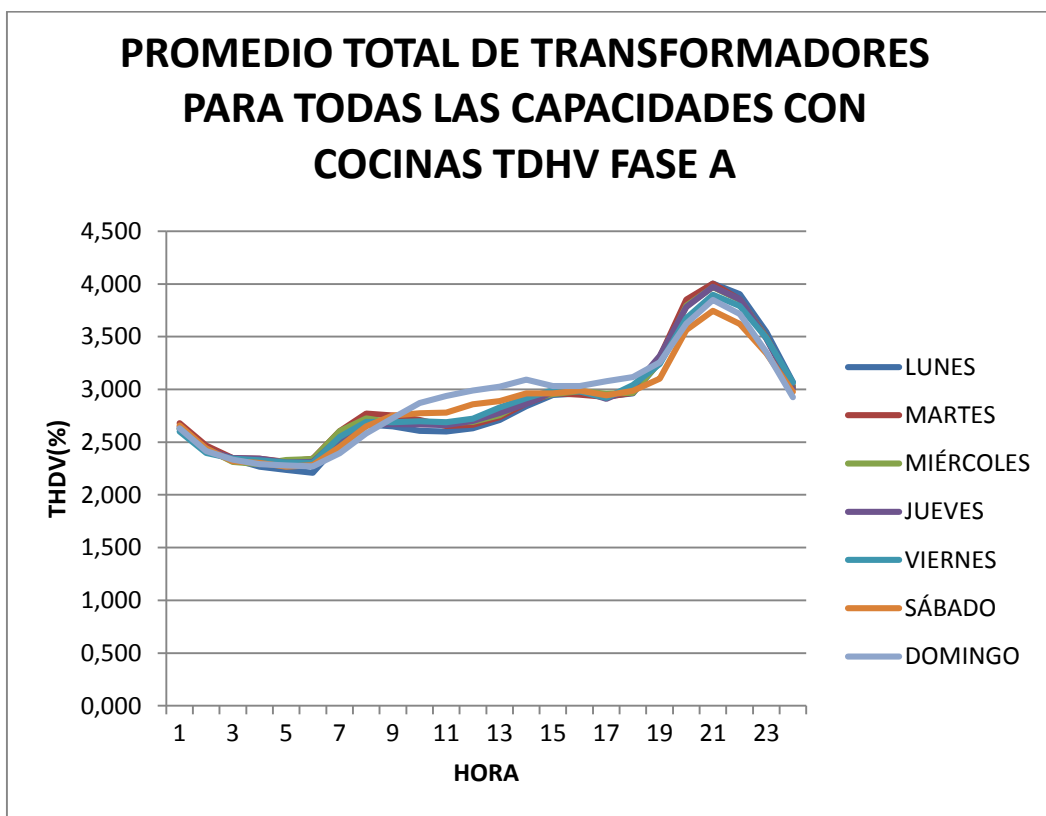


Figura 7 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDV Fase A
Fuente: Elaboración Propia

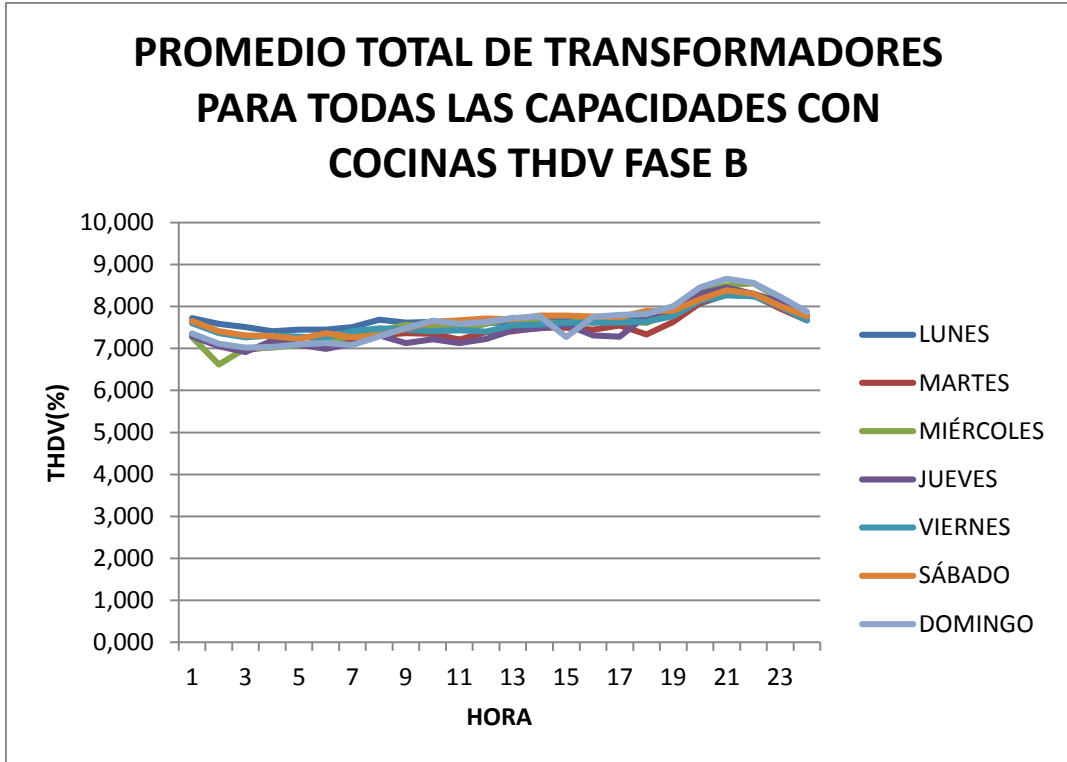


Figura 8 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDV Fase B
Fuente: Elaboración Propia

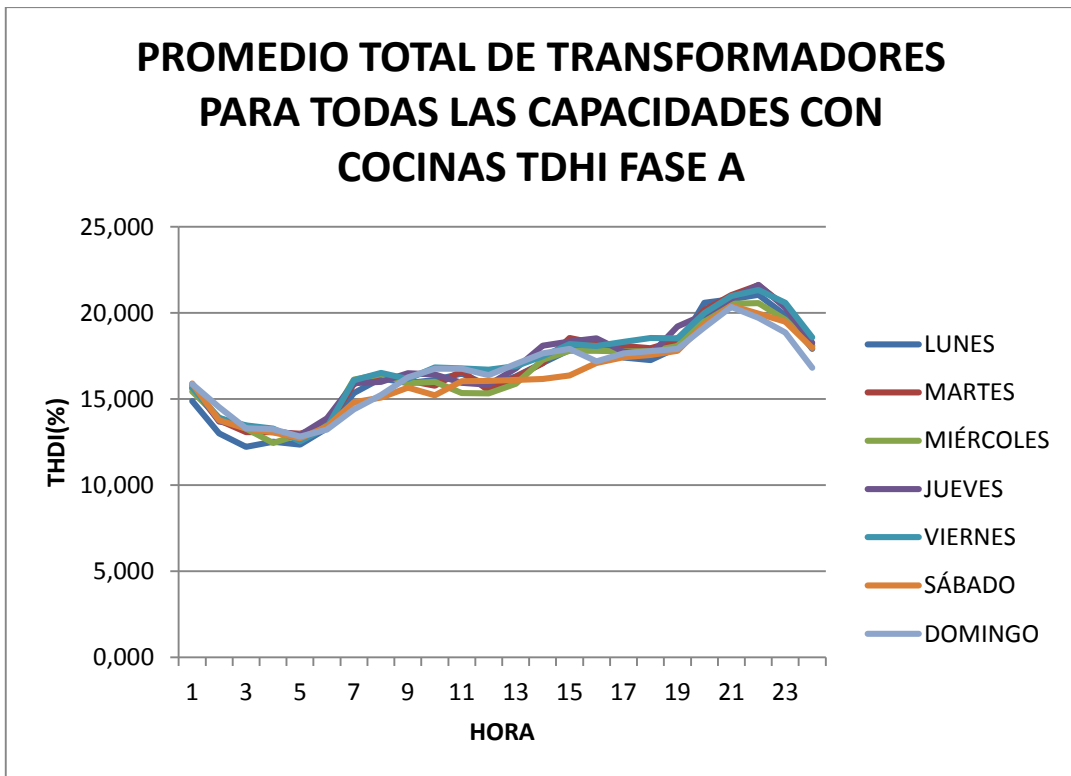


Figura 9 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas TDHI Fase A
Fuente: Elaboración Propia

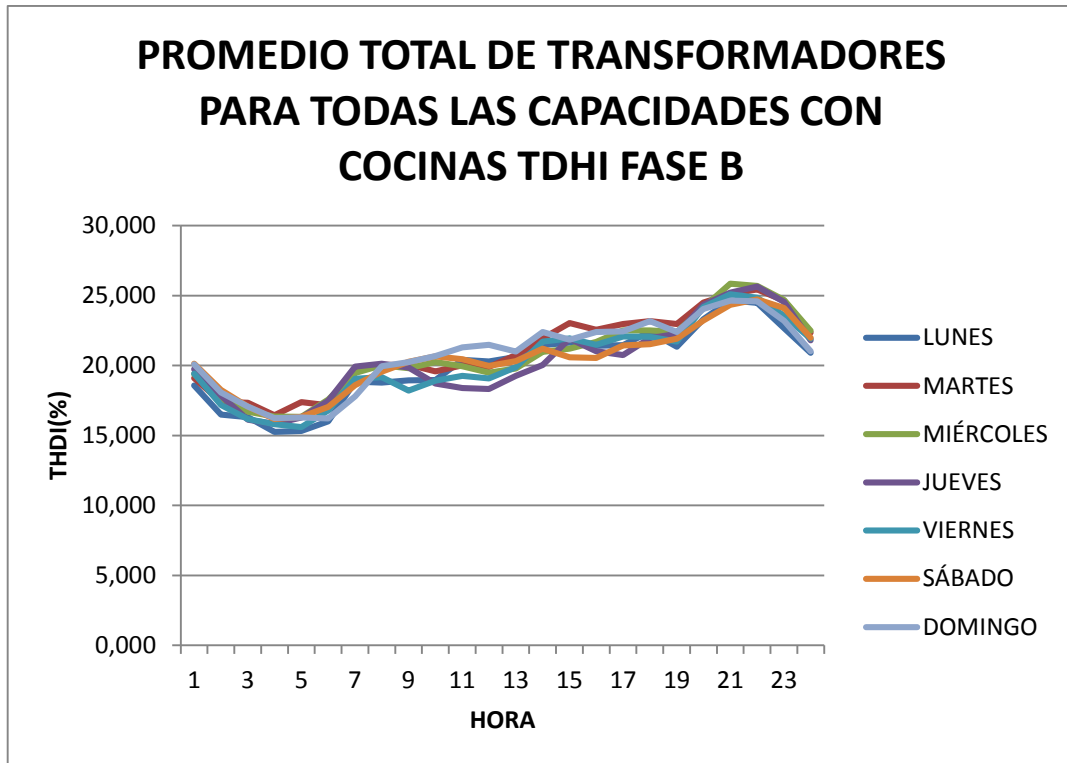


Figura 10 Curvas promedio del total de transformadores Con Cocinas THDI Fase B
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 11 y 12 se indican el promedio de la THDV para transformadores sin cocina de inducción, donde se observa que la THDV es menor en los horarios de 3-6 am y empieza a incrementarse en los horarios de 18-22 pm. En la fase A los límites de la THDV se encuentran dentro del rango establecido por la Regulación CONELEC 004/01.

Para la fase B se puede apreciar que los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la Regulación Nacional CONELEC 004/01 (Límite del 8%), dándonos un mínimo del 4.59% y un máximo de 6.125%.

En la figura 13 y 14 se indican los valores de la THDI medidos durante 3 años, tanto para la fase A y B, de la cual se deduce que todos los días de la semana siguen una misma tendencia a excepción del día sábado donde hay una desviación de la curva.

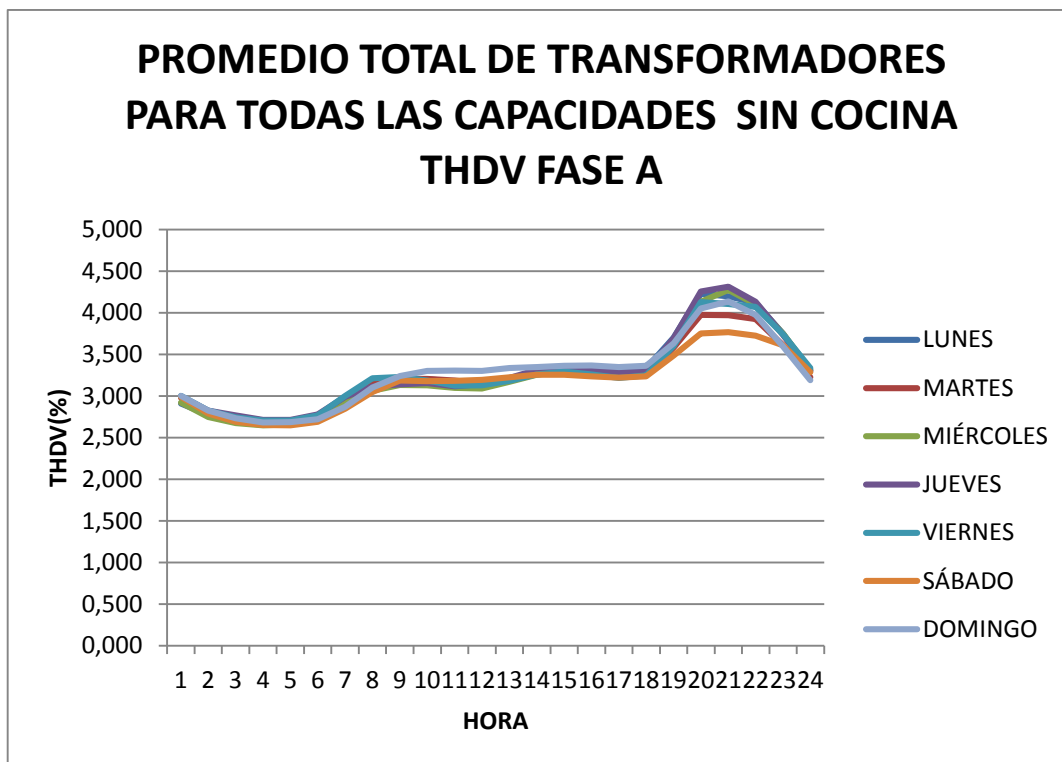


Figura 11 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDV Fase A
Fuente: Elaboración Propia

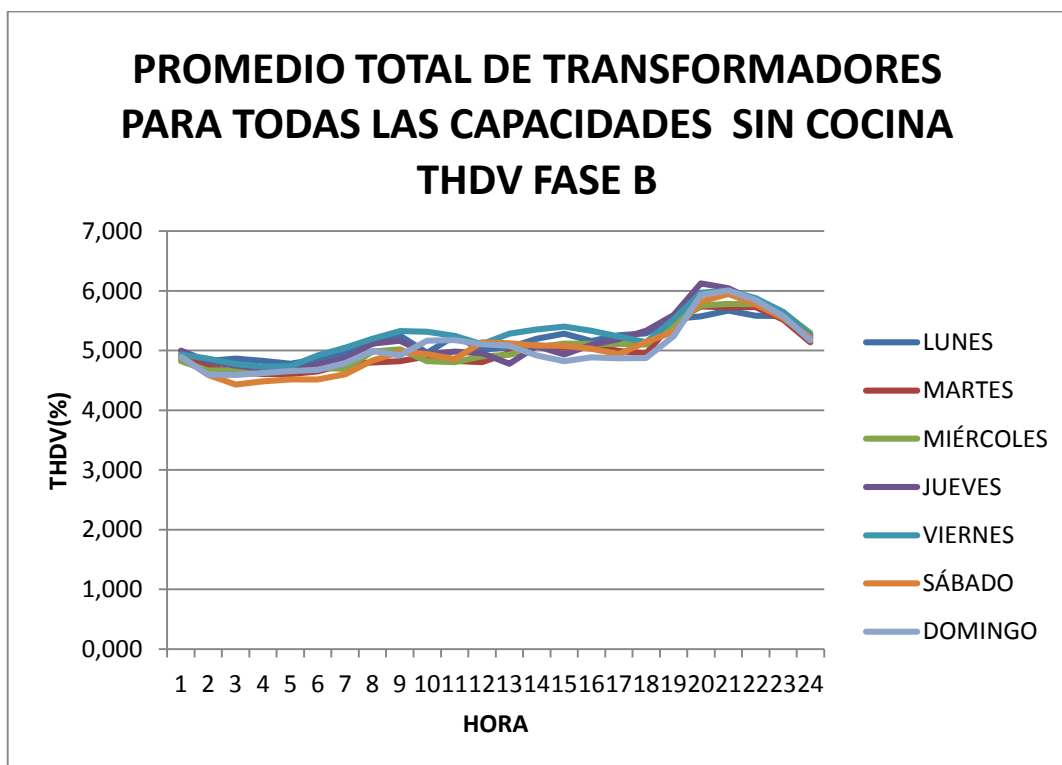


Figura 12 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDV Fase B
Fuente: Elaboración Propia

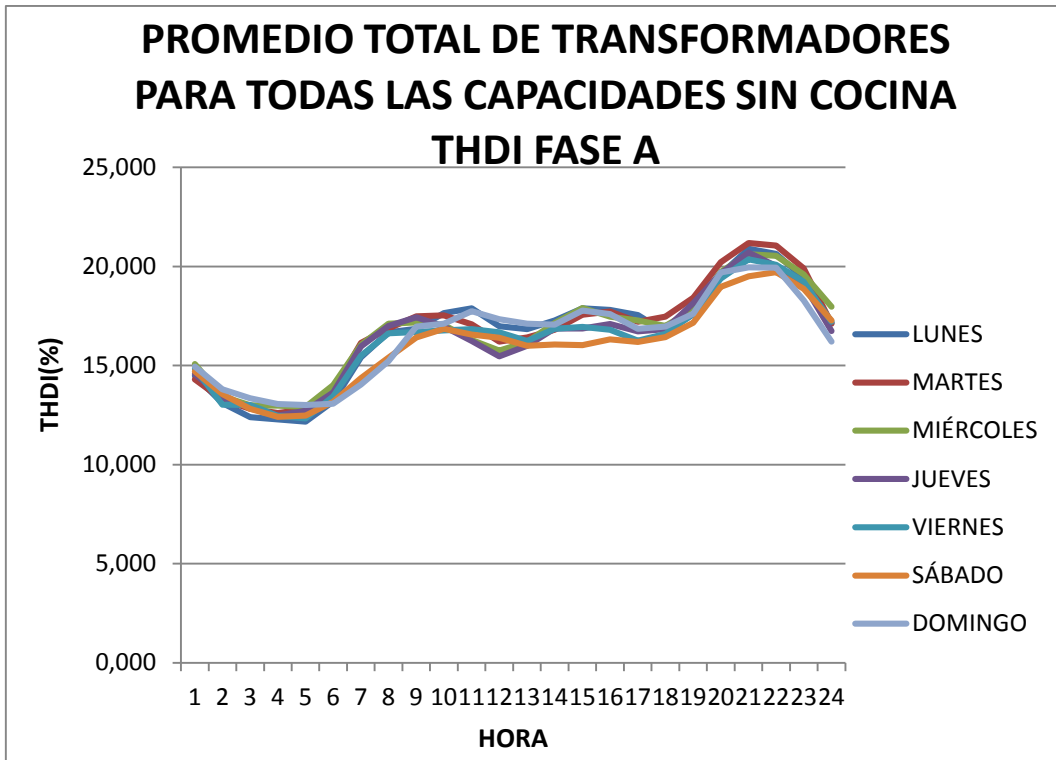


Figura 13 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDI Fase A
Fuente: Elaboración Propia

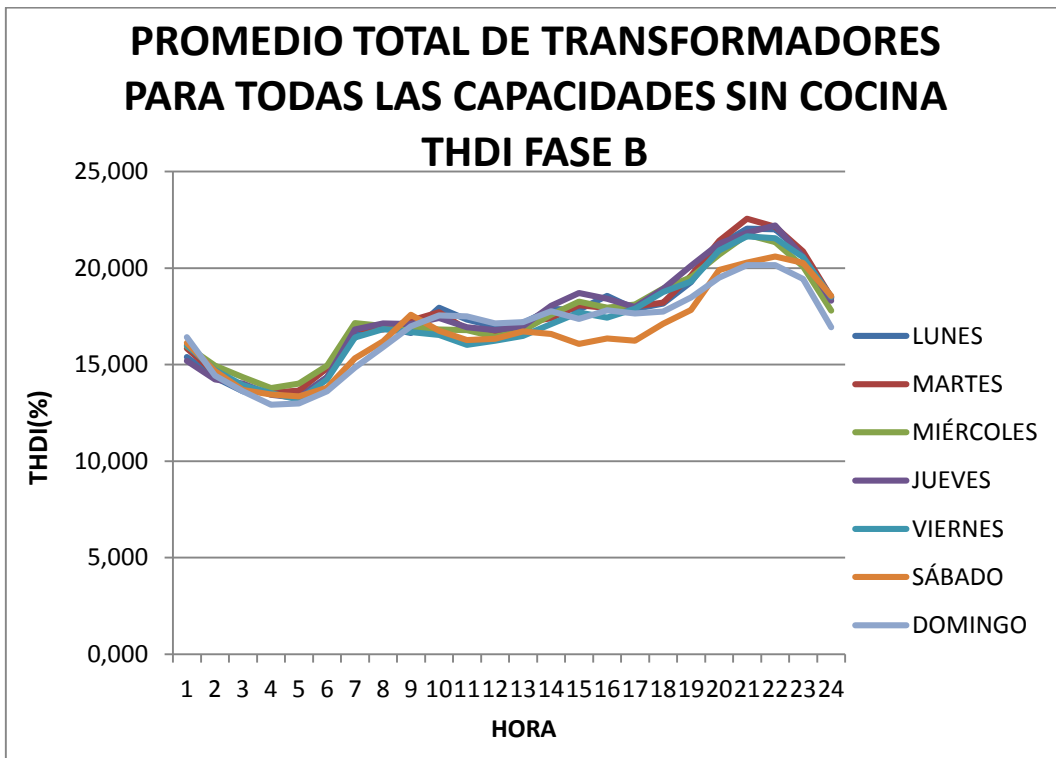


Figura 14 Curvas promedio del total de transformadores Sin Cocinas THDI Fase B
Fuente: Elaboración Propia

A partir de estas graficas se empieza realizar las pruebas estadísticas (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) en el software STATGRAPHICS para validar si estos valores se encuentran dentro de una distribución normal. Esta prueba se realiza para los transformadores con y sin cocinas de inducción, debido que se está analizando ambas partes, con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, los datos para realizar esta prueba estadística se muestran a continuación:

Los límites expuestos en la tabla 9 son los valores promedios totales de las mediciones de la THDV realizadas cada 10 minutos, durante las 24 horas y toda una semana, para transformadores con cocinas de inducción, estos mismos datos nos servirán para determinar de forma gráfica como está caracterizada su curva grafica diaria para cada fase.

Tabla 9

Promedio Total de la THDV para transformadores de todas las capacidades con cocinas FASE A

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES THDV PARA LA FASE A							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	2.625	2.679	2.629	2.648	2.602	2.659	2.631
1H00	2.444	2.466	2.439	2.426	2.399	2.439	2.414
2H00	2.341	2.349	2.312	2.350	2.342	2.319	2.335
3H00	2.267	2.342	2.291	2.342	2.327	2.302	2.292
4H00	2.236	2.311	2.330	2.306	2.305	2.266	2.279
5H00	2.208	2.342	2.341	2.312	2.304	2.282	2.271
6H00	2.496	2.604	2.604	2.540	2.550	2.454	2.393
7H00	2.666	2.772	2.727	2.669	2.692	2.649	2.582
8H00	2.648	2.752	2.685	2.670	2.690	2.753	2.729
9H00	2.608	2.710	2.675	2.667	2.699	2.773	2.872
10H00	2.601	2.653	2.683	2.662	2.690	2.781	2.938
11H00	2.630	2.663	2.692	2.700	2.721	2.859	2.991
12H00	2.710	2.738	2.756	2.776	2.829	2.889	3.026
13H00	2.840	2.866	2.895	2.866	2.916	2.963	3.092
14H00	2.948	2.964	2.956	2.975	2.993	2.963	3.033
15H00	2.963	2.951	2.982	2.991	2.981	2.990	3.031
16H00	2.936	2.929	2.958	2.910	2.918	2.944	3.077
17H00	2.961	2.968	2.967	3.015	3.041	2.985	3.115
18H00	3.261	3.308	3.261	3.318	3.240	3.102	3.257
19H00	3.827	3.852	3.793	3.782	3.674	3.563	3.622
20H00	4.004	4.003	3.969	3.973	3.896	3.745	3.848
21H00	3.903	3.852	3.850	3.855	3.791	3.620	3.714
22H00	3.544	3.498	3.490	3.481	3.487	3.343	3.354
23H00	3.067	3.033	3.026	3.007	3.066	2.978	2.926

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10*Valores característicos obtenidos para el THDV FASE A*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV-SMIRNOV	ANDERSON-DARLING
LUNES	5.75 V-P= 0.21886	0.1738 V-P=0.4718	0.8844 V-P= >=10
MARTES	8.66 V-P=0.0699	0.1943 V-P=0.3269	0.9991 V-P= >=10
MIÉRCOLES	6.9166 V-P= 0.1403	0.1786 V-P=0.4341	0.9032 V-P= >=10
JUEVES	6.9166 V-P= 0.1403	0.1858 V-P=0.3824	0.9019 V-P= >=10
VIERNES	2.8333 V-P= 0.5860	0.1365 V-P=0.7621	0.6376 V-P= >=10
SÁBADO	5.75 V-P= 0.2186	0.1680 V-P=0.5199	0.5061 V-P= >=10
DOMINGO	6.9166 V-P= 0.1403	0.1171 V-P=0.8986	0.4432 V-P= >=10

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 10 se observa que para todos los días el valor-P es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar los datos ya que provienen de una distribución normal con un nivel del 95% de confianza. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 2 y 3 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDV para la fase A.

Tabla 11*Promedio Total de todas las capacidades con cocinas THDV FASE B*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES THDV PARA LA FASE B							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	7.723	7.353	7.272	7.288	7.605	7.652	7.357
1H00	7.585	7.086	6.615	7.051	7.367	7.413	7.116
2H00	7.512	6.970	7.007	6.913	7.268	7.312	7.019
3H00	7.413	7.035	7.021	7.187	7.308	7.296	7.037
4H00	7.448	7.085	7.081	7.087	7.285	7.230	7.095
5H00	7.450	7.056	7.187	6.990	7.255	7.364	7.126
6H00	7.513	7.239	7.299	7.113	7.413	7.265	7.085
7H00	7.688	7.322	7.428	7.312	7.477	7.306	7.285
8H00	7.618	7.365	7.560	7.131	7.452	7.468	7.486
9H00	7.634	7.347	7.526	7.224	7.410	7.639	7.661
10H00	7.522	7.215	7.444	7.128	7.435	7.670	7.587
11H00	7.606	7.390	7.586	7.230	7.405	7.718	7.630
12H00	7.621	7.412	7.728	7.434	7.556	7.693	7.724
13H00	7.618	7.497	7.624	7.478	7.568	7.782	7.771
14H00	7.753	7.492	7.598	7.569	7.618	7.784	7.274
15H00	7.617	7.448	7.689	7.311	7.614	7.765	7.751
16H00	7.729	7.545	7.655	7.281	7.616	7.743	7.796
17H00	7.734	7.333	7.609	7.789	7.639	7.895	7.819
18H00	7.919	7.630	7.869	7.911	7.769	7.901	8.005
19H00	8.075	8.082	8.358	8.309	8.136	8.176	8.459
20H00	8.281	8.312	8.502	8.448	8.263	8.390	8.665
21H00	8.241	8.264	8.553	8.300	8.249	8.307	8.566
22H00	8.094	7.954	8.182	8.116	7.997	8.014	8.238
23H00	7.764	7.674	7.777	7.785	7.672	7.768	7.879

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 11 se indican los valores promedios de la THDV para la fase B, donde serán analizados mediante las 3 pruebas estadísticas (Chi- Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) para comprobar y validar si los mismos se encuentran dentro de una distribución normal.

Tabla 12*Valores característicos obtenidos para el THDV FASE B*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV- SMIRNOV	ANDERSON- DARLING
LUNES	8.083 V-P= 0.0886	0.2111 V-P=0.2355	1.1783 V-P= >=0.10
MARTES	4.5833 V-P=0.3328	0.1714 V-P=0.4919	0.8928 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	6.3333 V-P= 0.1756	0.1379 V-P=0.7512	0.4751 V-P= >=0.10
JUEVES	6.9166 V-P= 0.1403	0.2234 V-P=0.1822	1.1595 V-P= >=0.10
VIERNES	8.0833 V-P= 0.0886	0.1959 V-P=0.3175	1.1353 V-P= >=0.10
SÁBADO	6.3333 V-P= 0.1756	0.1352 V-P=0.7726	0.4808 V-P= >=0.10
DOMINGO	5.1667 V-P= 0.2706	0.1092 V-P=0.9372	0.5168 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

Después de analizar los datos de la tabla 11 se puede apreciar que dichos valores si cumplen una distribución normal, dado que su valor-P es mayor al nivel de significancia, lo cual sus valores se representan en la tabla 12 y los mismos no se puede rechazar debido a que provienen de una distribución normal con un nivel del 95% de confianza. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 4 y 5 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDV para la fase B.

Tabla 13*Promedio Total de todas las capacidades con cocinas THDI FASE A*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES THDI PARA LA FASE A							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	14.888	15.630	15.446	15.808	15.658	15.902	15.860
1H00	13.008	13.776	13.913	13.691	13.901	13.767	14.536
2H00	12.225	13.073	13.292	13.451	13.468	13.286	13.298
3H00	12.523	13.084	12.456	13.154	13.281	13.060	13.254
4H00	12.364	12.994	12.955	12.913	12.533	12.729	12.815
5H00	13.294	13.429	13.497	13.880	13.360	13.396	13.225
6H00	15.345	15.869	16.136	15.931	16.085	14.808	14.395
7H00	16.205	16.401	16.444	16.001	16.513	15.088	15.229
8H00	15.930	16.077	15.933	16.505	16.172	15.673	16.253
9H00	16.107	15.774	15.991	16.429	16.842	15.227	16.768
10H00	16.481	16.631	15.348	15.934	16.783	16.040	16.758
11H00	15.782	15.493	15.335	15.830	16.711	16.054	16.388
12H00	16.324	16.282	15.895	16.778	16.907	16.106	17.038
13H00	17.100	17.074	17.287	18.094	17.485	16.160	17.652
14H00	17.860	18.548	17.796	18.344	18.189	16.361	17.918
15H00	18.212	18.224	17.799	18.534	18.075	17.088	17.189
16H00	17.417	18.080	17.763	17.745	18.322	17.421	17.661
17H00	17.271	17.951	17.777	17.587	18.545	17.563	17.777
18H00	17.987	18.423	18.085	19.208	18.521	17.795	17.912
19H00	20.592	20.166	19.636	19.899	19.988	19.344	19.150
20H00	20.803	21.032	20.536	20.822	20.971	20.424	20.350
21H00	21.063	21.603	20.568	21.632	21.334	19.952	19.708
22H00	19.858	20.384	19.612	20.318	20.583	19.488	18.866
23H00	17.921	18.092	18.081	18.258	18.590	17.973	16.816

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 13 se indican los valores promedios de la THDI para la fase A, los mismos que son analizados mediante las pruebas estadísticas (Chi- Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) para determinar y validar si los mismos cumplen con una distribución normal.

Tabla 14*Valores característicos obtenidos para el THDI FASE A*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV- SMIRNOV	ANDERSON- DARLING
LUNES	6.3333 V-P= 0.1756	0.100 V-P=0.9695	0.3625 V-P= >=0.10
MARTES	6.9167 V-P=0.0699	0.1943 V-P=0.3269	0.3434 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	9.6837 V-P= 0.0847	0.1134 V-P=0.9172	0.3204 V-P= >=0.10
JUEVES	6.9167 V-P= 0.1403	0.1135 V-P=0.9168	0.2835 V-P= >=0.10
VIERNES	4.5833 V-P= 0.3328	0.1055 V-P=0.9519	0.3749 V-P= >=0.10
SÁBADO	5.1667 V-P= 0.2706	0.1102 V-P=0.9327	0.2931 V-P= >=0.10
DOMINGO	2.8333 V-P= 0.5861	0.1256 V-P=0.8435	0.3958 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

Después de analizar los datos de la tabla 13 se puede apreciar que dichos valores si se encuentran dentro de una distribución normal, dado que su valor-P es mayor al nivel de significancia (0.05), los mismos se encuentran tabulados en la tabla 14 y no se puede rechazar los datos ya que provienen de una distribución normal con un nivel del 95% de confianza. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 6 y 7 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDI para la fase A.

Tabla 15*Promedio Total de todas las capacidades con cocinas THDI FASE B*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES CON COCINAS THDI PARA LA FASE B							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	18.575	19.104	19.391	19.738	19.427	20.127	20.072
1H00	16.500	17.407	17.653	17.838	17.165	18.247	18.076
2H00	16.312	17.341	16.694	16.125	16.164	17.056	17.067
3H00	15.253	16.439	16.361	15.824	15.809	16.173	16.229
4H00	15.317	17.378	16.336	16.275	15.589	16.331	16.279
5H00	16.013	17.164	17.558	17.480	16.783	17.040	16.224
6H00	18.848	19.728	19.470	19.927	19.042	18.598	17.804
7H00	18.785	20.035	20.011	20.120	19.170	19.563	19.954
8H00	18.931	20.062	19.797	19.849	18.203	20.254	20.238
9H00	18.964	19.588	20.244	18.704	18.908	20.643	20.682
10H00	20.403	20.006	19.946	18.400	19.254	20.446	21.289
11H00	20.279	19.899	19.489	18.312	19.086	19.979	21.468
12H00	20.597	20.742	19.776	19.264	19.887	20.303	20.997
13H00	21.461	21.941	20.969	20.039	21.714	21.211	22.403
14H00	21.633	23.039	21.196	21.919	21.941	20.574	21.841
15H00	21.409	22.549	21.674	21.019	21.488	20.535	22.393
16H00	21.445	22.957	22.496	20.754	22.079	21.443	22.443
17H00	22.404	23.173	22.517	21.963	22.055	21.521	23.181
18H00	21.341	22.971	22.388	22.265	21.704	21.906	22.397
19H00	23.303	24.493	24.144	24.347	24.171	23.212	24.032
20H00	24.660	25.115	25.850	25.215	25.102	24.336	24.626
21H00	24.477	25.427	25.690	25.649	24.850	24.730	24.587
22H00	22.661	24.645	24.691	24.547	23.570	24.101	23.192
23H00	20.908	22.347	22.480	21.809	21.909	21.986	21.030

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 15 se muestran los valores promedios de la THDI para la fase B para transformadores que poseen cocinas de inducción, los mismos que serán analizados mediante las 3 pruebas estadísticas (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) y determinar si los datos se encuentran dentro de una distribución normal.

Tabla 16*Valores característicos obtenidos para el THDI FASE B*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV- SMIRNOV	ANDERSON- DARLING
LUNES	7.5 V-P= 0.1117	0.1212 V-P= 0.8725	0.4112 V-P= >=0.10
MARTES	7.5 V-P= 0.1117	0.1324 V-P= 0.7942	0.4520 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	9.25 V-P= 0.0551	0.1085 V-P= 0.9402	0.3265 V-P= >=0.10
JUEVES	2.8333 V-P= 0.5861	0.1101 V-P= 0.9329	0.2817 V-P= >=0.10
VIERNES	6.3333 V-P= 0.1756	0.1340 V-P= 0.7816	0.3808 V-P= >=0.10
SÁBADO	5.75 V-P= 0.2186	0.1329 V-P= 0.7897	0.3930 V-P= >=0.10
DOMINGO	4.5833 V-P= 0.3328	0.1273 V-P= 0.8314	0.5769 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 16 se indica que todos los valores de la tabla 15 si cumplen con una distribución normal dados que los valores provienen de una distribución normal con un nivel de confianza del 95%. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 8 y 9 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDI para la fase B.

Tabla 17*Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDV FASE A*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES SIN COCINAS THDV PARA LA FASE A							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	2.908	2.980	2.921	2.995	3.001	2.991	3.001
1H00	2.775	2.804	2.748	2.825	2.826	2.791	2.825
2H00	2.713	2.731	2.676	2.766	2.746	2.692	2.731
3H00	2.675	2.708	2.646	2.714	2.706	2.653	2.684
4H00	2.661	2.704	2.660	2.712	2.707	2.647	2.688
5H00	2.727	2.752	2.740	2.780	2.769	2.690	2.721
6H00	2.949	2.992	2.946	2.989	3.002	2.847	2.871
7H00	3.109	3.146	3.062	3.113	3.212	3.047	3.102
8H00	3.172	3.206	3.133	3.139	3.228	3.188	3.239
9H00	3.201	3.206	3.128	3.155	3.185	3.180	3.301
10H00	3.173	3.186	3.097	3.117	3.123	3.181	3.307
11H00	3.167	3.150	3.092	3.144	3.128	3.196	3.302
12H00	3.206	3.203	3.169	3.217	3.183	3.225	3.336
13H00	3.303	3.308	3.256	3.315	3.258	3.254	3.347
14H00	3.353	3.328	3.298	3.346	3.295	3.255	3.363
15H00	3.325	3.301	3.262	3.317	3.258	3.237	3.368
16H00	3.310	3.254	3.247	3.288	3.217	3.222	3.349
17H00	3.333	3.247	3.265	3.288	3.246	3.237	3.362
18H00	3.703	3.583	3.666	3.695	3.603	3.488	3.632
19H00	4.230	3.977	4.133	4.254	4.129	3.751	4.052
20H00	4.198	3.972	4.273	4.313	4.104	3.766	4.138
21H00	4.123	3.925	4.102	4.131	4.071	3.724	3.976
22H00	3.748	3.609	3.749	3.733	3.741	3.608	3.593
23H00	3.297	3.224	3.317	3.311	3.336	3.286	3.189

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 17 se indican los valores promedios de la THDV para la fase A para transformadores sin cocinas de inducción, los mismos que serán analizados mediante 3 pruebas estadísticas (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) y determinar si los datos se encuentran dentro de una distribución normal.

Tabla 18*Valores característicos obtenidos para el THDV FASE A*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV- SMIRNOV	ANDERSON- DARLING
LUNES	7.5 V-P= 0.1117	0.2153 V-P=0.2159	0.8402 V-P= >=0.10
MARTES	6.3333 V-P=0.1756	0.1874 V-P=0.3717	0.7806 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	6.3333 V-P= 0.1756	0.2189 V-P=0.2007	0.9073 V-P= >=0.10
JUEVES	8.6667 V-P= 0.0699	0.2318 V-P=0.1519	1.0255 V-P= >=0.10
VIERNES	11.0426 V-P= 0.0505	0.2126 V-P=0.2286	1.0307 V-P= >=0.10
SÁBADO	7.5 V-P= 0.1117	0.1747 V-P=0.4648	0.7027 V-P= >=0.10
DOMINGO	4.0 V-P= 0.4060	0.1973 V-P=0.3092	0.6735 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 18 se indica que los datos analizados de la tabla 17 si cumplen con una distribución normal, debido a que el valor-P es mayor al nivel de significancia (0.05), lo que significa que dichos datos no pueden ser rechazados debido a que provienen con un nivel de confianza del 95%. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 10 y 11 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDV para la fase A.

Tabla 19*Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDV FASE B*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES SIN COCINAS THDV PARA LA FASE B							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	4.870	4.902	4.821	4.999	4.934	4.896	4.891
1H00	4.830	4.725	4.666	4.816	4.864	4.591	4.598
2H00	4.865	4.637	4.666	4.748	4.777	4.432	4.594
3H00	4.830	4.607	4.665	4.691	4.729	4.487	4.624
4H00	4.780	4.610	4.675	4.698	4.738	4.518	4.654
5H00	4.853	4.649	4.710	4.765	4.918	4.516	4.679
6H00	4.948	4.776	4.693	4.868	5.048	4.603	4.789
7H00	5.112	4.803	4.981	5.116	5.196	4.832	4.995
8H00	5.253	4.822	5.020	5.168	5.325	4.980	4.918
9H00	4.962	4.904	4.823	4.941	5.317	4.942	5.164
10H00	5.247	4.829	4.806	4.984	5.246	4.862	5.176
11H00	5.015	4.806	4.900	4.956	5.107	5.139	5.105
12H00	5.055	4.961	4.929	4.781	5.282	5.125	5.080
13H00	5.195	5.087	5.052	5.077	5.352	5.087	4.920
14H00	5.284	5.051	5.118	4.936	5.403	5.078	4.820
15H00	5.159	5.073	5.114	5.096	5.331	5.029	4.889
16H00	5.258	4.996	5.114	5.192	5.237	4.942	4.870
17H00	5.287	4.953	5.102	5.331	5.140	5.143	4.878
18H00	5.531	5.488	5.451	5.593	5.523	5.318	5.242
19H00	5.571	5.737	5.756	6.125	5.968	5.822	5.934
20H00	5.671	5.724	5.783	6.045	6.004	5.946	6.006
21H00	5.583	5.726	5.778	5.824	5.878	5.775	5.848
22H00	5.577	5.521	5.645	5.632	5.646	5.546	5.579
23H00	5.202	5.141	5.292	5.242	5.262	5.213	5.169

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 19 se indican los valores promedios de la THDV para la fase B para transformadores sin cocinas de inducción, los mismos que serán analizados mediante 3 pruebas estadísticas (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) y determinar si los datos cumplen con una distribución normal.

Tabla 20*Valores característicos obtenidos para el THDV FASE B*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV-SMIRNOV	ANDERSON-DARLING
LUNES	7.5 V-P= 0.1117	0.1185 V-P=0.8888	0.5607 V-P= >=0.10
MARTES	6.3333 V-P=0.1756	0.1783 V-P=0.4372	1.1847 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	8.0833 V-P= 0.0886	0.1933 V-P=0.3332	1.0105 V-P= >=0.10
JUEVES	7.5 V-P= 0.1117	0.1686 V-P=0.5139	1.0576 V-P= >=0.10
VIERNES	4.5833 V-P= 0.3328	0.1479 V-P=0.6693	0.4669 V-P= >=0.10
SÁBADO	3.4167 V-P= 0.4906	0.1484 V-P=0.6662	0.5295 V-P= >=0.10
DOMINGO	6.9166 V-P= 0.1403	0.1794 V-P=0.4288	1.1511 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 20 se indica que los datos analizados de la tabla 19 si cumplen con una distribución normal, debido a que el valor-P es mayor al nivel de significancia (0.05), lo que significa que dichos datos no pueden ser rechazados debido a que poseen un nivel de confianza del 95%. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 12 y 13 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDV para la fase B.

Tabla 21*Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDI FASE A*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES SIN COCINAS THDI PARA LA FASE A							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	14.477	14.303	15.079	14.567	14.845	14.696	14.954
1H00	13.108	13.277	13.440	13.381	13.031	13.557	13.794
2H00	13.650	12.815	12.992	12.863	13.009	12.814	13.347
3H00	12.305	12.612	12.969	12.476	12.461	12.414	13.049
4H00	12.172	12.783	12.908	12.715	12.460	12.471	13.003
5H00	13.203	13.734	14.007	13.643	14.032	13.164	13.069
6H00	14.411	16.138	16.038	15.960	15.492	14.371	14.038
7H00	15.672	16.871	17.104	17.003	16.632	15.392	15.219
8H00	16.856	17.484	17.169	17.432	16.684	16.410	16.969
9H00	16.648	17.536	17.038	16.971	16.774	16.851	17.116
10H00	16.896	17.079	16.294	16.241	16.831	16.563	17.746
11H00	17.016	16.210	15.750	15.462	16.672	16.395	17.329
12H00	17.836	16.411	16.187	15.988	16.237	15.991	17.118
13H00	17.275	16.809	17.143	16.862	16.851	16.068	17.062
14H00	16.893	17.558	17.905	16.868	16.947	16.032	17.768
15H00	16.809	17.717	17.472	17.097	16.810	16.318	17.592
16H00	16.552	17.203	17.267	16.722	16.258	16.195	16.855
17H00	17.684	17.461	16.992	16.840	16.601	16.439	16.965
18H00	17.574	18.420	17.815	18.148	17.614	17.158	17.604
19H00	19.578	20.211	19.720	19.652	19.392	18.968	19.694
20H00	20.848	21.187	20.608	20.696	20.224	19.502	19.951
21H00	20.581	21.054	20.538	20.022	19.905	19.713	19.940
22H00	19.427	19.907	19.594	19.089	19.113	18.878	18.287
23H00	17.142	17.117	17.964	16.731	17.134	17.278	16.211

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 21 se indican los valores promedios de la THDI para transformadores sin cocinas de inducción en fase A, los mismos que serán analizados mediante las 3 pruebas estadísticas (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling), con el propósito de poder determinar si los datos cumplen con una distribución normal para caracterizar las gráficas diarias de la THDI.

Tabla 22*Valores característicos obtenidos para el THDI FASE A*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV-SMIRNOV	ANDERSON-DARLING
LUNES	8.666 V-P= 0.0699	0.1846 V-P=0.3903	0.5883 V-P= >=0.10
MARTES	7.5 V-P=0.1117	0.1537 V-P=0.6222	0.6780 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	8.0833 V-P= 0.0886	0.1405 V-P=0.7303	0.5103 V-P= >=0.10
JUEVES	8.6667 V-P= 0.0699	0.1410 V-P=0.7264	0.5458 V-P= >=0.10
VIERNES	8.0833 V-P= 0.0885	0.1907 V-P=0.3498	0.8552 V-P= >=0.10
SÁBADO	7.5 V-P= 0.1117	0.1678 V-P=0.5219	0.5418 V-P= >=0.10
DOMINGO	9.4862 V-P= 0.0912	0.1999 V-P=0.2941	0.7735 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 22 se indica que los datos analizados de la tabla 21 si cumplen con una distribución normal, debido a que el valor-P es mayor al nivel de significancia (0.05), lo que significa que dichos datos no pueden ser rechazados debido a que poseen un nivel de confianza del 95%. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 14 y 15 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDI para la fase A.

Se determinó que

Tabla 23*Promedio Total de todas las capacidades sin cocinas THDI FASE B*

PROMEDIO TOTAL PARA TODAS LAS CAPACIDADES SIN COCINAS THDI PARA LA FASE B							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0H00	15.388	15.834	15.962	15.198	16.012	16.123	16.418
1H00	14.324	14.558	14.950	14.225	14.715	14.658	14.427
2H00	13.621	13.684	14.344	14.009	13.933	13.681	13.622
3H00	13.552	13.557	13.788	13.431	13.519	13.443	12.916
4H00	13.332	13.646	14.014	13.269	13.187	13.349	12.983
5H00	14.355	14.808	14.939	14.337	14.232	13.800	13.625
6H00	16.564	16.851	17.149	16.821	16.404	15.331	14.847
7H00	16.937	16.821	16.996	17.126	16.837	16.212	15.905
8H00	16.635	17.280	16.949	17.096	16.682	17.579	16.989
9H00	17.950	17.708	16.824	17.412	16.538	16.756	17.555
10H00	17.325	16.812	16.783	16.939	16.023	16.276	17.490
11H00	16.959	16.615	16.441	16.784	16.230	16.331	17.130
12H00	17.143	17.184	16.769	16.978	16.478	16.725	17.193
13H00	17.874	17.403	17.578	18.050	17.094	16.579	17.760
14H00	17.849	18.077	18.265	18.700	17.703	16.076	17.365
15H00	18.560	17.935	17.945	18.415	17.432	16.353	17.817
16H00	17.883	18.017	18.106	17.974	17.898	16.245	17.648
17H00	18.157	18.207	18.940	18.917	18.751	17.110	17.740
18H00	19.265	19.601	19.513	20.118	19.313	17.834	18.480
19H00	21.194	21.418	20.701	21.267	20.908	19.899	19.503
20H00	22.035	22.554	21.734	21.832	21.642	20.290	20.155
21H00	22.006	22.134	21.341	22.203	21.547	20.602	20.150
22H00	20.758	20.866	20.087	20.592	20.564	20.261	19.442
23H00	18.443	18.493	17.793	18.312	18.502	18.566	16.941

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 23 se indican los valores promedios de la THDV para transformadores sin cocinas de inducción en la fase B, los mismos que serán analizados mediante las 3 pruebas estadísticas (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) y lograr determinar si los datos cumplen con una distribución normal.

Tabla 24*Valores característicos obtenidos para el THDI FASE B*

DÍAS	CHI-CUADRADA	KOLMOGOROV-SMIRNOV	ANDERSON-DARLING
LUNES	5.1667 V-P=0.2706	0.1173 V-P=0.8959	0.4399 V-P= >=0.10
MARTES	5.1667 V-P=0.2706	0.1400 V-P=0.7353	0.4745 V-P= >=0.10
MIÉRCOLES	8.0833 V-P= 0.0886	0.0993 V-P=0.9718	0.2873 V-P= >=0.10
JUEVES	6.3333 V-P= 0.1756	0.1401 V-P=0.7338	0.3587 V-P= >=0.10
VIERNES	6.333 V-P= 0.1756	0.1070 V-P=0.9462	0.3587 V-P= >=0.10
SÁBADO	4.0 V-P= 0.4060	0.1505 V-P=0.6485	0.6385 V-P= >=0.10
DOMINGO	8.6667 V-P= 0.0699	0.1859 V-P=0.3815	0.6964 V-P= >=0.10

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 24 se indican los valores de P donde los mismos son mayores a 0.05, de la cual se deduce que no se puede rechazar dicha base de datos porque si provienen de una distribución normal con un 95% de confianza. Para una mayor comprensión e interpretación de este análisis realizado para dichas pruebas aplicadas, en el Anexo 16 y 17 se especifica el cálculo realizado para el día mínimo y máximo de la THDI para la fase B.

3.3 Caracterización diaria de la THDI y THDV para transformadores con y sin cocinas de inducción, fase A y B

Después de comprobar que todos los datos si provienen de una distribución normal y cumplen con las 3 pruebas estadísticas analizadas; se procedió a graficar las curvas para cada fase y día, analizando dos criterios el límite superior e inferior y el promedio de la THDI Y THDV donde se puede apreciar que la mayoría de los datos se encuentran dentro de la Regulación CONELEC 004/01, tanto para la fase A y B, a continuación se presenta las gráficas de cada día de la semana, para los transformadores con cocinas y sin cocinas de inducción.

En las figuras de la 15 a la 21 se indica las curvas características de la THDV para la fase A, transformadores de todas las capacidades con cocinas de inducción, teniendo en cuenta que para el día lunes el valor más elevado (4.004%) y para el mismo día el más bajo (2.208%). Favorablemente estos valores de la THDV para la fase A se encuentran dentro del límite establecido por la Regulación CONELEC 004/01 (THDV 8%), pero a

futuro con un ingreso de un mayor porcentaje de cocinas de inducción van alterar los parámetros eléctricos de manera significativa exigiendo alternativas de control.

En las figuras de la 22 a la 28 se presentan las curvas de la THDV para la fase B, donde se puede identificar la THDV, tiene un valor máximo de 8.665%, el día domingo a las 20H00 y un mínimo de 6.615% el día miércoles a las 01H00, de estos valores se deduce que ningún día cumple con los límites aceptables por la Regulación CONELEC 004/01(8%).

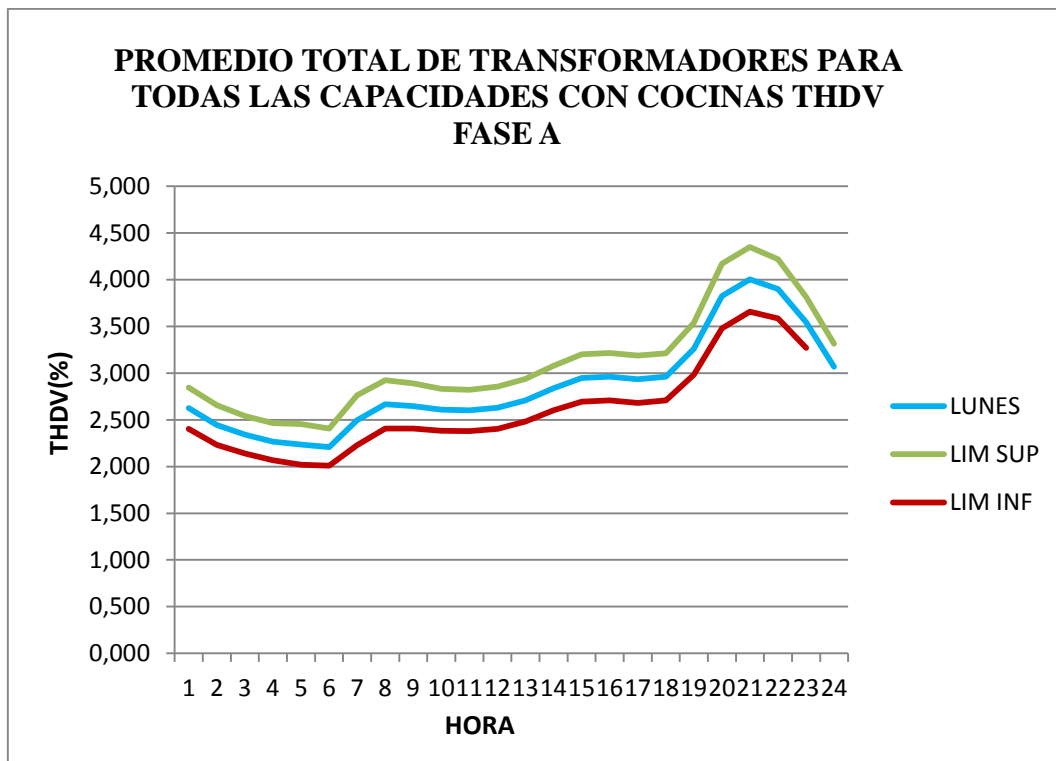


Figura 15 Curva de la THDV FASE A para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

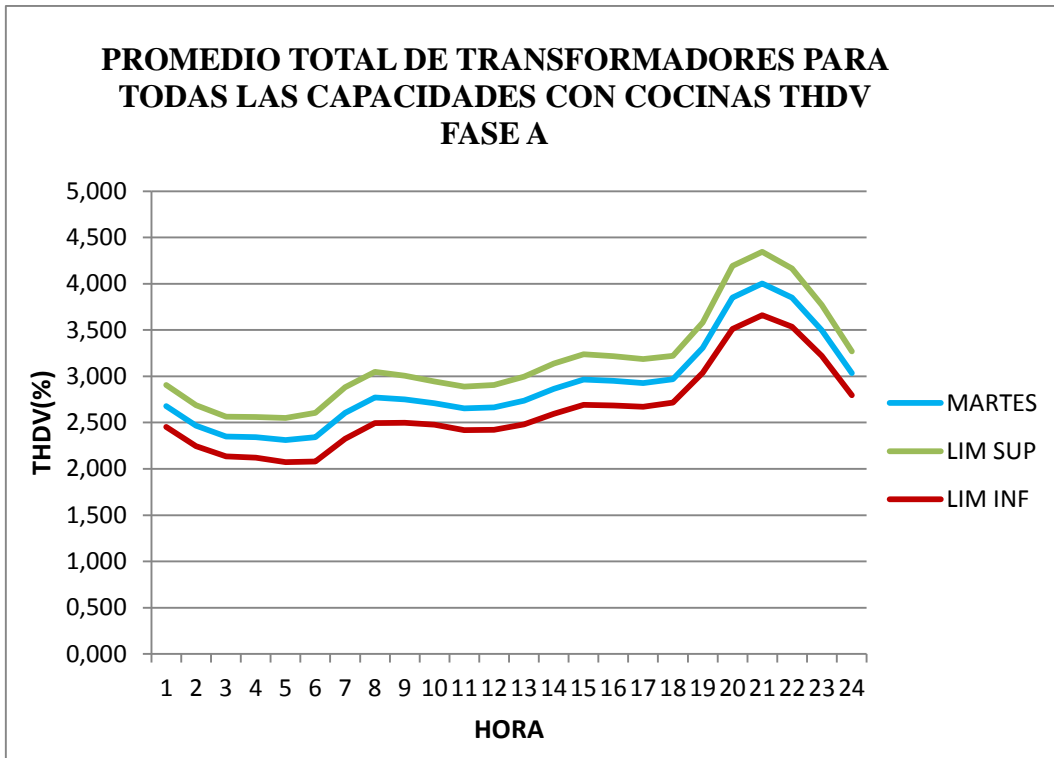


Figura 16 Curva de la THDV FASE A para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

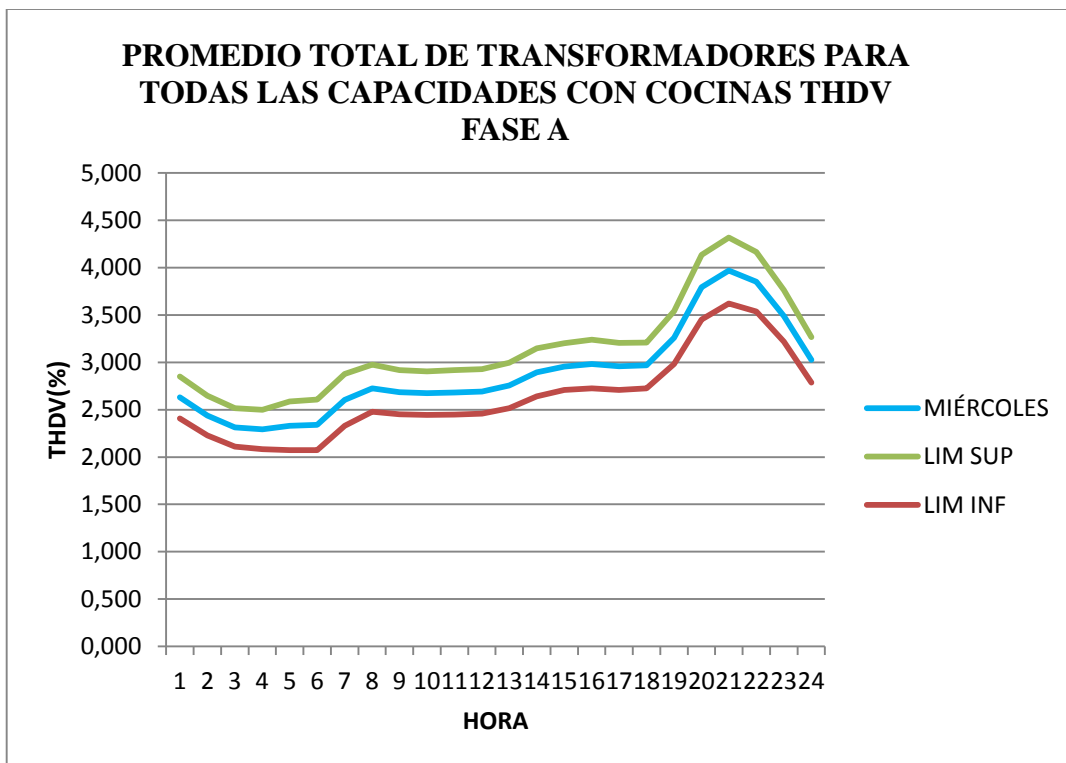


Figura 17 Curva de la THDV FASE A para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

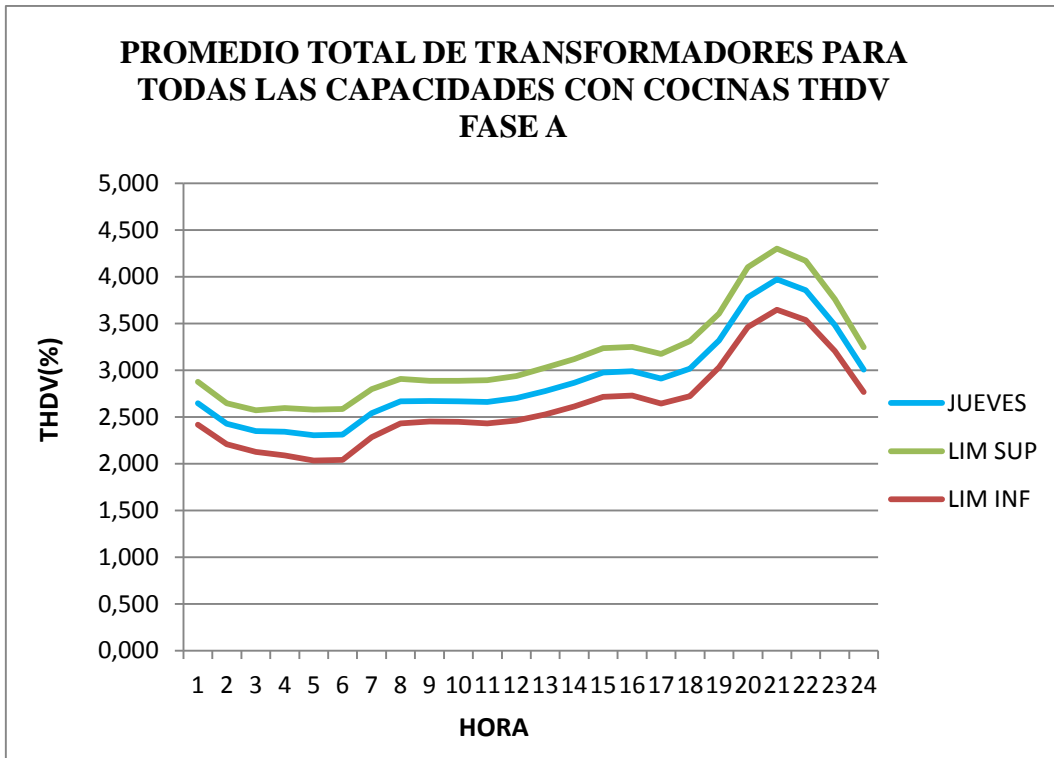


Figura 18 Curva de la THDV FASE A para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

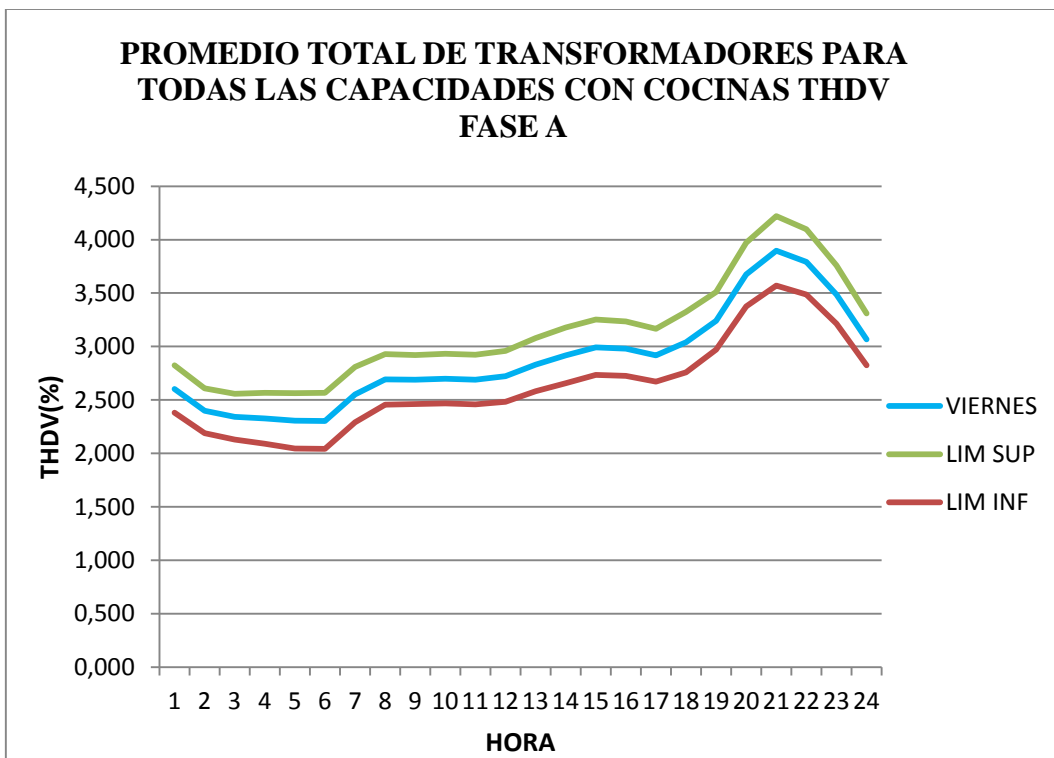


Figura 19 Curva de la THDV FASE A para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

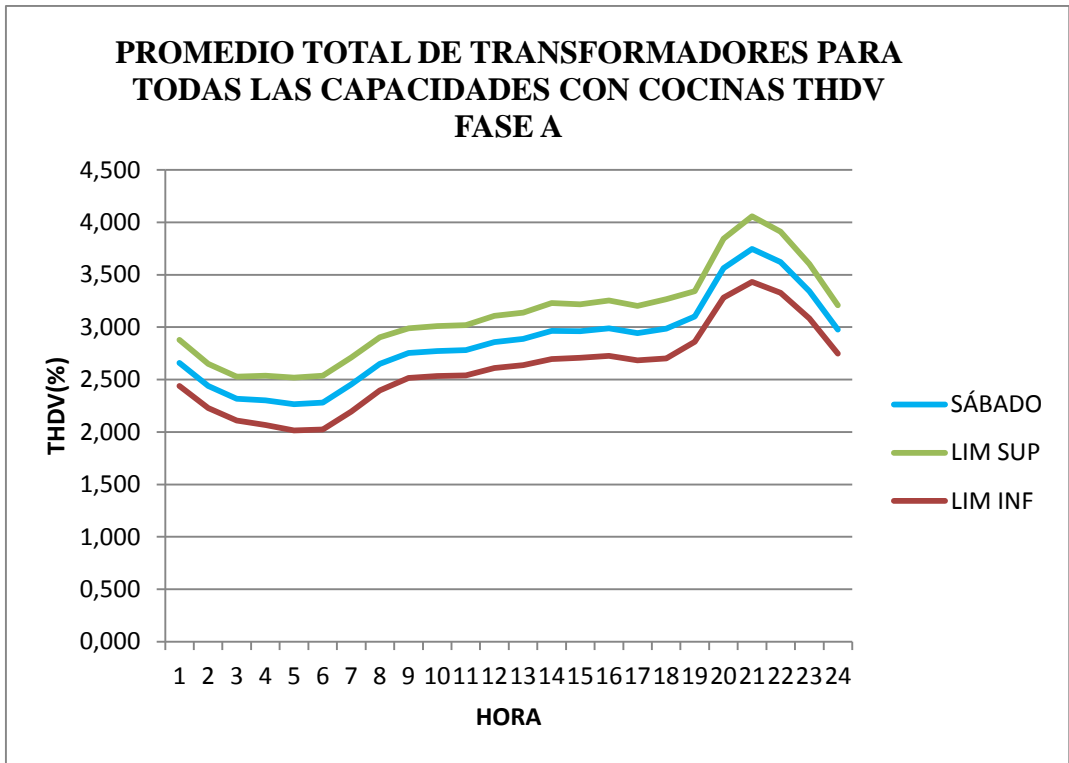


Figura 20 Curva de la THDV FASE A para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

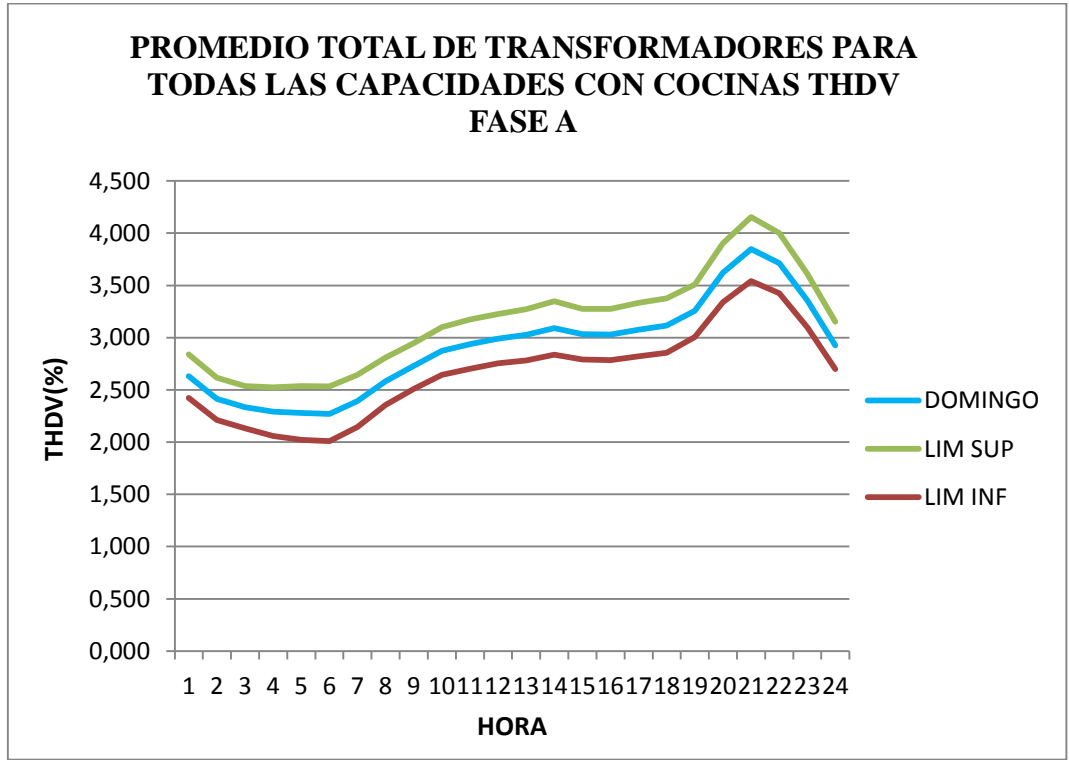


Figura 21 Curva de la THDV FASE A para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

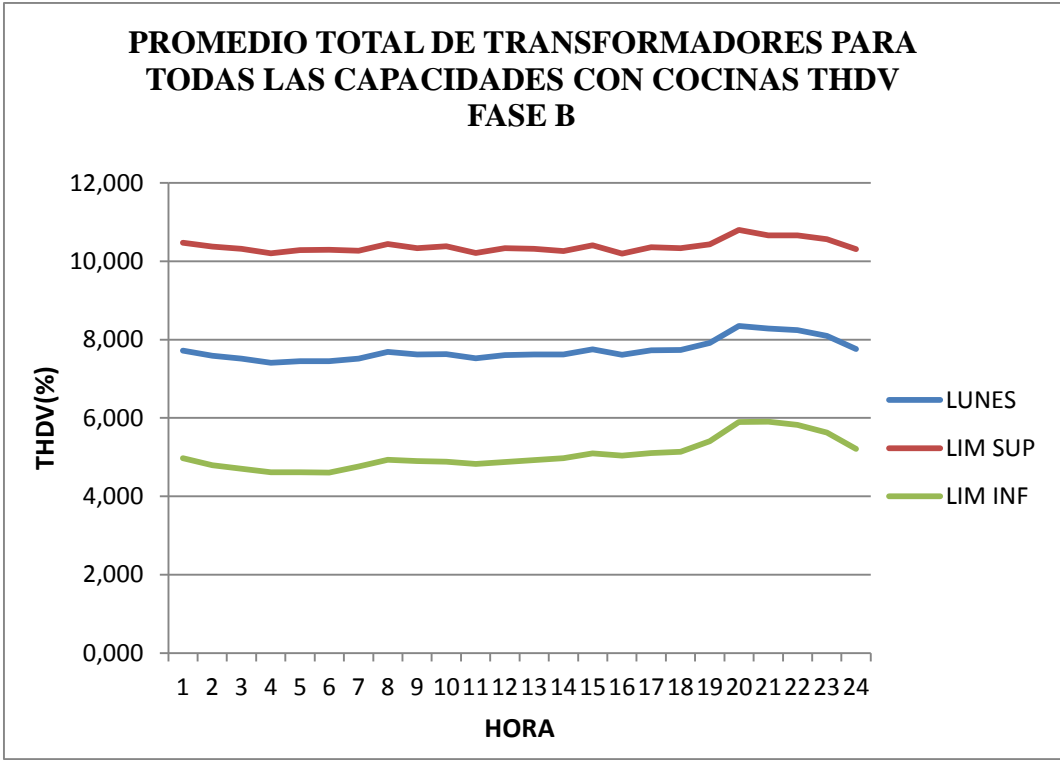


Figura 22 Curva de la THDV FASE B para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

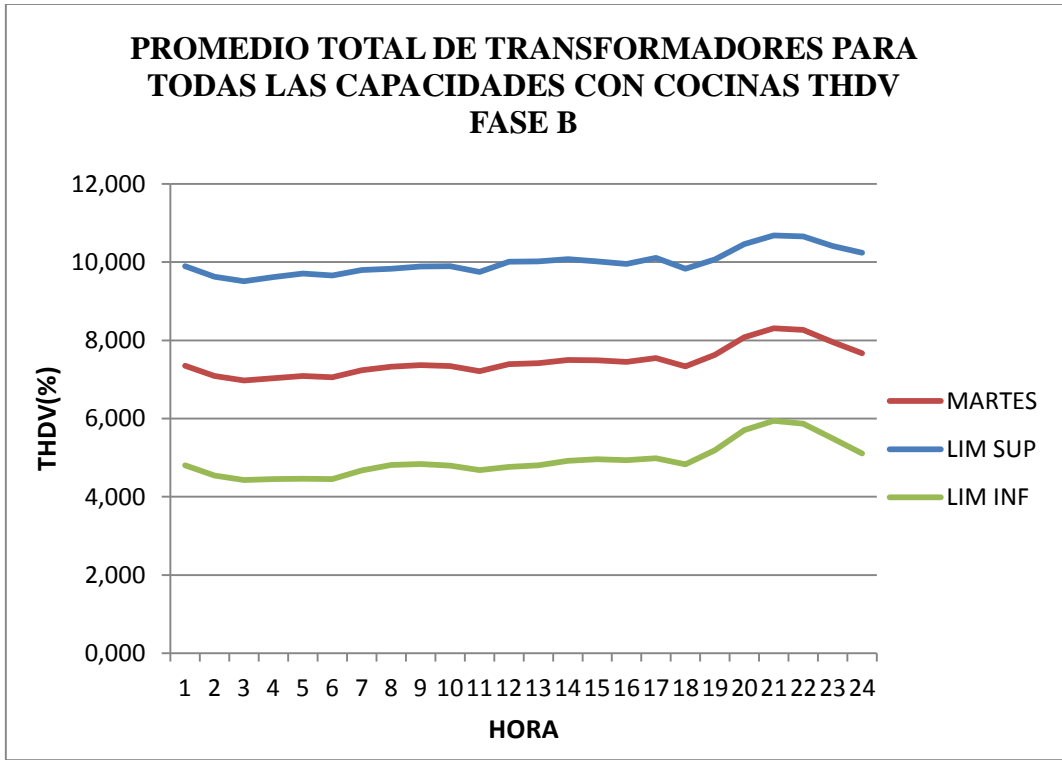


Figura 23 Curva de la THDV FASE B para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

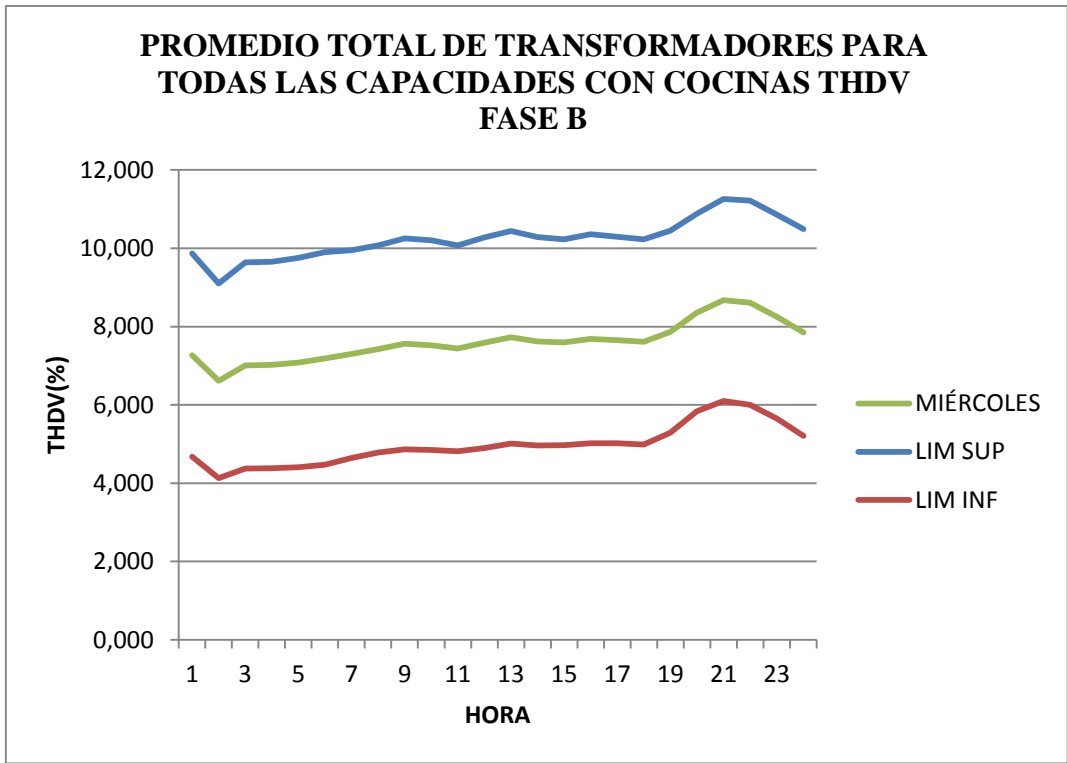


Figura 24 Curva de la THDV FASE B para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

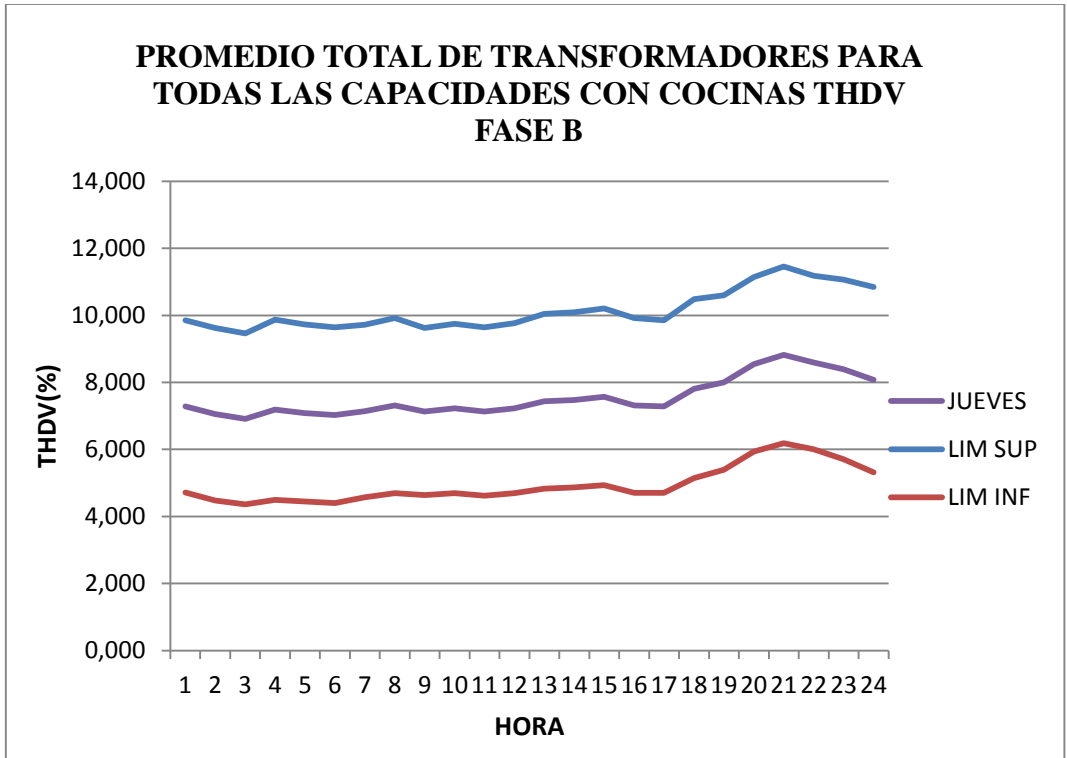


Figura 25 Curva de la THDV FASE B para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

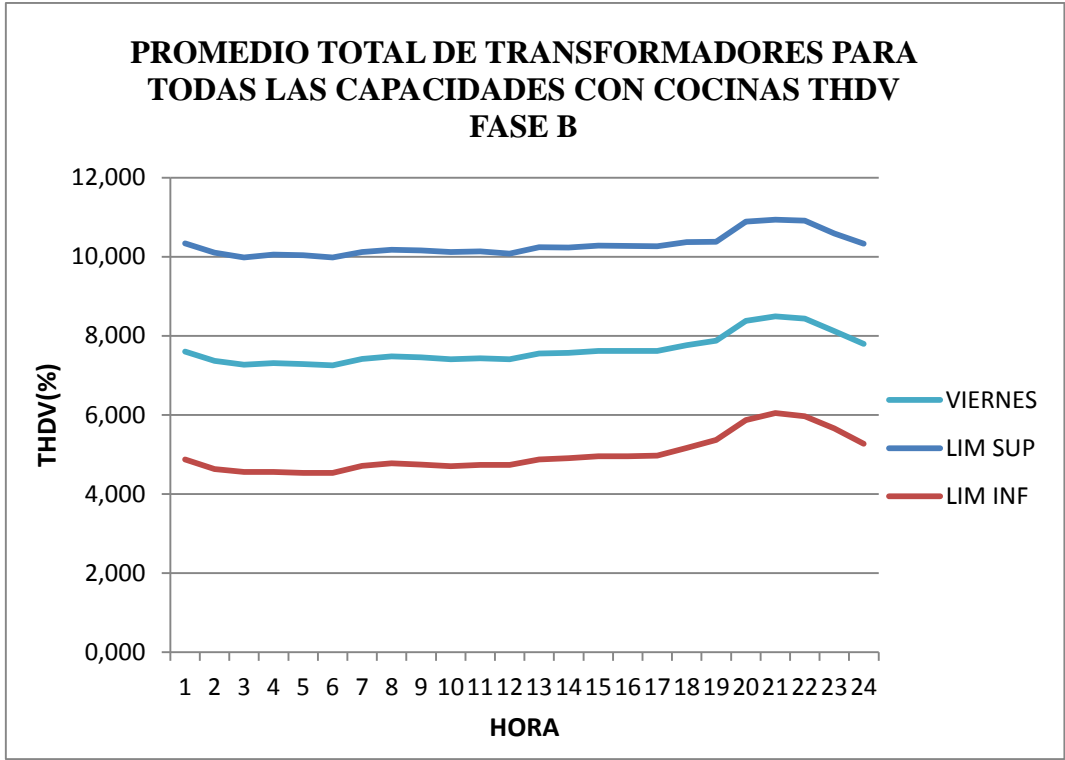


Figura 26 Curva de la THDV FASE B para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

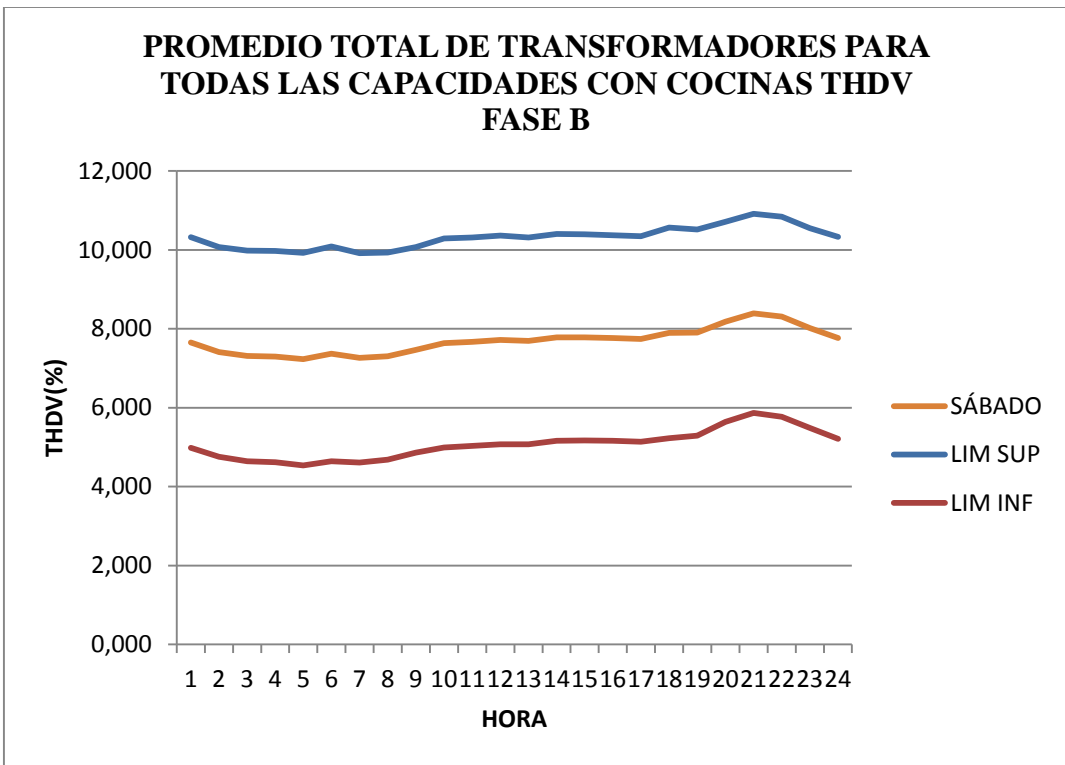


Figura 27 Curva de la THDV FASE B para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

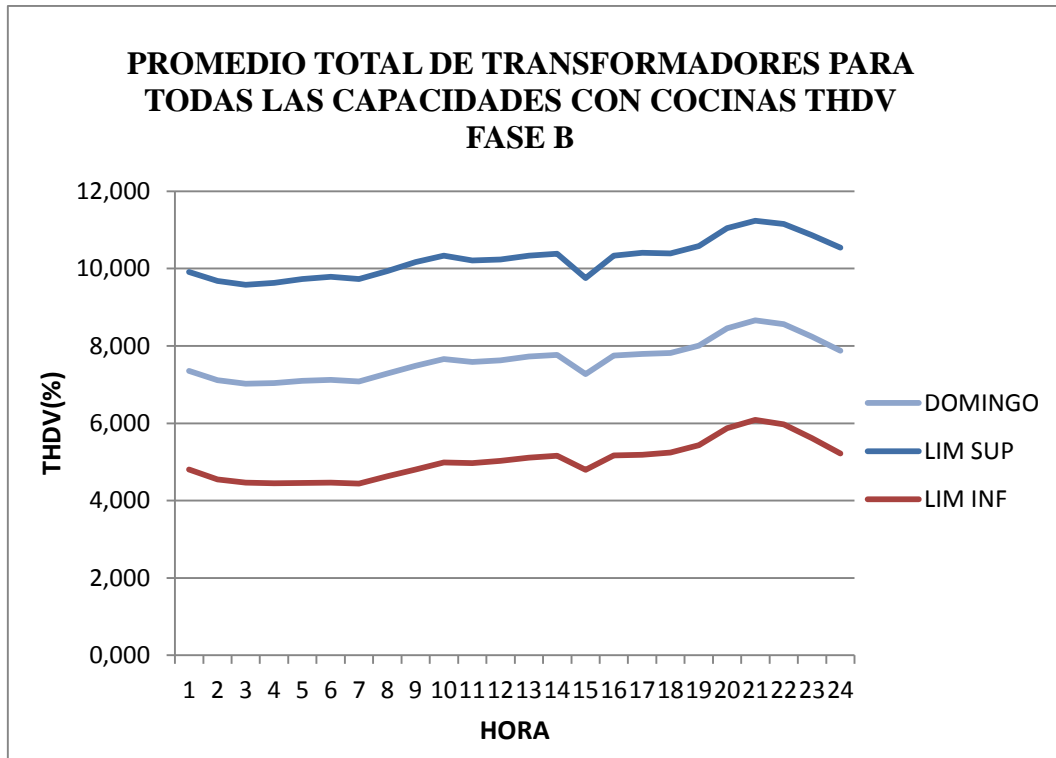


Figura 28 Curva de la THDV FASE B para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

En las figuras de la 29 a la 35 se indica las curvas características de la THDI para la fase A, de transformadores con cocinas de inducción, observándose que el día jueves presenta el valor más elevado de la THDI con un 21.632% a las 21H00 y el valor más bajo se presenta a las 02H00 am con un valor de 12.225%.

En las figuras de la 36 a la 42 se indica las curvas características diarias de todos los transformadores que poseen cocinas de inducción para la fase B, obteniéndose un 25.85% de la THDI para el día miércoles a las 20H00 y un mínimo de 15.253% para el día lunes a las 3H00. Debido a la no existencia de una norma ecuatoriana que supervise el porcentaje de la THDI inyectados a la red para cada uno de los equipos conectados, no se puede especificar el porcentaje límite. De igual manera la Empresa Eléctrica Regional de Sur S.A., no analiza datos de armónicos de corriente y los reportes emitidos solo son de armónicos de voltaje comparados con la norma ecuatoriana mediante la Regulación CONELEC 004/01.

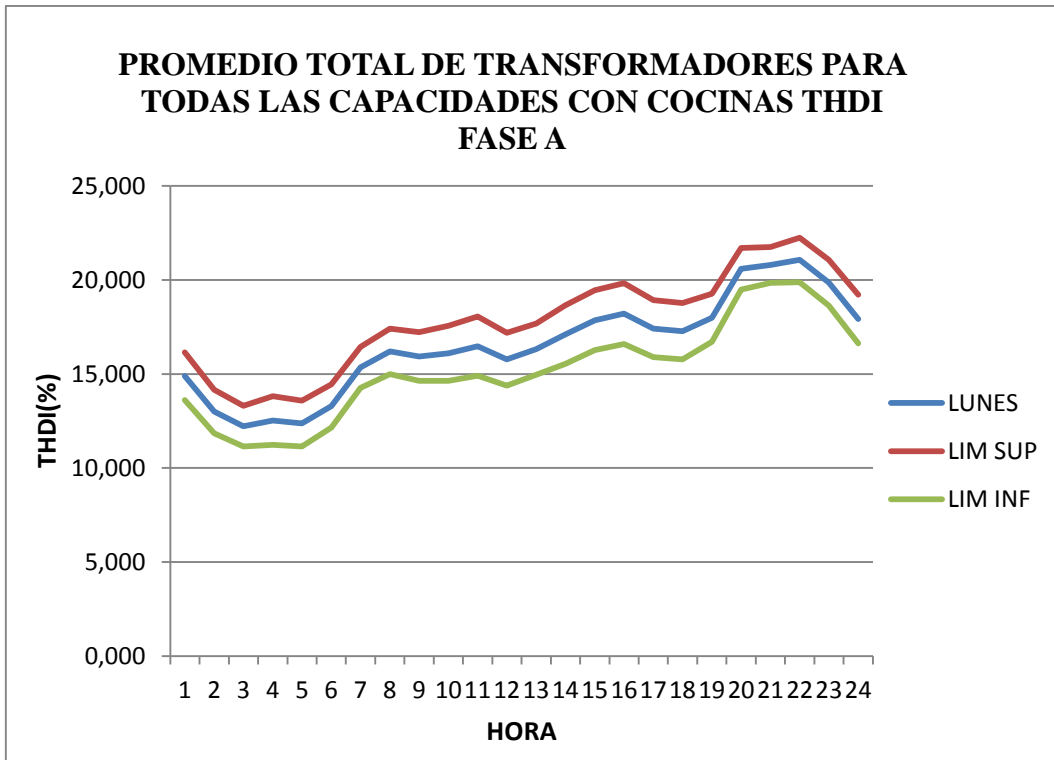


Figura 29 Curva de la THDI FASE A para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

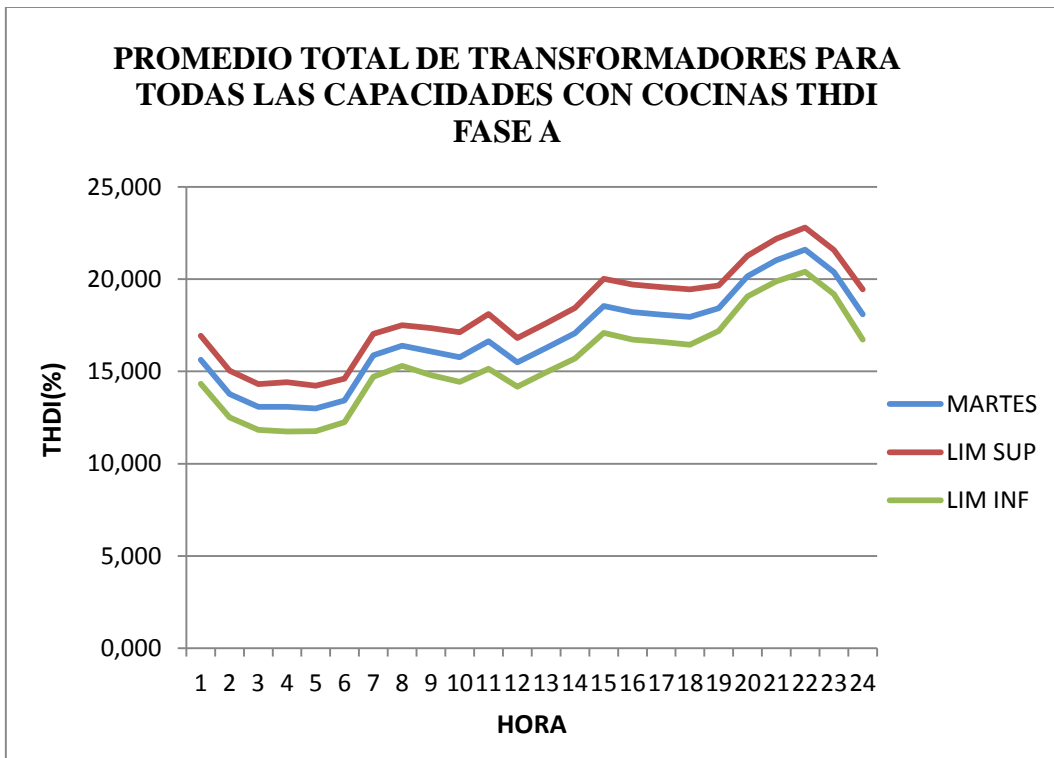


Figura 30 Curva de la THDI FASE A para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

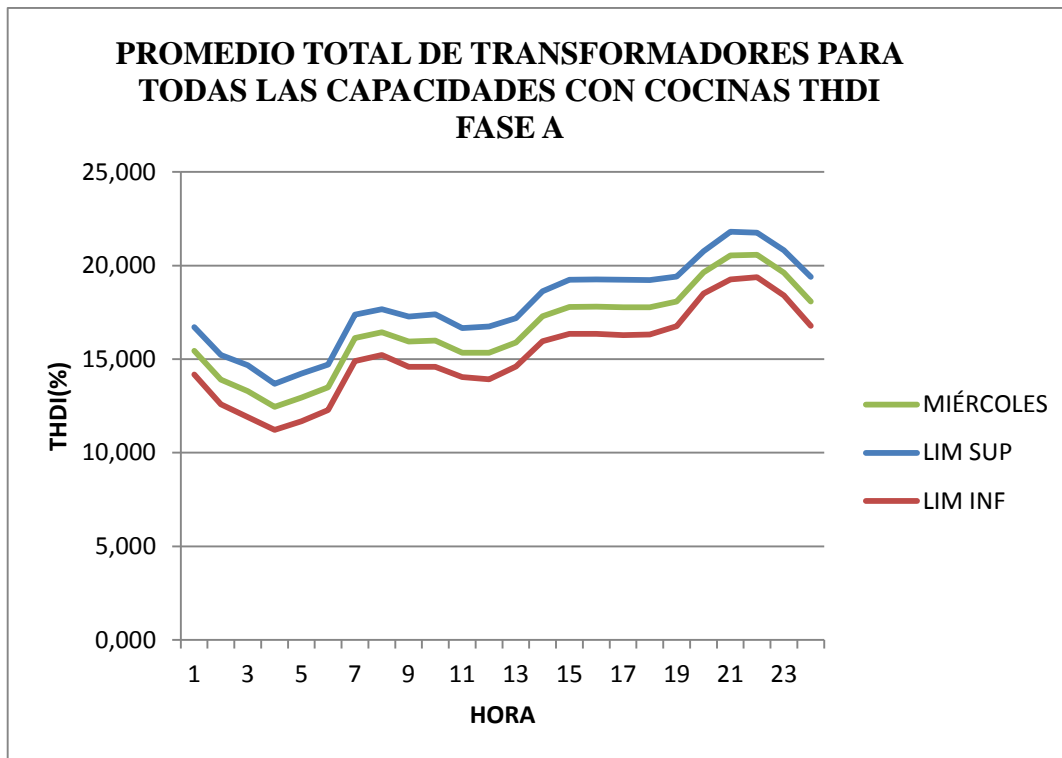


Figura 31 Curva de la THDI FASE A para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

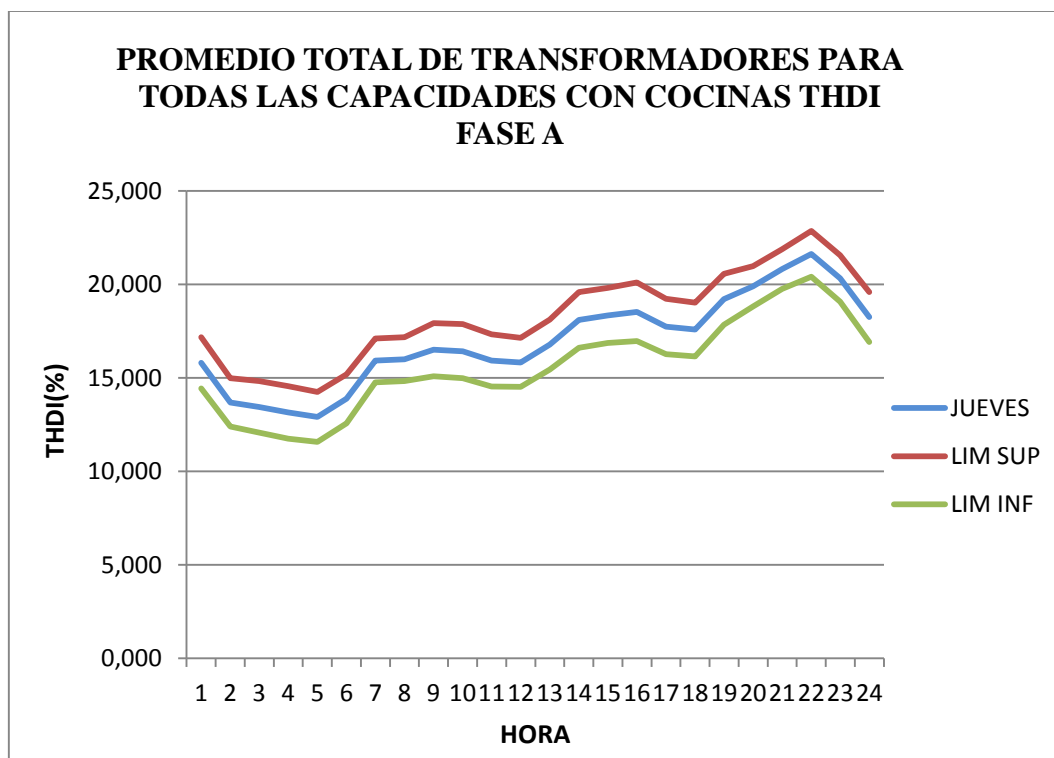


Figura 32 Curva de la THDI FASE A para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

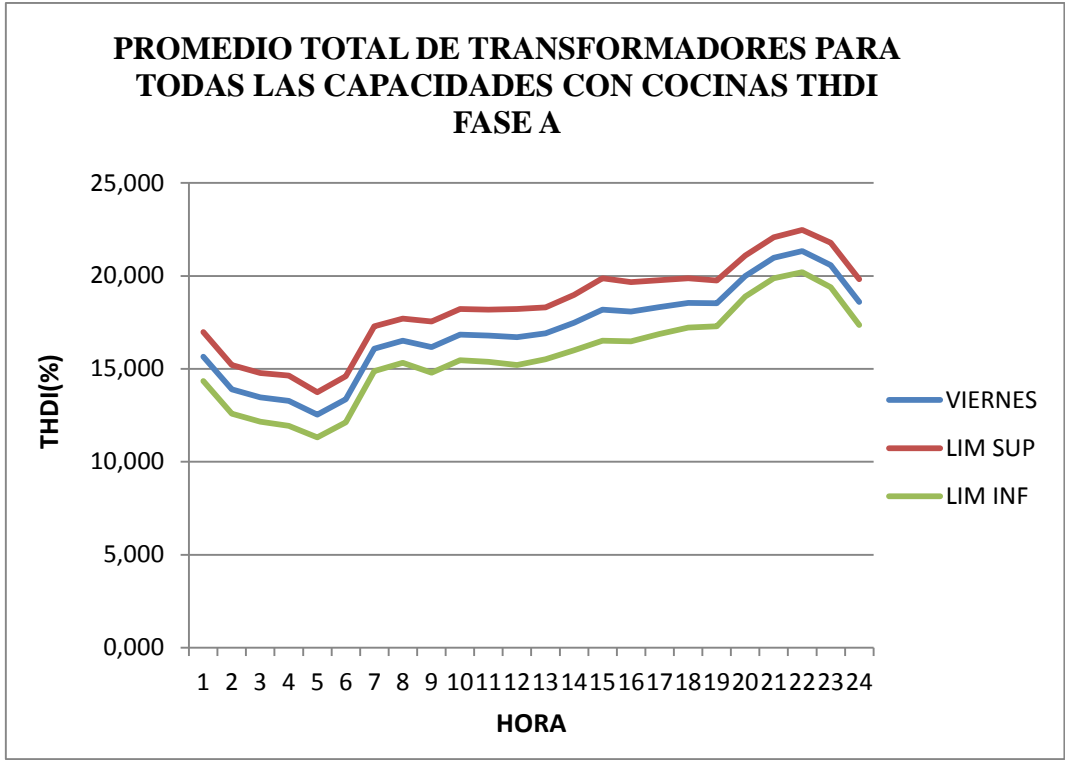


Figura 33 Curva de la THDI FASE A para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

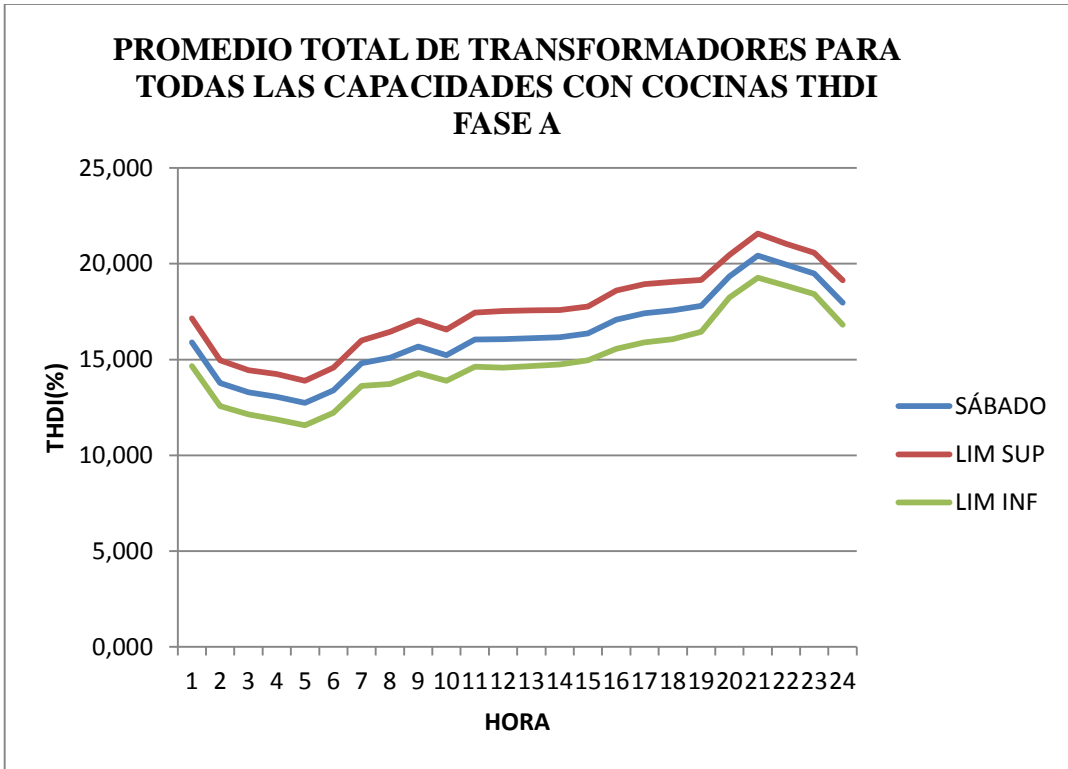


Figura 34 Curva de la THDI FASE A para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

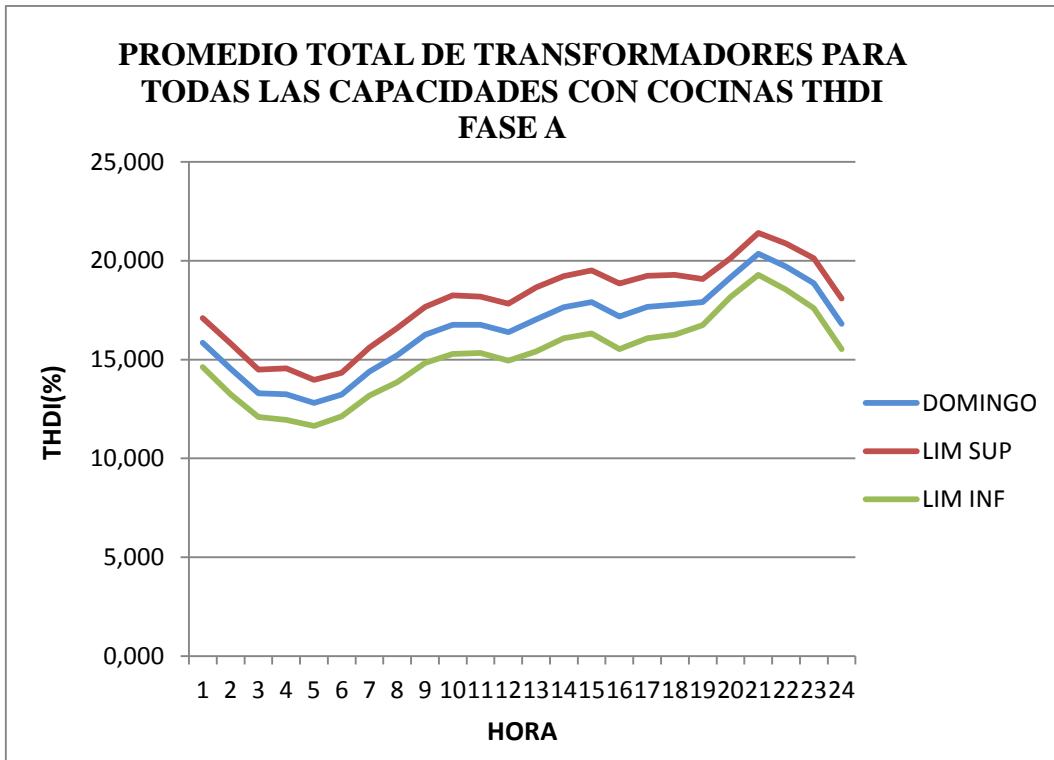


Figura 35 Curva de la THDI FASE A para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

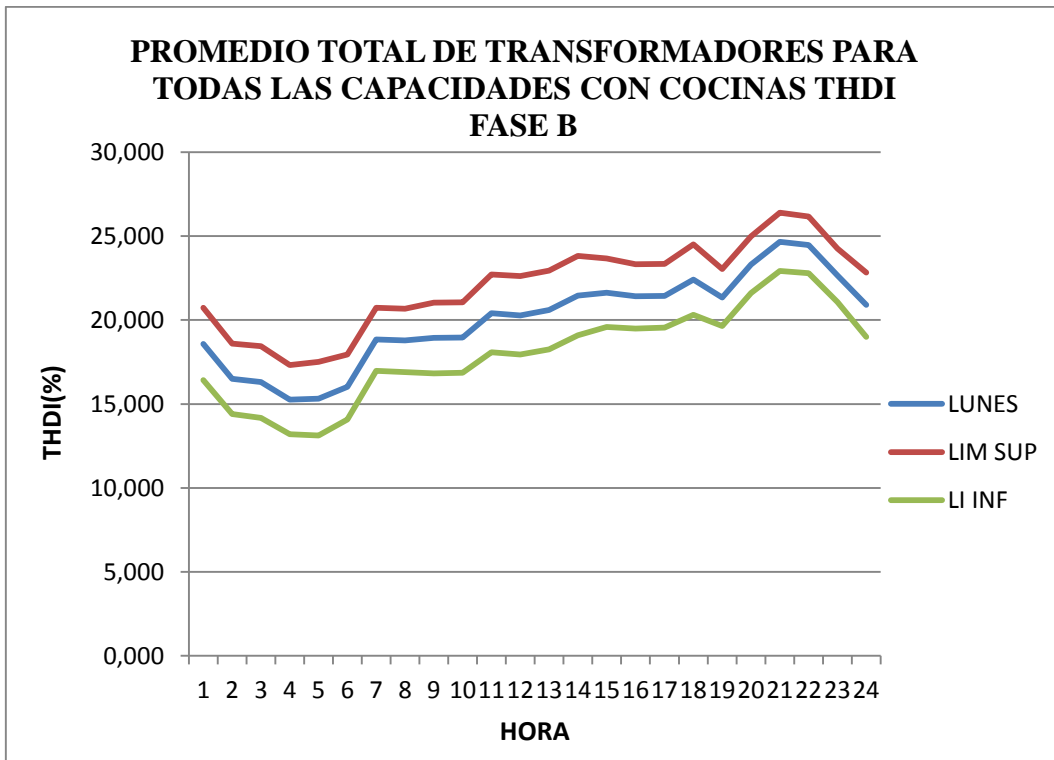


Figura 36 Curva de la THDI FASE B para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

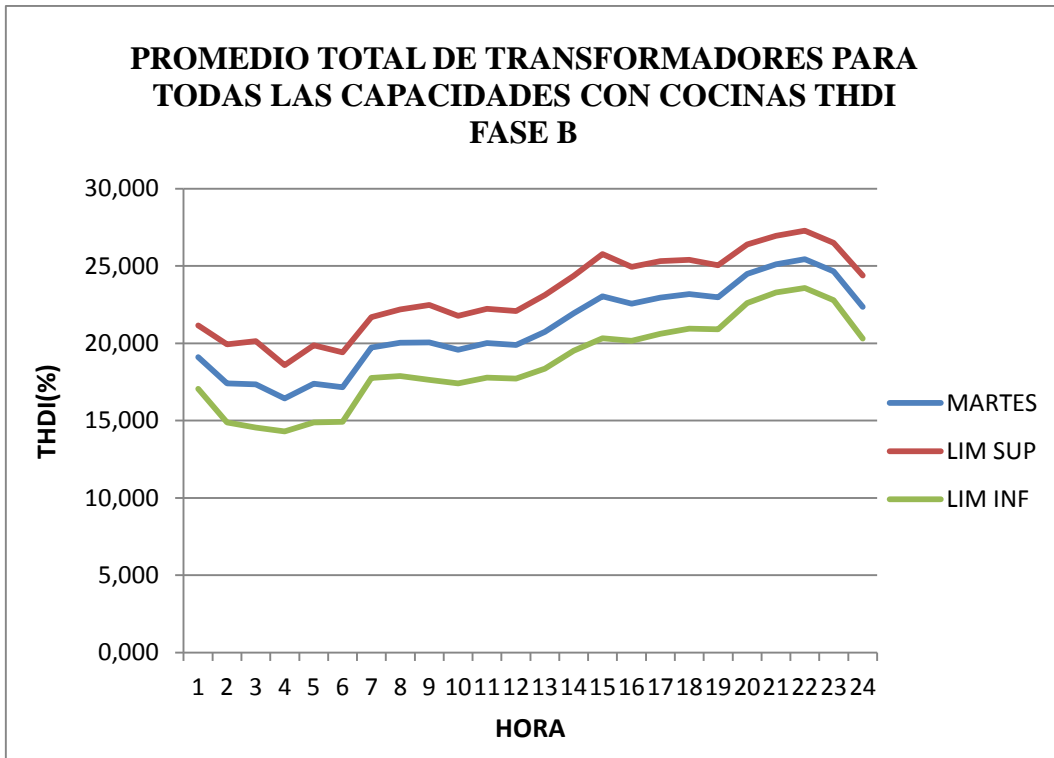


Figura 37 Curva de la THDI FASE B para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

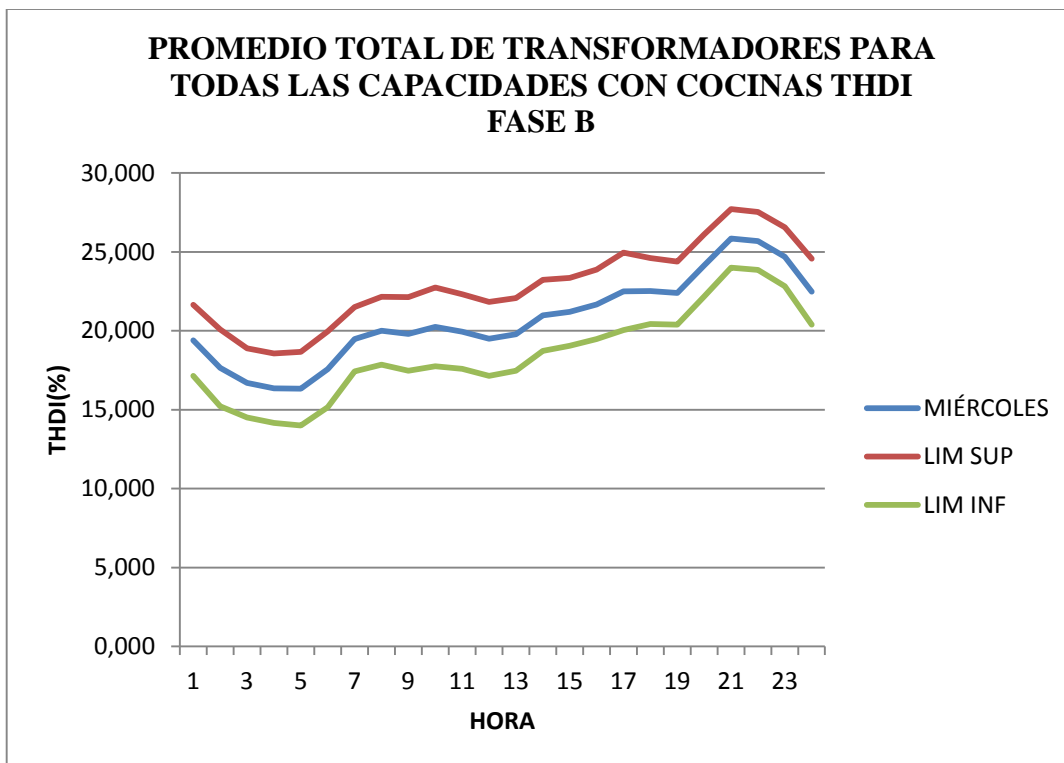


Figura 38 Curva de la THDI FASE B para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

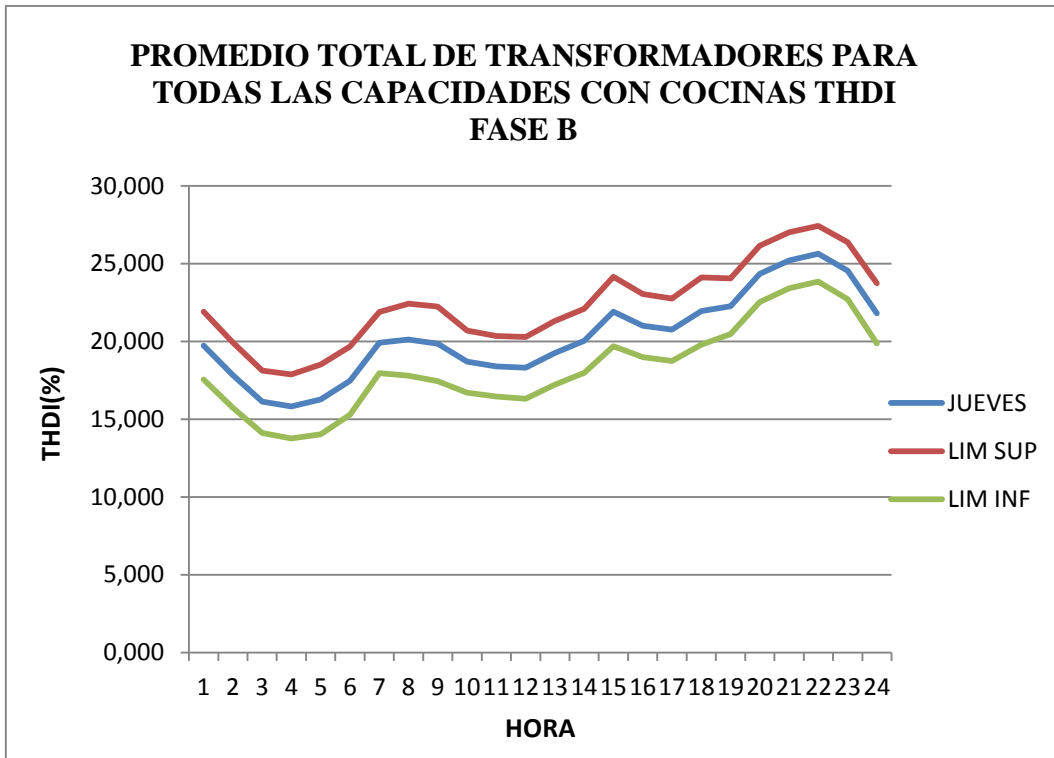


Figura 39 Curva de la THDI FASE B para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

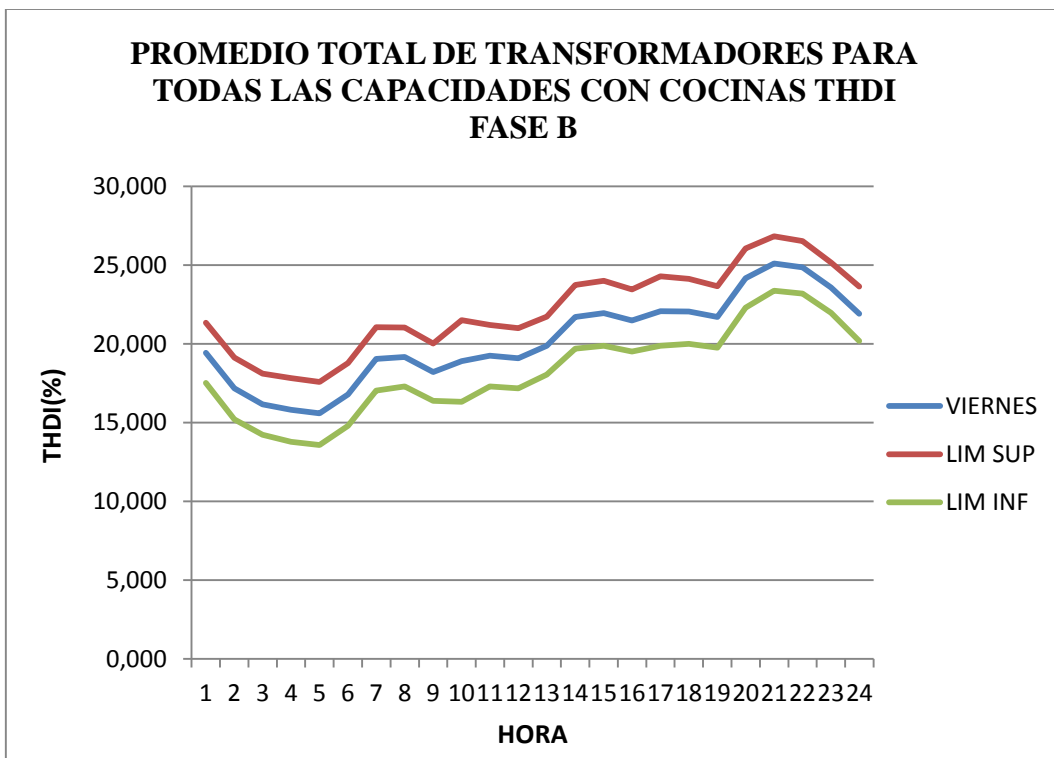


Figura 40 Curva de la THDI FASE B para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

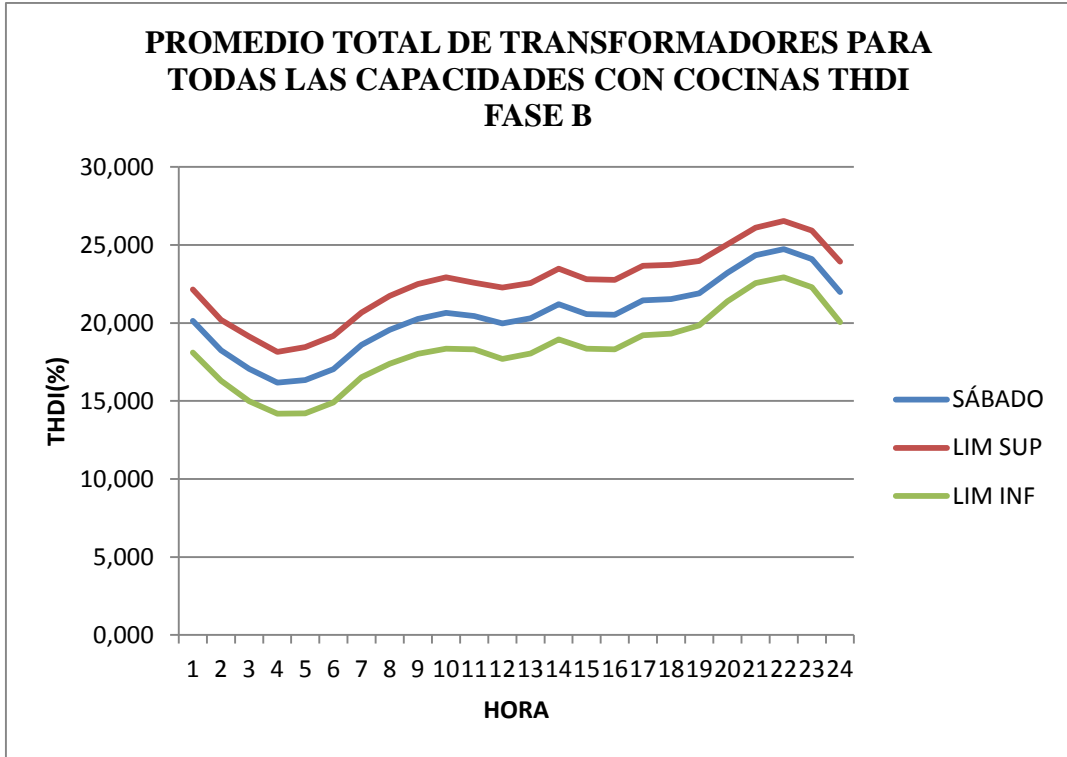


Figura 41 Curva de la THDI FASE B para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

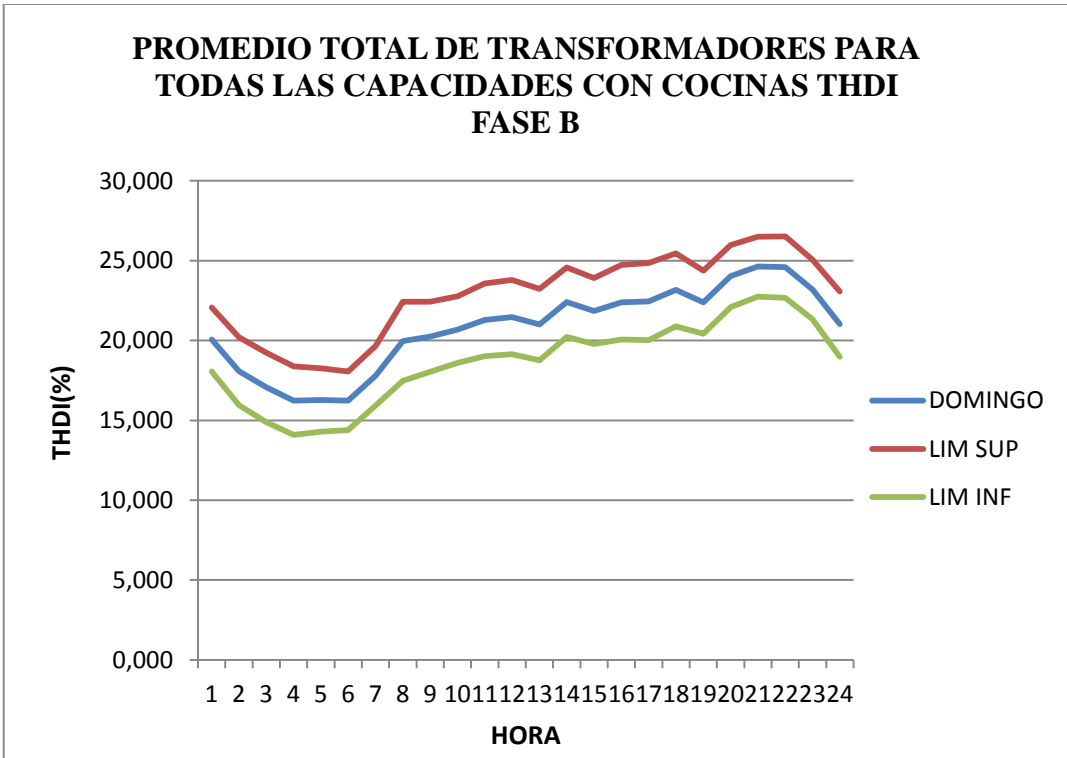


Figura 42 Curva de la THDI FASE B para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

En las figuras de la 43 a la 49 se indica las curvas características del promedio total de la THDV para transformadores sin cocinas de inducción fase A, donde el día jueves posee el máximo de la THDV de 4.313% y el mínimo el día miércoles con la THDV de 2.646%, encontrándose dichos valores dentro de los límites permitidos por la Regulación Nacional CONELEC 004/01 (THDV Máximo del 8%).

En las figuras de la 50 a la 56 se presenta las curvas características de la THDV durante los 7 días de la semana para la fase B. En cuanto a la fase B consta del 6.125% la THDV para el día jueves a las 19H00 y un mínimo de 4.432 para el día sábado a las 2H00, de acuerdo a la Regulación CONELEC 004/01 especifica un 8% de THDV, donde se determina que los valores se encuentran dentro de la Regulación CONELEC 004/01. Debido que tenemos una THDV de 6.125% se debe realizar un análisis más minuciosamente a estos datos para determinar la instalación de un filtro que minimice el porcentaje del armónico existente, debido al incremento de la tecnología con cargas no lineales con el tiempo esto nos van a ir afectando más y disminuyendo la vida útil de los transformadores.

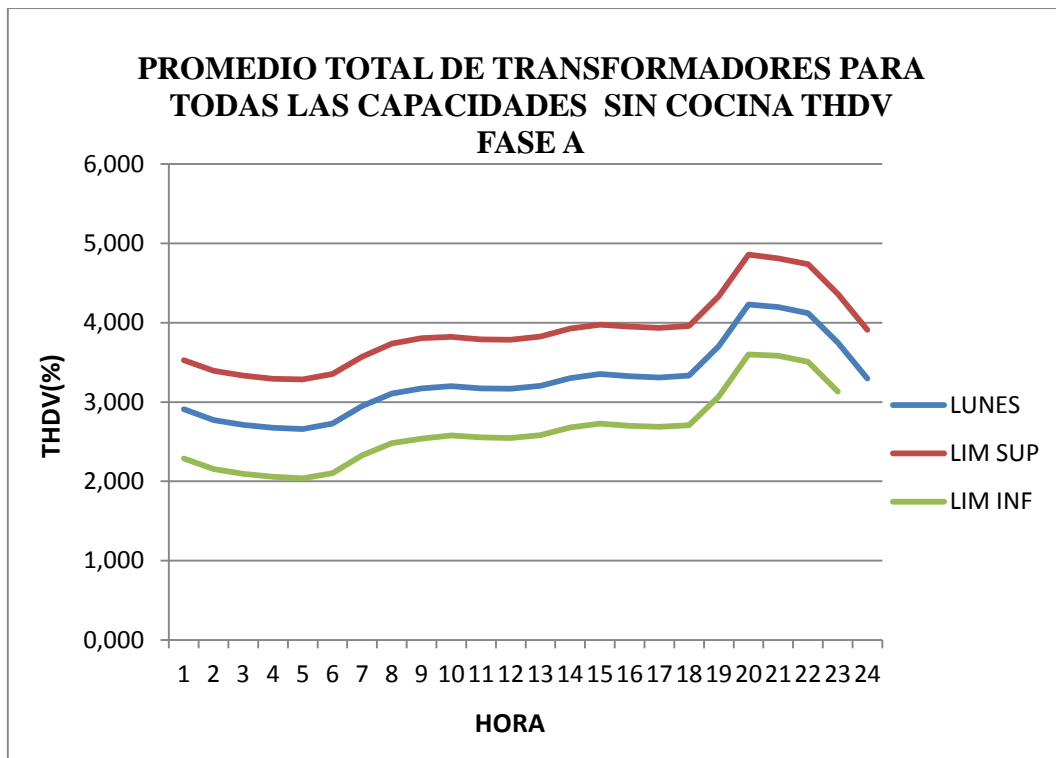


Figura 43 Curva de la THDV FASE A para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

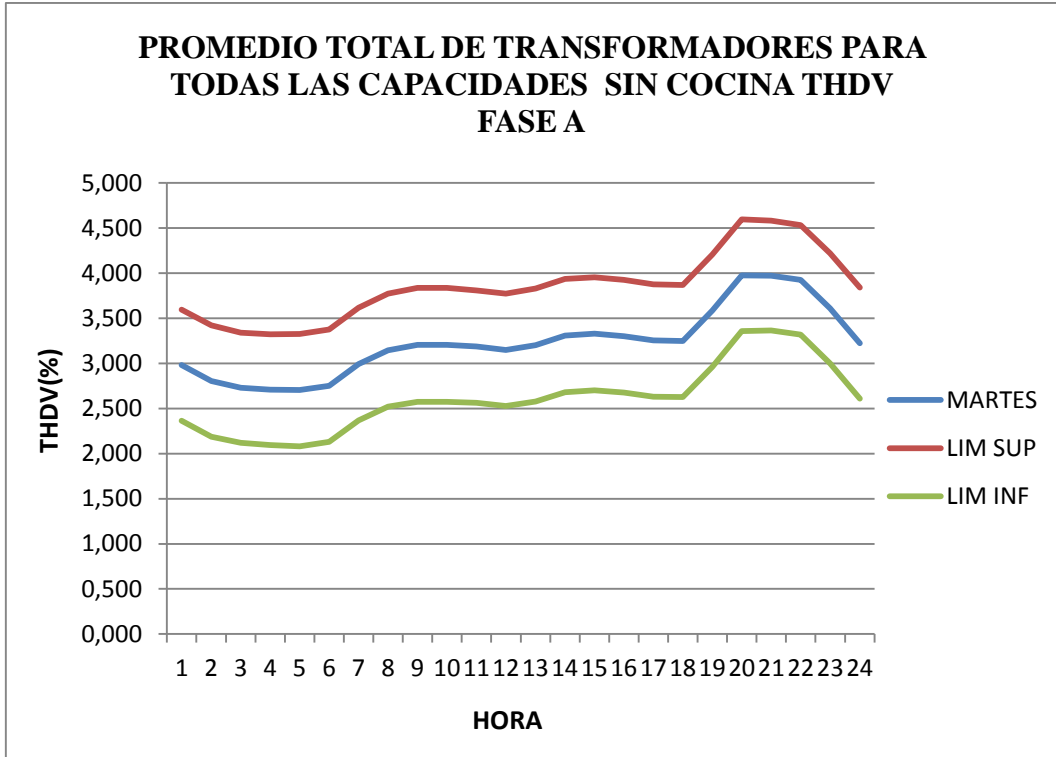


Figura 44 Curva de la THDV FASE A para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

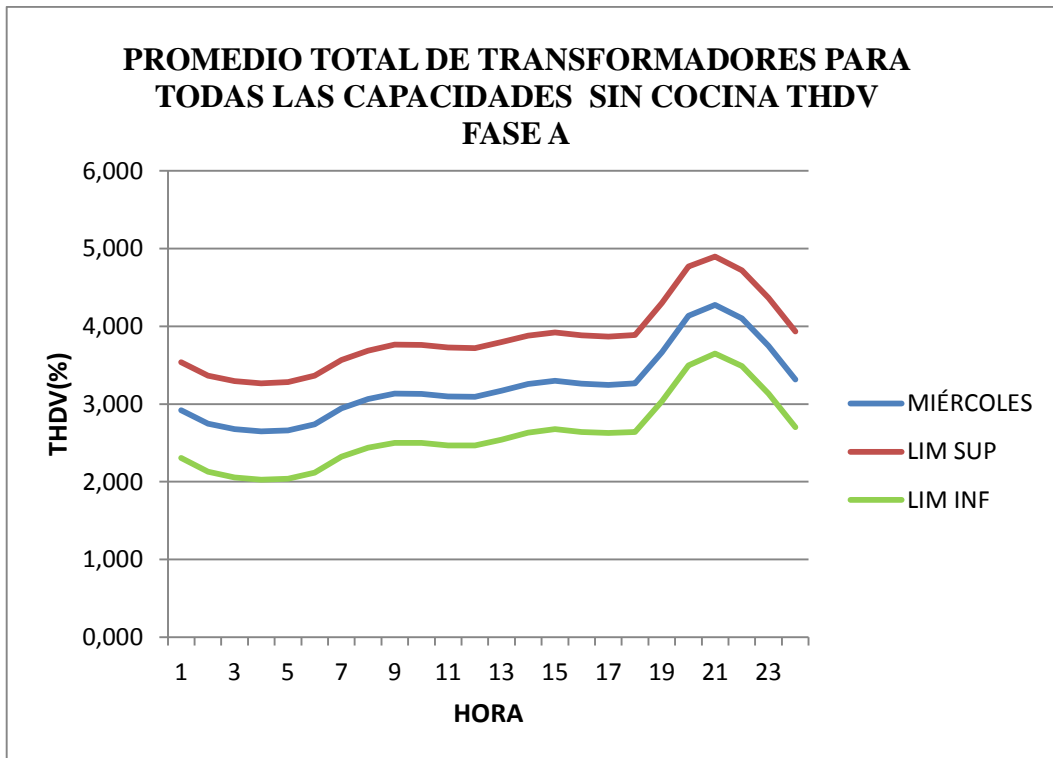


Figura 45 Curva de la THDV FASE A para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

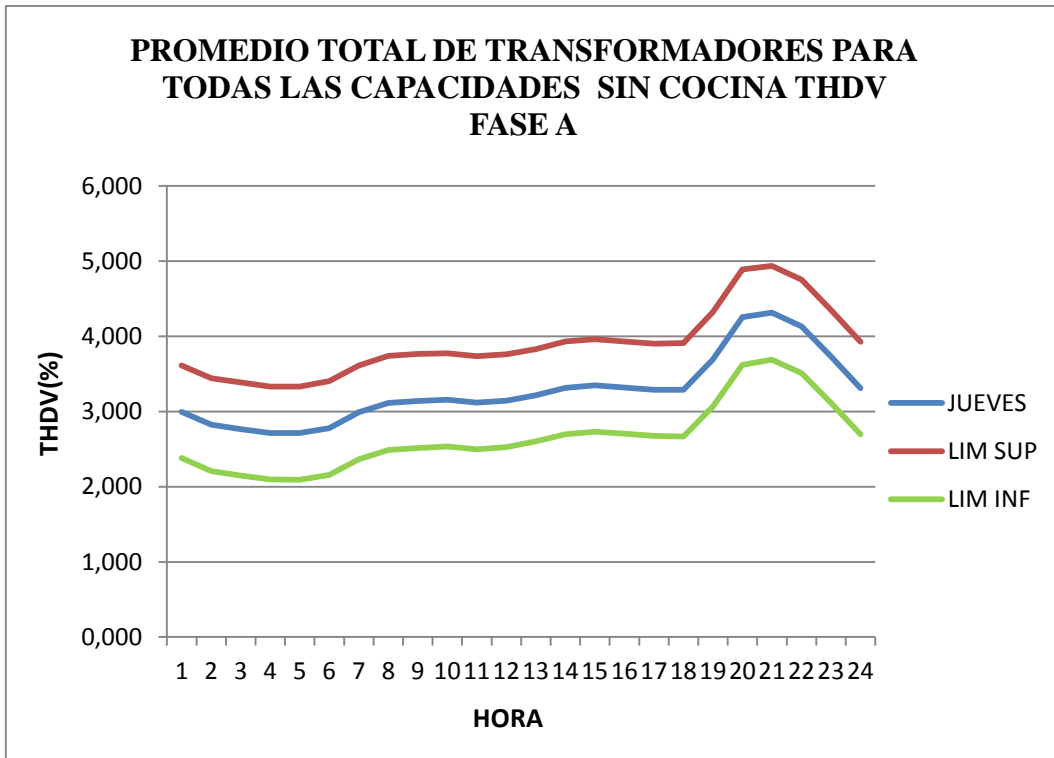


Figura 46 Curva de la THDV FASE A para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

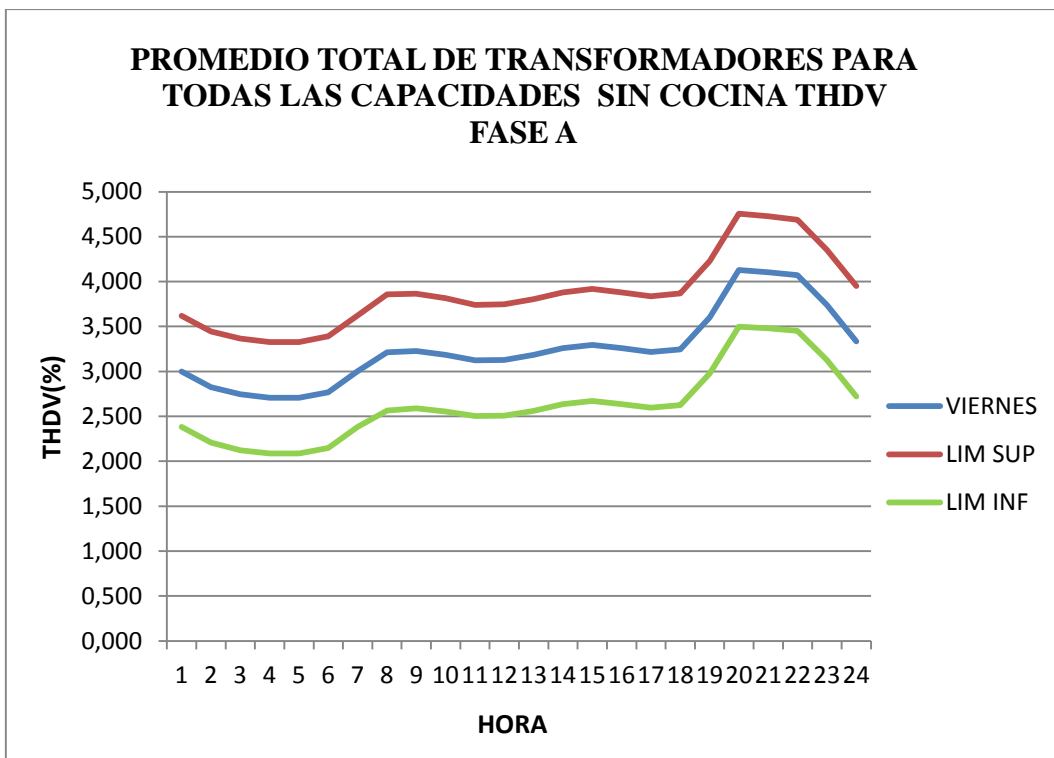


Figura 47 Curva de la THDV FASE A para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

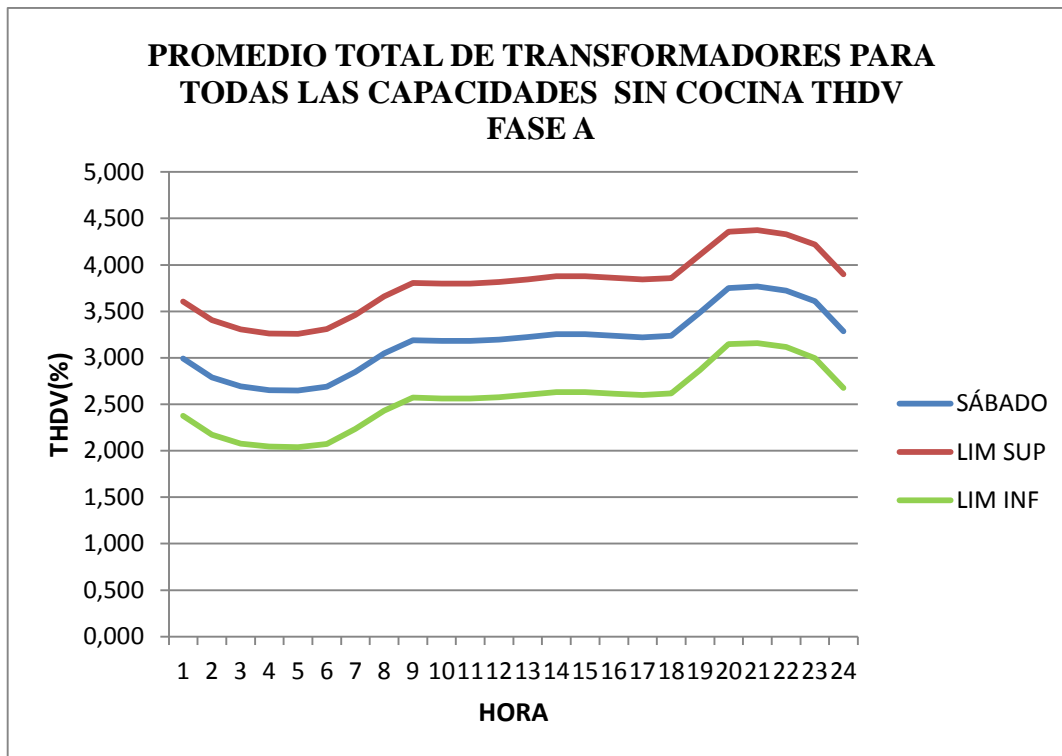


Figura 48 Curva de la THDV FASE A para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

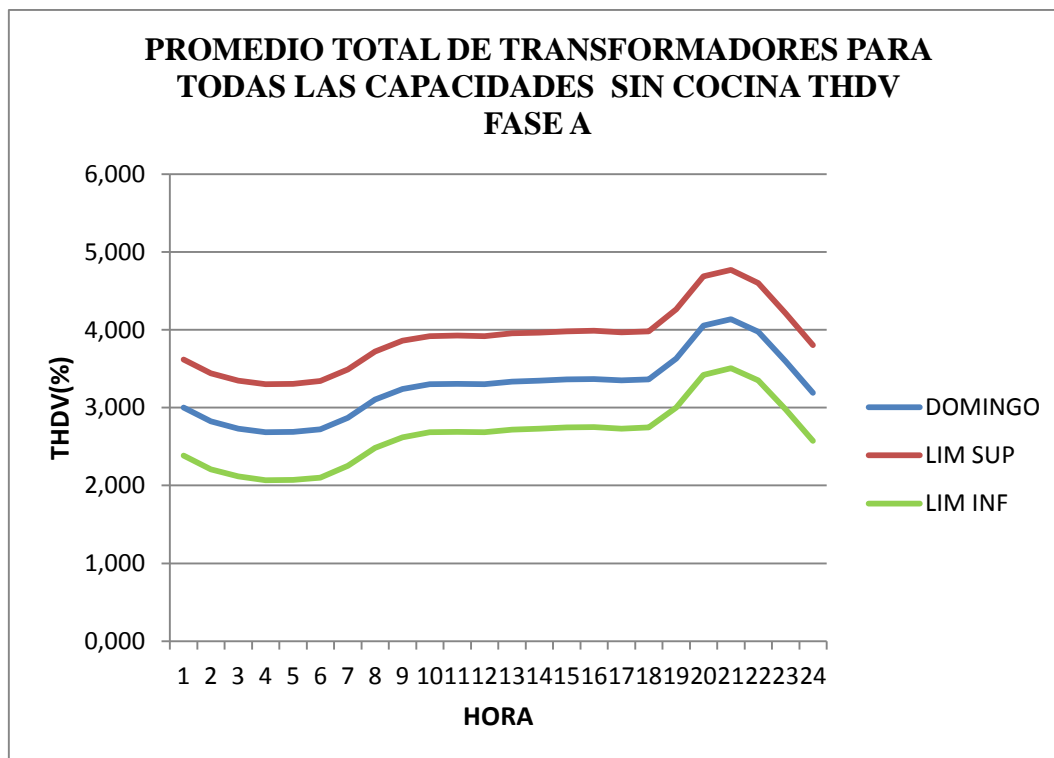


Figura 49 Curva de la THDV FASE A para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

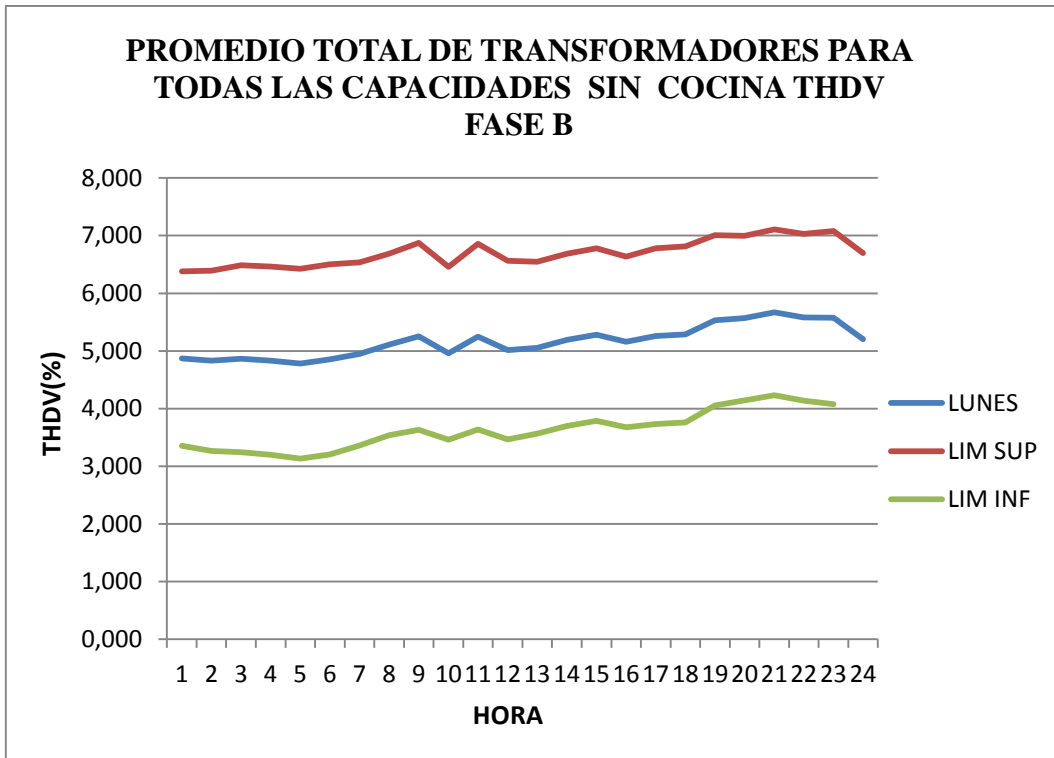


Figura 50 Curva de la THDV FASE B para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

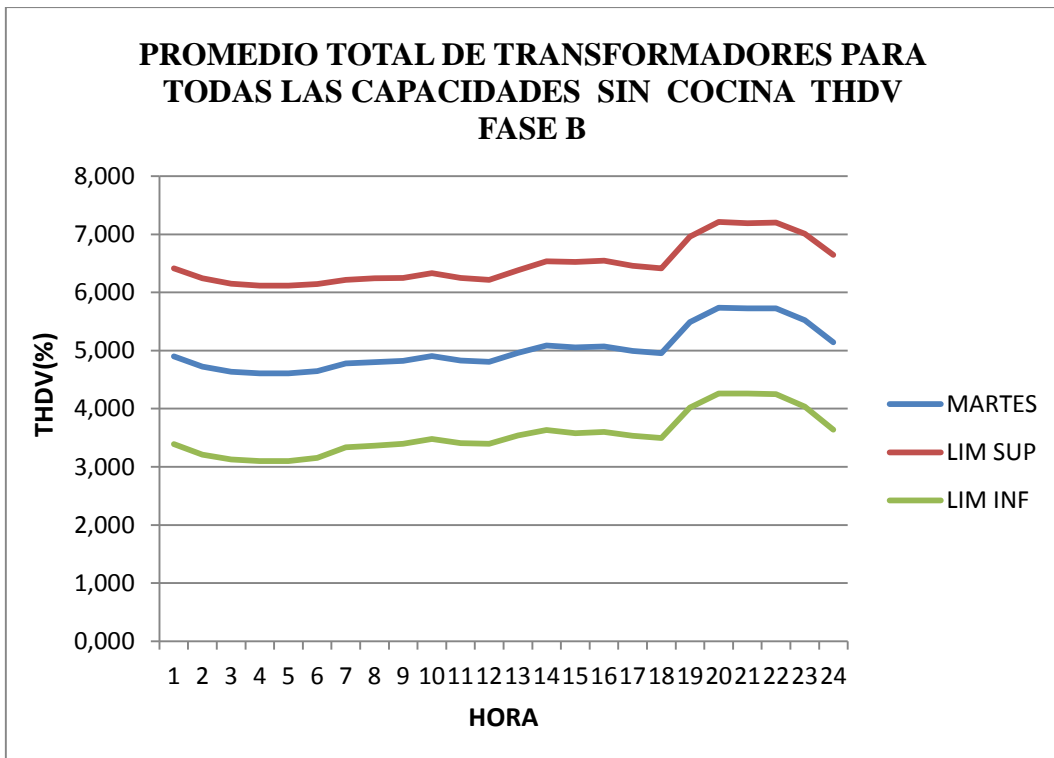


Figura 51 Curva de la THDV FASE B para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

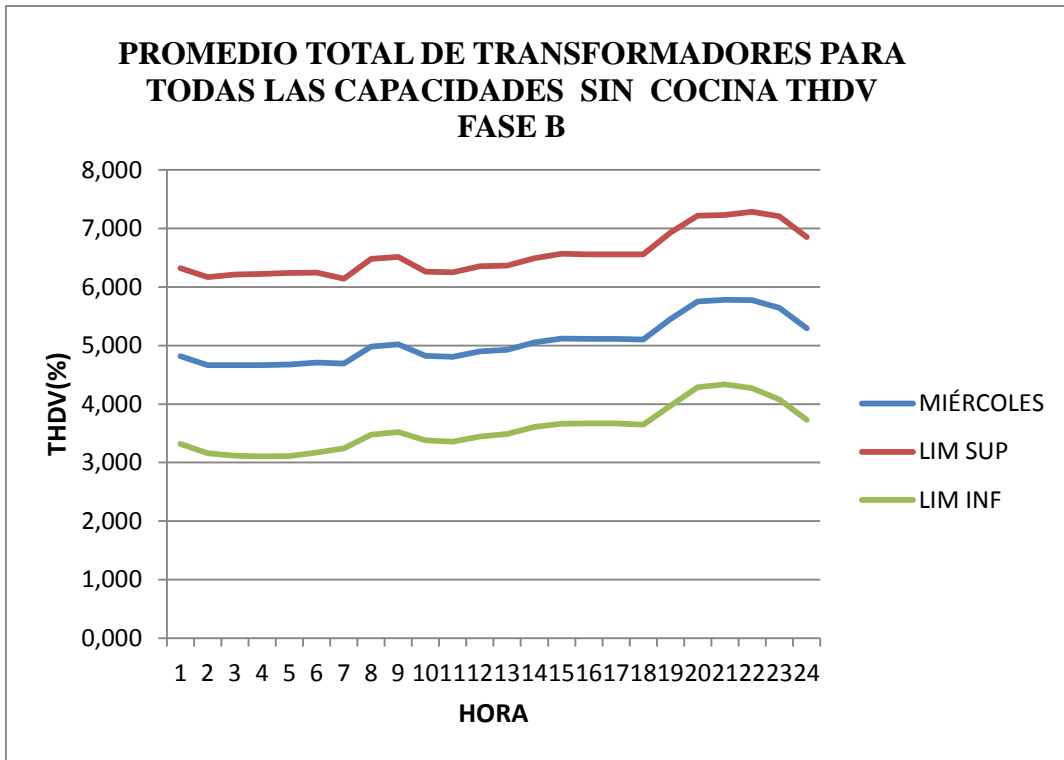


Figura 52 Curva de la THDV FASE B para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

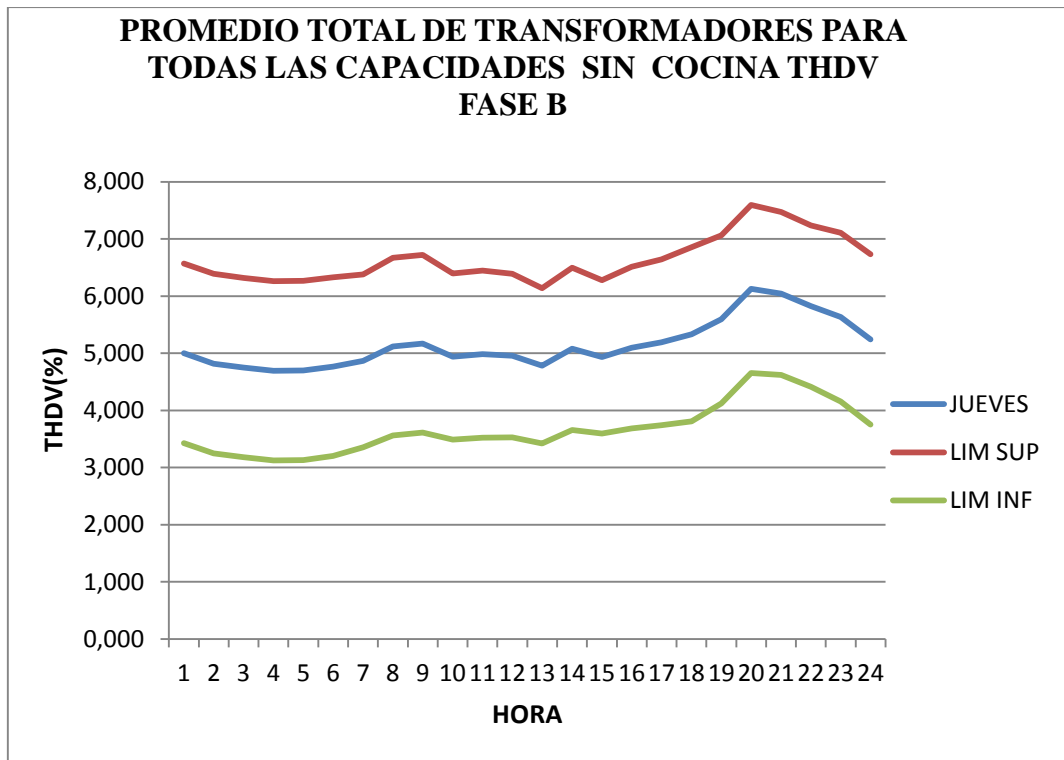


Figura 53 Curva de la THDV FASE B para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

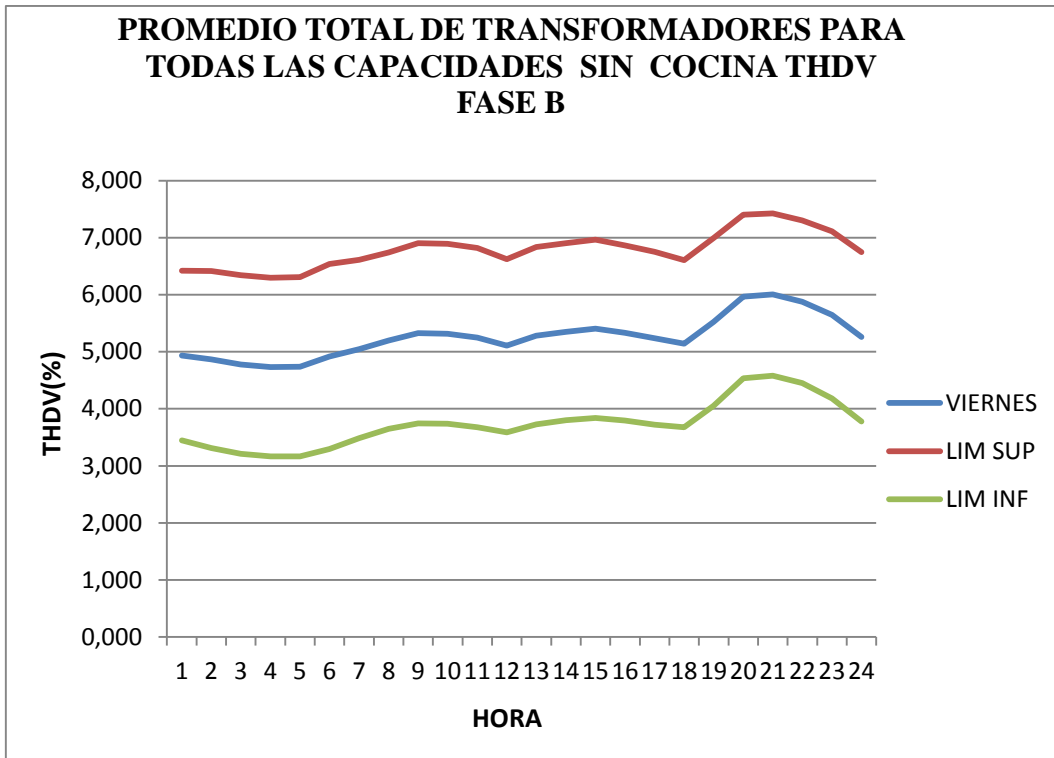


Figura 54 Curva de la THDV FASE B para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

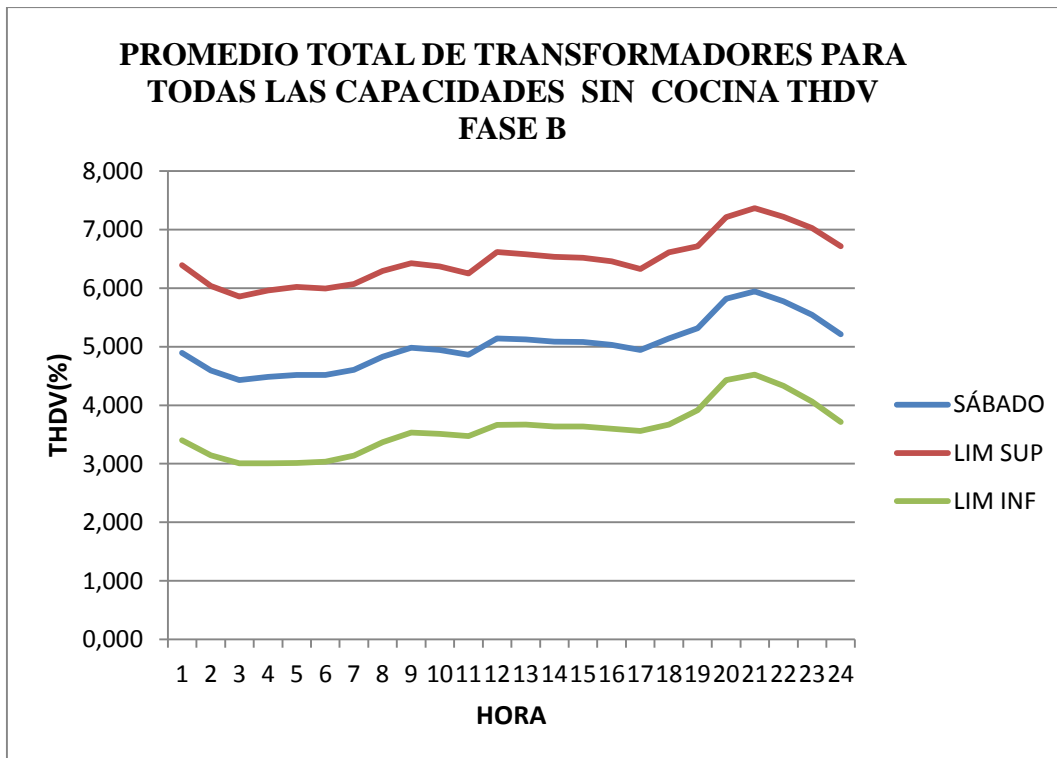


Figura 55 Curva de la THDV FASE B para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

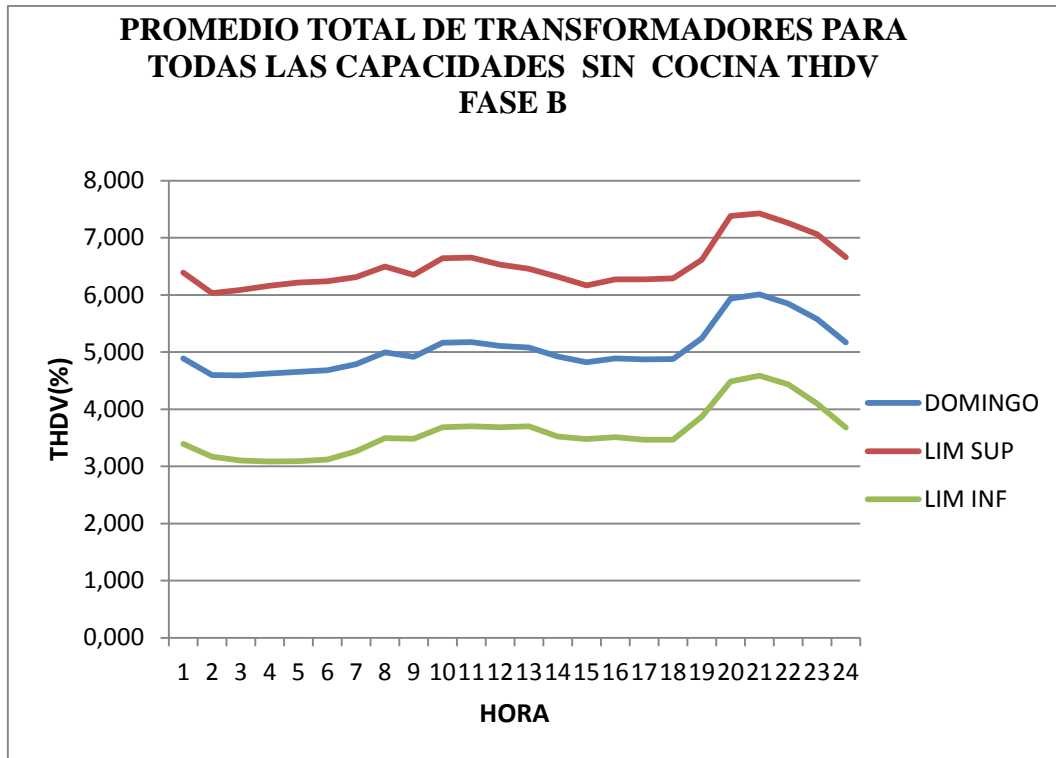


Figura 56 Curva de la THDV FASE B para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

En las figuras de la 57 a la 63 se indica las curvas características diarias de la THDI para transformadores sin cocina de inducción para la fase A, donde se puede observar que la THDI máxima se encuentra en el día martes a las 20H00 con un porcentaje de 21.187% y un mínimo de 12.172% el día lunes a las 4H00.

En las figuras de la 64 a la 70 se indica las curvas características de la THDI para la fase B, transformadores sin cocinas de inducción, donde se aprecia que el día martes presenta la máxima THDI de 22.554% a las 20H00 y el mínimo el día domingo 12.916% a las 3H00.

Debido a la no existencia de una norma ecuatoriana que supervise el porcentaje de la THDI inyectados a la red para cada uno de los equipos conectados, no se puede especificar el porcentaje límite.

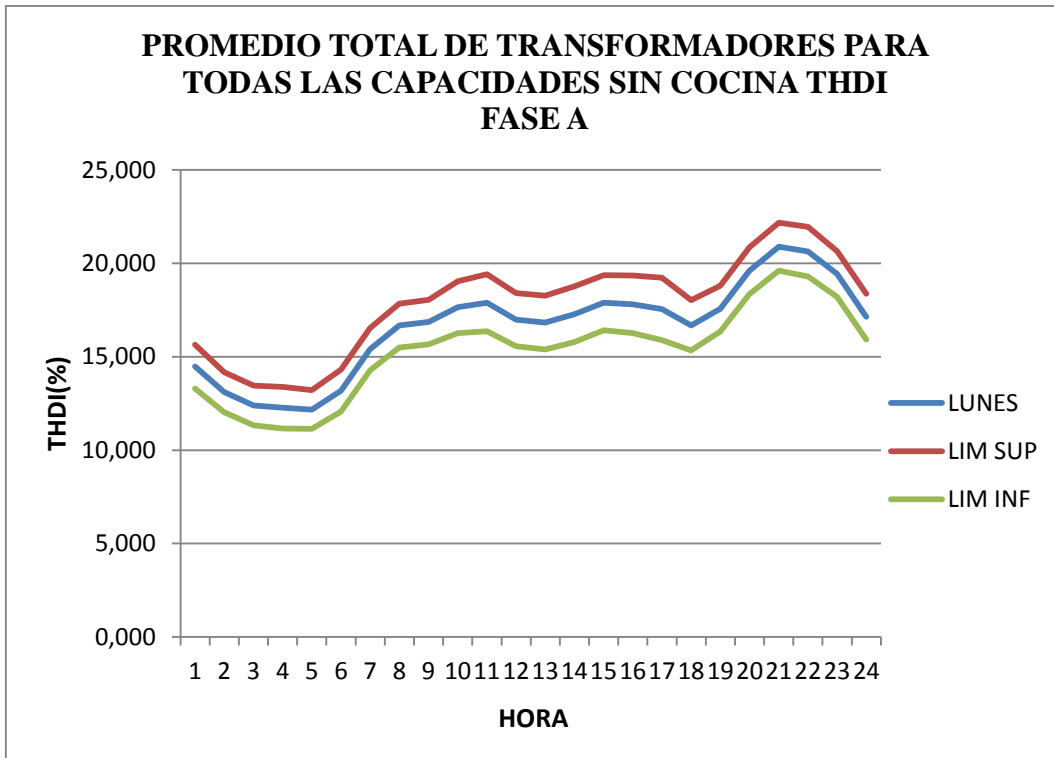


Figura 57 Curva de la THDI FASE A para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

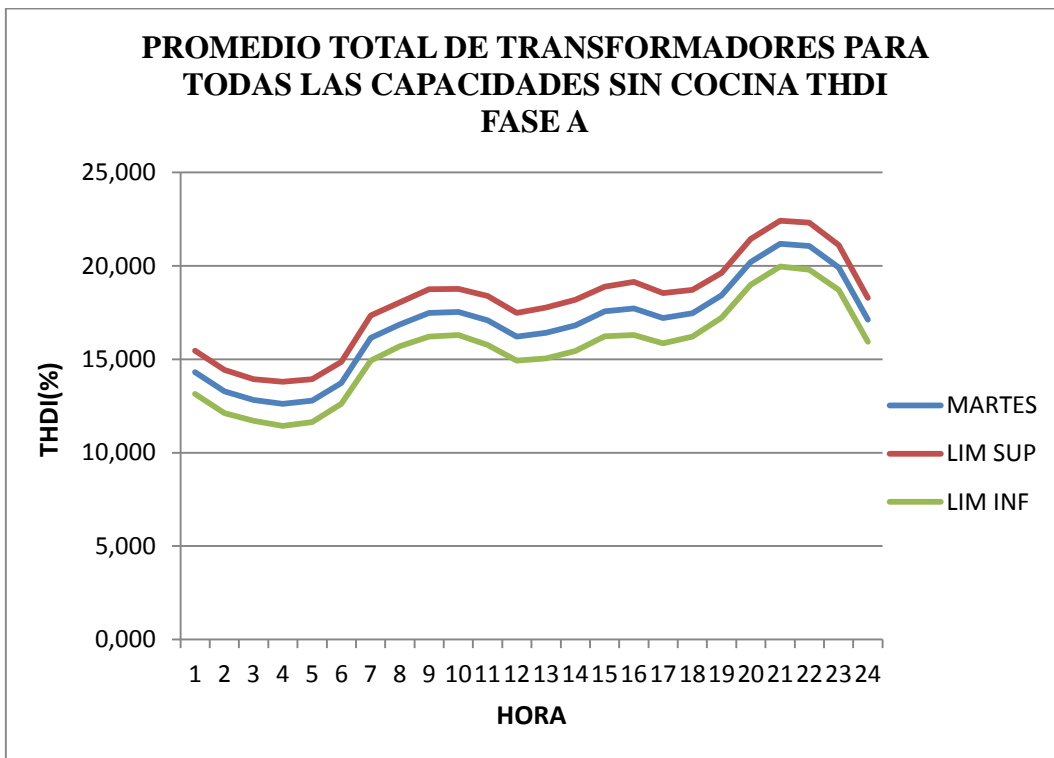


Figura 58 Curva de la THDV FASE A para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

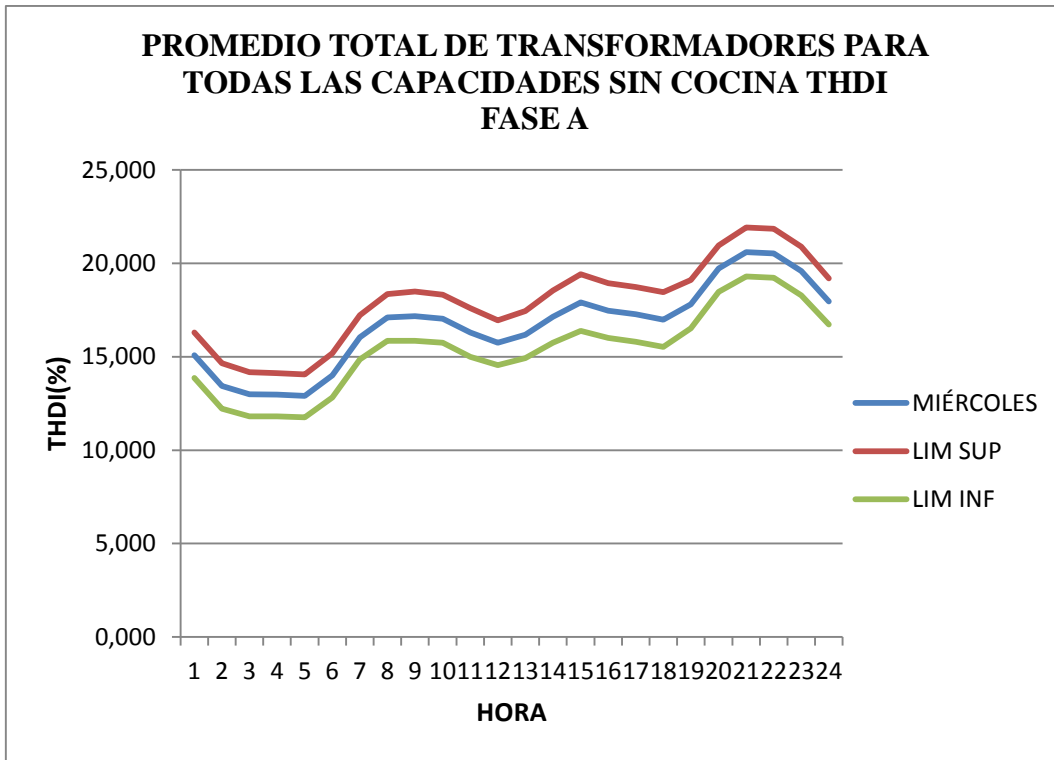


Figura 59 Curva de la THDI FASE A para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

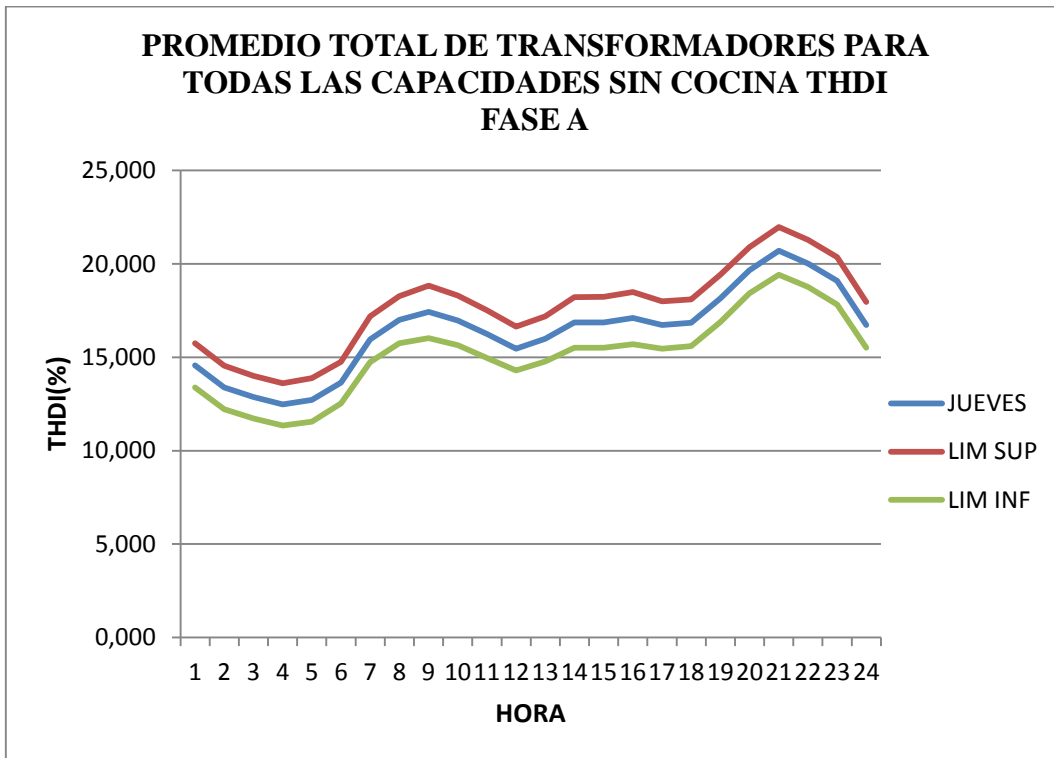


Figura 60 Curva de la THDI FASE A para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

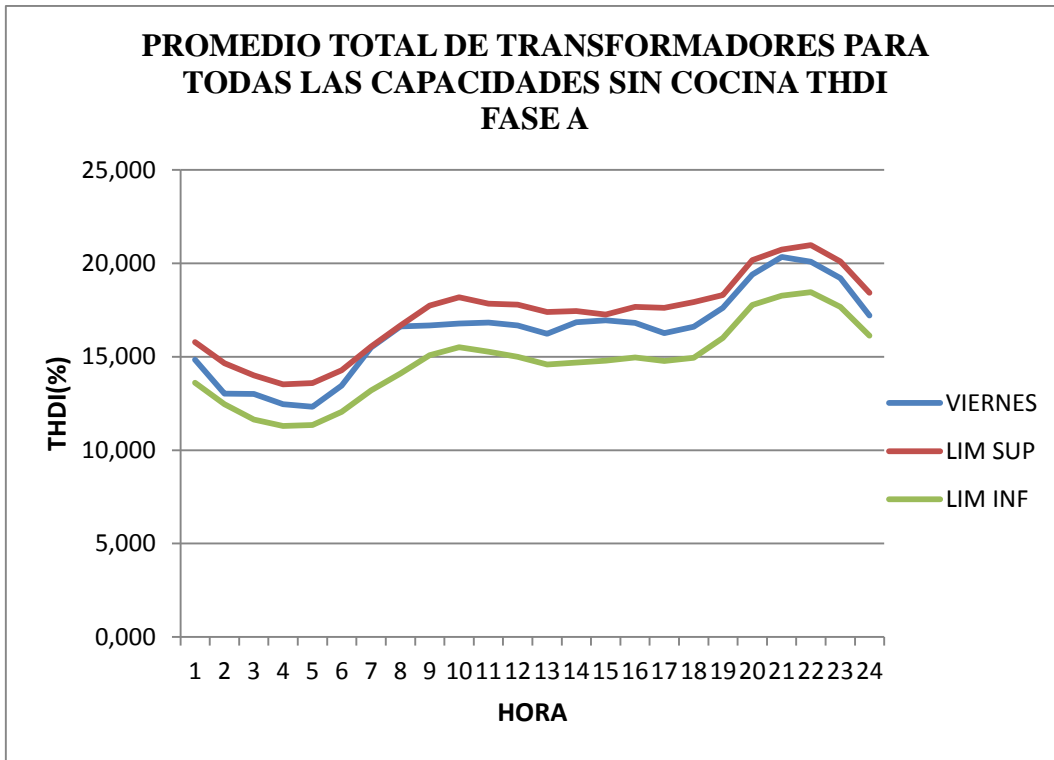


Figura 61 Curva de la THDI FASE A para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

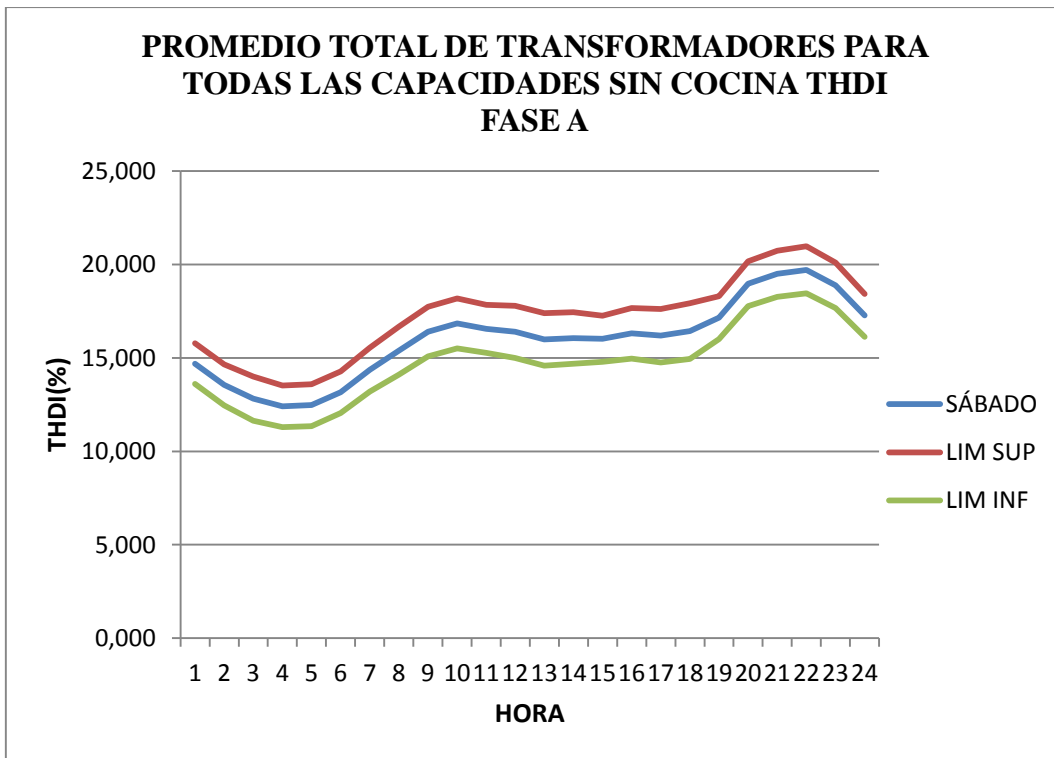


Figura 62 Curva de la THDI FASE A para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

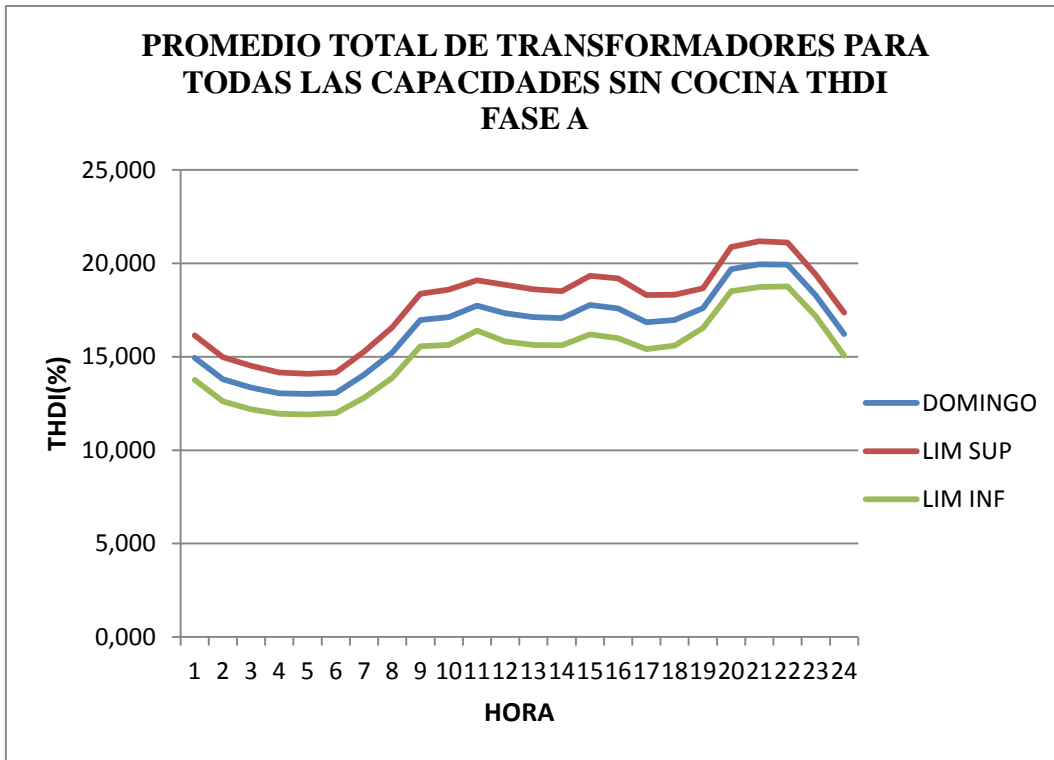


Figura 63 Curva de la THDI FASE A para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

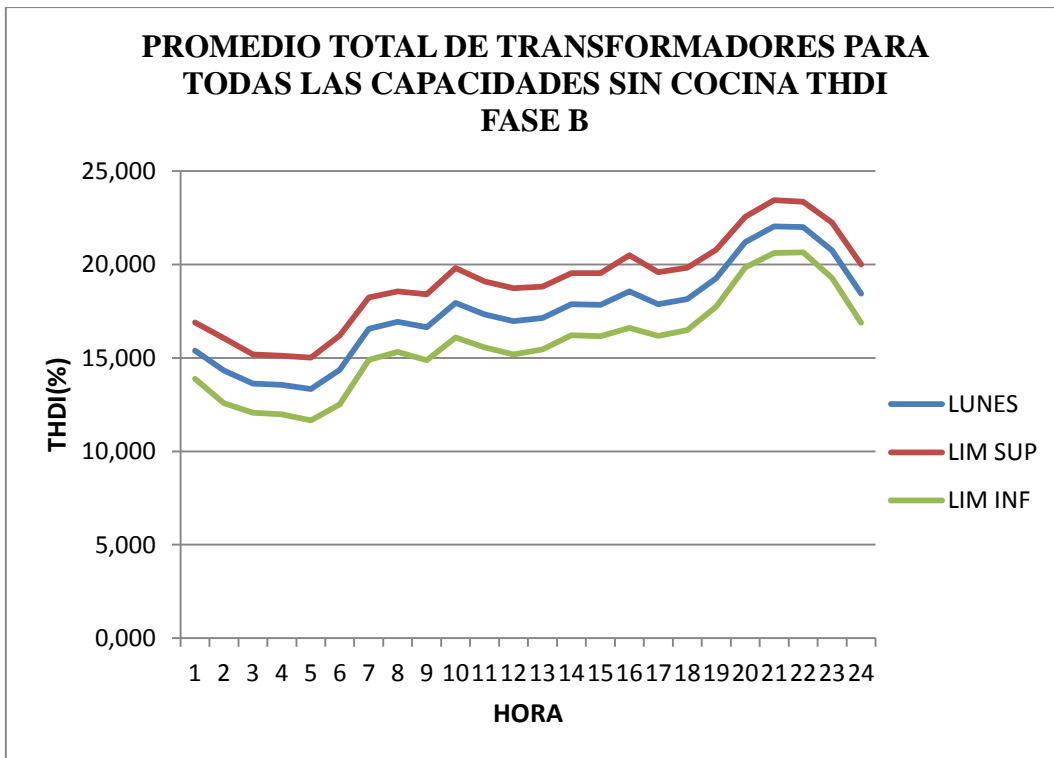


Figura 64 Curva de la THDI FASE B para el día Lunes
Fuente: Elaboración Propia

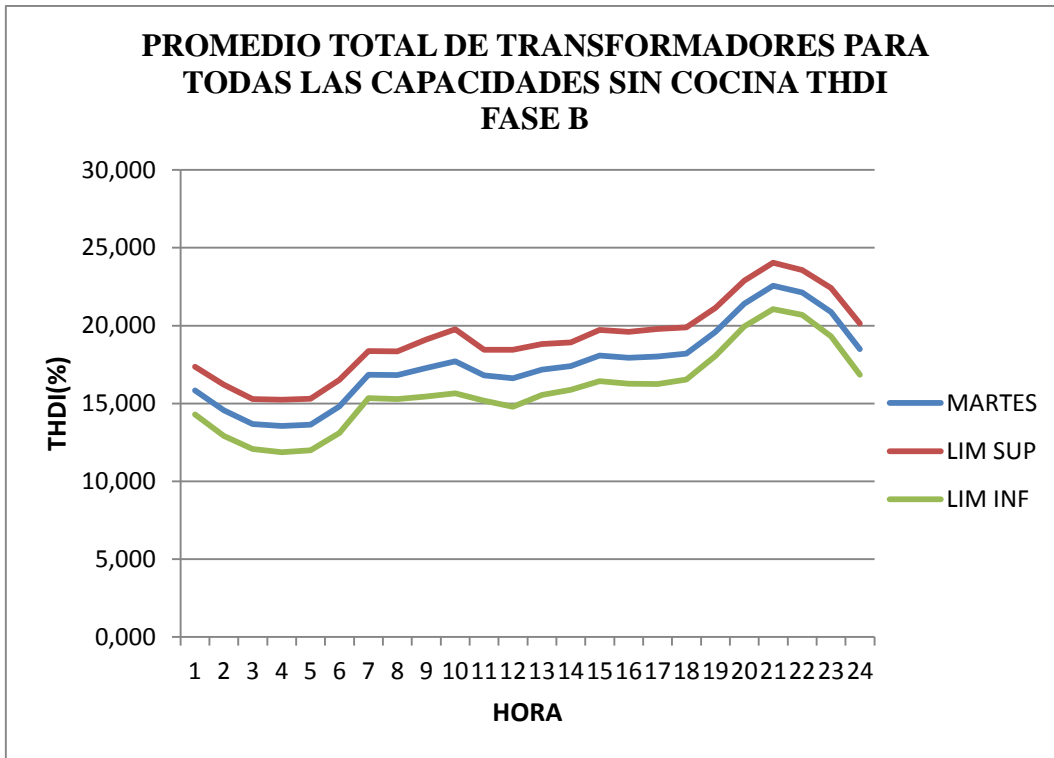


Figura 65 Curva de la THDI FASE B para el día Martes
Fuente: Elaboración Propia

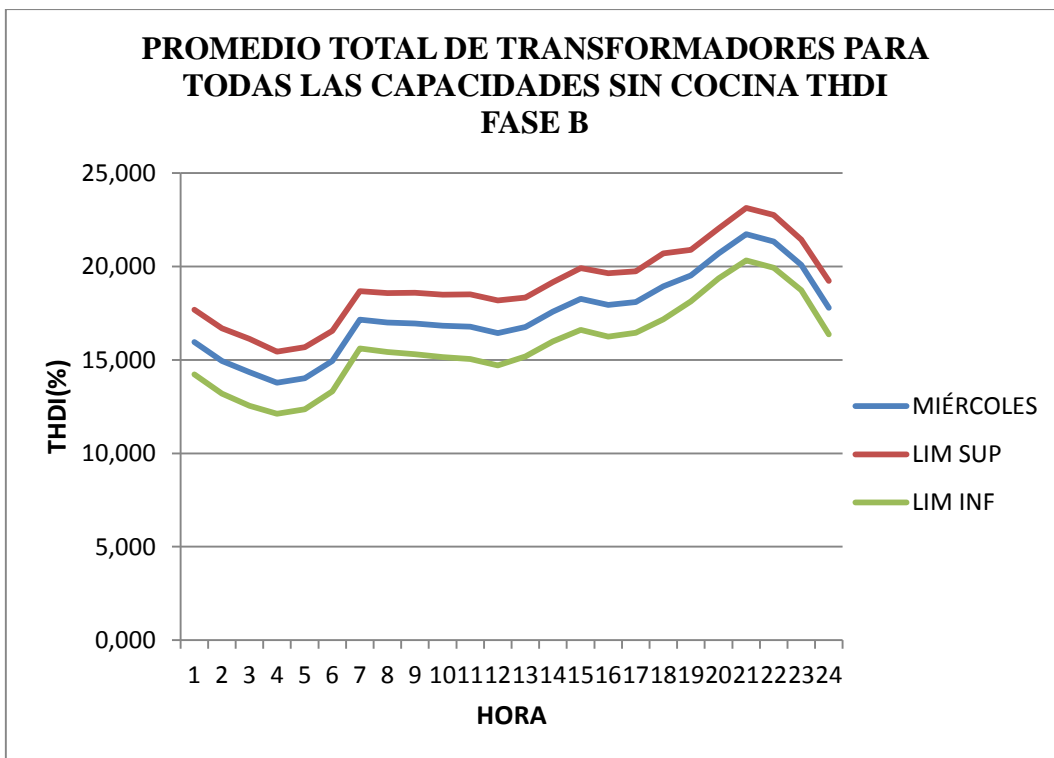


Figura 66 Curva de la THDI FASE B para el día Miércoles
Fuente: Elaboración Propia

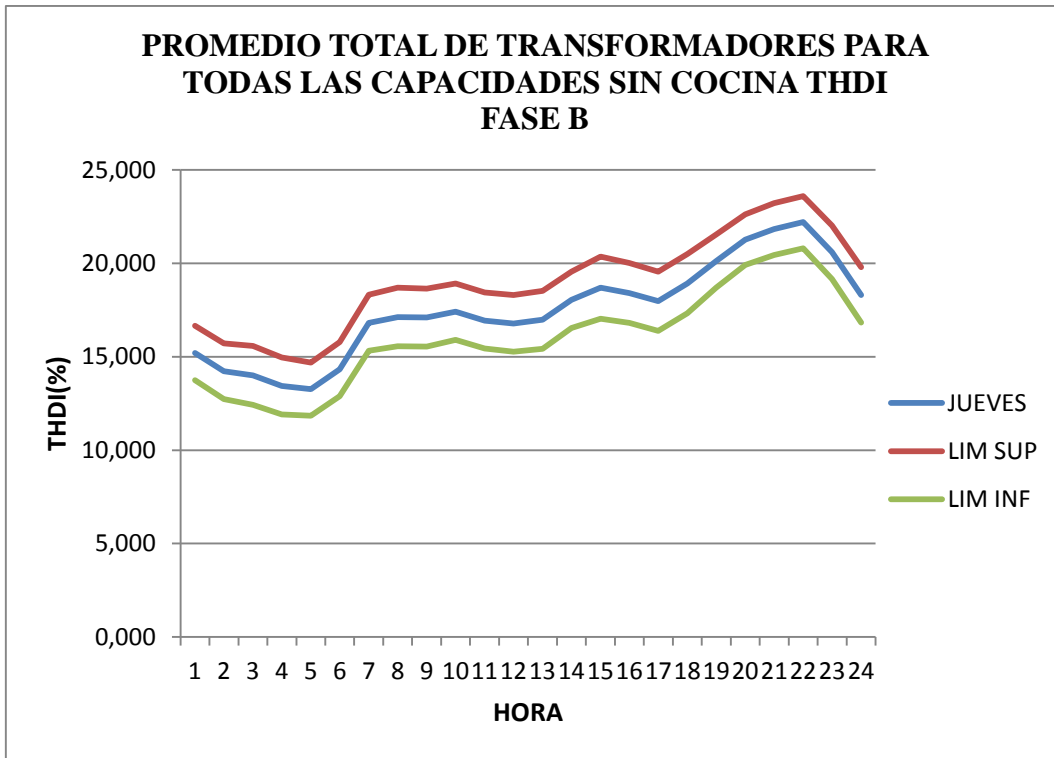


Figura 67 Curva de la THDI FASE B para el día Jueves
Fuente: Elaboración Propia

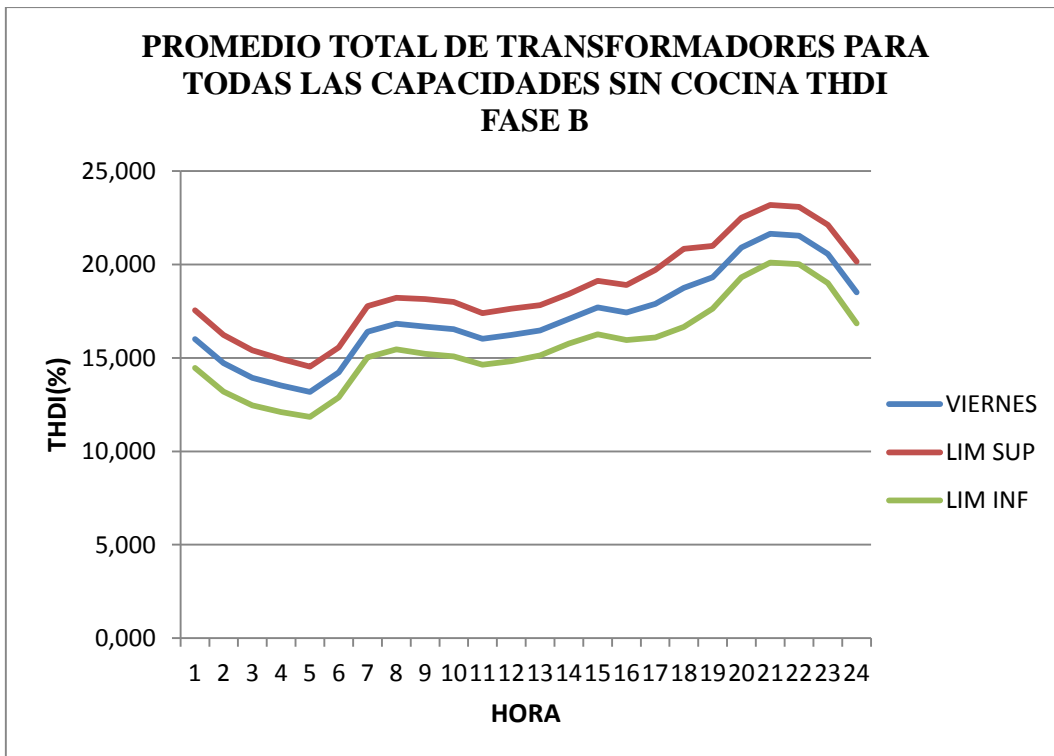


Figura 68 Curva de la THDI FASE B para el día Viernes
Fuente: Elaboración Propia

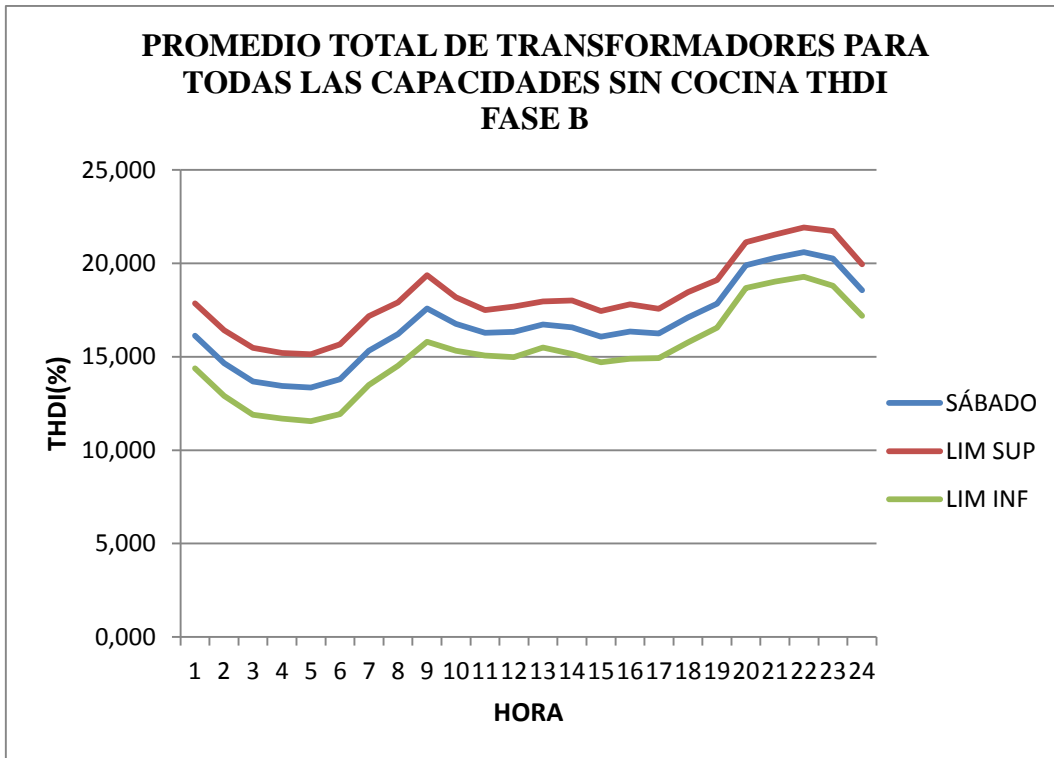


Figura 69 Curva de la THDI FASE B para el día Sábado
Fuente: Elaboración Propia

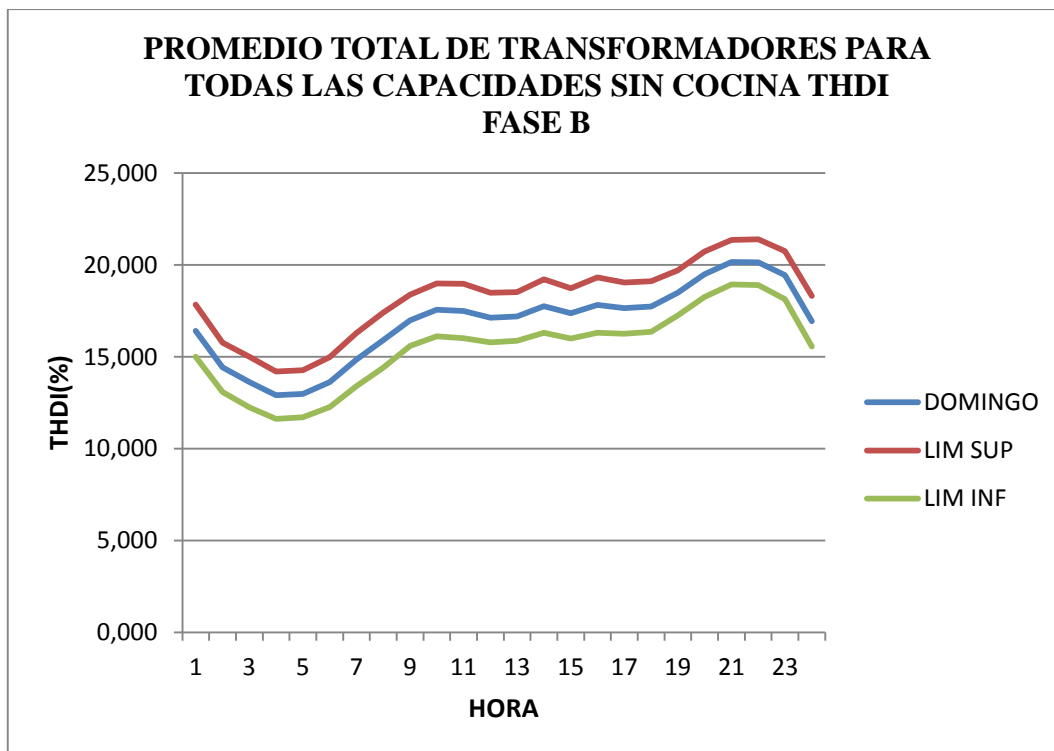


Figura 70 Curva de la THDI FASE B para el día Domingo
Fuente: Elaboración Propia

3.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3

- El análisis estadístico desarrollado permitió validar los datos y en base a estos fue posible obtener las curvas características de la THDI y THDV y de cómo estos se desplazan en los diferentes intervalos del día analizado, cada intervalo analizado es el promedio del comportamiento de toda la base de datos procesada durante los 3 años obteniéndose los resultados que se presentan en cada una de las figuras.
- De acuerdo a la caracterización de la THDI Y THDV, tanto para la fase A como B, se evidenció que la gran cantidad de los valores se encuentran dentro de los límites permitidos por la Regulación CONELEC 004/01, salvo el caso para transformadores que poseen cocinas de inducción en la fase B la THDV sobrepasa los límites establecidos por la Regulación CONELEC 004/01 con un valor máximo de la THDV de 8.665%.

4 DISCUSIÓN

En la actualidad con el gran avance que tiene la tecnología, cada día se emplea con mayor frecuencia equipos que presentan cargas no lineales, las cuales generan armónicos. Debido a estos hoy en día es de gran importancia estudiar la calidad de energía. Uno de los elementos que es afectado por la presencia de armónicos es el transformador puesto que en sus devanados va a circular una corriente distorsionada que afecta su normal funcionamiento, es por esto que se debe prestar más atención a los transformadores, en el caso específico de esta investigación a los transformadores de distribución monofásicos, ya que estos son los encargados de atender a la demanda eléctrica de los usuarios finales.

El consumo de energía es variable en el tiempo y su determinación no es exacta, al igual que la THDV y THDI, es por ello que se realiza un estudio para determinar su caracterización, para ello se analizaron transformadores de distribución monofásicos de 10, 15, 25 Y 37.5kVA con cocinas de inducción y sin cocinas de inducción, para la caracterización se evaluó una base de datos durante 3 años(2013, 2014, 2015), misma que nos permitió determinar los límites superior e inferior, desviación estándar y promedio, determinar las curvas características y para ello fue necesario aplicar las técnicas estadísticas mediante el software STATGRAPHICS, las pruebas de la Chi-Cuadrada, Kolmogorov –Smirnov y Anderson Darling, permitiendo validar si los datos cumplen una distribución normal, después se procede a la caracterización diaria del total de transformadores con cocinas de inducción y sin cocinas de inducción.

De acuerdo a la caracterización se observó que con el incremento de las cocinas de inducción y otras cargas no lineales la distorsión armónica sobrepasa los límites permitidos por la Regulación CONELEC 004/01.

5 CONCLUSIONES

- Es importante el conocimiento de las normas tanto nacionales como internacionales que nos sirven para limitar y controlar las distorsiones armónicas (THDI y THDV), como la norma IEEE 519-2014(THDV máximo 5%), IEC 61000-3-2 expresa el límite de armónicos de corriente menores a 16A (el porcentaje va de acuerdo al número de armónico, ejemplo armónico número 3 corriente admisible 2.30%), IEC 61000-3-4 indica los límites de armónicos de corriente mayores a 16A (el porcentaje de armónico de corrientes va de acuerdo al número de armónico, ejemplo armónico número 3 corriente admisible 21.6%) y la Regulación CONELEC 004/01(THDV máximo 8%) mediante estas normas podemos limitar los armónicos generados por las diversas fuentes a niveles aptos para el sistema eléctrico, lo que nos permite mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica, prolongando la vida útil de los equipos y proteger la seguridad e integridad de la red pública de distribución.
- Las curvas de THDV y THDI caracterizadas permitieron identificar el comportamiento de estos parámetros y cómo estos varían durante las 24 horas del día.
- Aplicando las pruebas estadísticas de Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling con un nivel de significancia del 0.05 fue posible validar si los datos cumple una distribución normal, además de obtener el límite superior e inferior, desviación estándar y promedio.
- El análisis estadístico permitió determinar el comportamiento de la distorsión armónica de los 7 días de la semana, identificándose que el día con mayor distorsión armónica es el domingo a las 20H00 en la fase B del transformador, con un valor de la THDV de 8.665% para transformadores que poseen cocinas de inducción, del mismo caso para transformadores que no poseen cocinas de inducción el día con mayor distorsión es el día jueves a las 19H00 con una THDV de 6.125% en la fase B.
- Es necesario llevar un control de la THDI en los transformadores debido a que la circulación de corrientes armónicos produce un sobrecalentamiento en los devanados, disminución del rendimiento y pérdidas en el cobre y hierro.

6 RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar evaluaciones donde se propongan métodos y modelos que permitan disminuir la distorsión armónica en las redes eléctricas.
- Desarrollar procedimientos que permitan automatizar el procesamiento de las bases de datos, para caracterizar las curvas de la THDI y THDV en tiempos cálculo relativamente cortos.
- Con el análisis realizado se evidenció que existe un desbalance en la fase A y B, debiéndose realizarse un estudio de distribución.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, A. (2005). *Calidad de Potencia Eléctrica en Redes de Distribución*. VENEZUELA.
- Alcántara Bonilla, A., & Domínguez Rivera, P. (11 de Julio de 2018). *Ciencia y Desarrollo*.
Obtenido de
<http://www.cyd.conacyt.gob.mx/242/Articulos/EnergiaElectrica/EnergiaElectrica2.htm>
|
- Ángel Alberto Pérez Miguel, N. B. (2004). *La Amenaza de los Armónicos y sus posibles soluciones*. España: Thomson Paraninfo.
- Castañeda, B. (2008). *Evaluación de las normas de calidad del servicio en los sistemas de distribución del SIGET*.
- Chapman, D. (2001). *Armónicos Causas y Efectos*. Madrid : CEDIC CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACION DEL COBRE.
- CONELEC. (2001). *Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución*.
- CONELEC. (2001). *Regulación No. CONELEC_004/01*.
- Devore, J. L. (s.f.). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. California: Cengage Learning.
- Estigarribia, H. (s.f). *Armónicos en Líneas de Baja Tensión*.
- Ferracci, P. (17 de 05 de 2018). *SCHNEIDER ELECTRIC*. Obtenido de SCHNEIDER ELECTRIC:
https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Cahier+Technique&p_File_Name=CT199-V3.pdf&p_Doc_Ref=CT-199-Z002
- Frank, P. (01 de 10 de 2015). *SectorElectricidad*. Obtenido de SectorElectricidad:
<http://www.sectorelectricidad.com/13810/armonicos-que-son-y-como-nos-afectan/>
- G., H. E. (2004). *El abc de la calidad de energía eléctrica*. Mexico.
- González Rodríguez, J. L., & Morales García , E. O. (2012). *Solución a los problemas de corrientes y voltajes armónicos en los sistemas industriales. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México* . MÉXICO.
- Holguín, I. (Marzo de 2010). Recuperado el 19 de Octubre de 2016, de
dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf
- Hornemann, M. (1994). *Electronicca de Potencia*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- Huerta, V. S. (2010). *Perturbaciones en la red Eléctrica. Afinidad Eléctrica*.
- IEC, 6.-3.-5. (s.f.). *"Harmonic Emission Limits for Customers Connected to MV, HV, and EHV"*.
- IEEE Std. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*.
- IEEE.std519. (1992). *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*.

- J. A. Suárez, G. F. (2005). *Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales*.
- López Solar, G. (2005). *Medida de los armónicos en Ambientes Industriales*. PARANINFO.
- Lora, B., & A., R. O. (2002). *Investigación sobre la calidad de energía eléctrica y necesidad de reformas*. Barranquilla.
- Madrid, U. C. (2009). *MANUAL DE STATGRAPHICS*.
- Marroquín Juárez, J. R. (2012). Procedimiento para el estudio de la Calidad de la Potencia Eléctrica en el sector textil de Guatemala para la reducción de costos y mantenimiento en esta industria. *(Tesis de Pregrado) Universidad de San Carlos Guatemala*. Guatemala.
- Meer. (2016). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovables*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/programa-de-eficiencia-energetica-para-coccion-por-induccion-y-calentamiento-de-agua-con-electricidad-en-sustitucion-del-gas-licuado-de-petroleo-glp-en-el-sector-reside-2/>
- Minitab, S. (s.f.). Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/what-is-the-standard-deviation/>
- Minitab, S. f. (s.f). *Support fur Minitab 18*. Obtenido de <https://support.minitab.com/de-de/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/the-anderson-darling-statistic/>
- Murray R, S., & Larry J, S. (2009). *Estadística Shaum*. MEXICO: MC GRAW GRILL.
- Oropeza Soto , J. A., & Quintero Ramírez, M. K. (2017). Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los Anillos E y F de la Red Eléctrica Subterránea de Distribución en 23 kV de Ciudad Universitaria, UNAM. *(Tesis de pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México*. México.
- Perdomo García, M. A. (2016). *Efecto de la Distorsión Armónica en Transformadores*. PEREIRA: Universidad Tecnológica de Pereira .
- Piolet, F. (2015). *¿Qué son los armónicos y como nos afectan? Sector Electricidad*.
- Ruggero Ríos, B., & Sánchez Quintana, M. E. (2014). *Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución*. Paraguay: Universidad del Cono Sur de las Américas.
- Ruiz Vallejo, J. M., & Ortíz Quintero, F. H. (2007). Metodología para Identificar Fuentes Armónicas en Sistemas Eléctricos . *(Tesis de Pregrado)*. *Universidad Tecnológica de Pereira*. PEREIRA.
- Sáez Castillo, A. J. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros*. Universidad de Jaén .
- Salazar Rivadeneira, G. I. (2015). Modelamiento del THD producido por el uso de Cocinas Eléctricas de Inducción residencial en la Red de Distribución . *(Tesis de Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito*. Quito.

- Sánchez Quintana, M., & Ruggers Ríos, B. (2014). Incidencia de las Cargas no Lineales en los Transformadores de Distribución. *UCSA*, 17.
- Sosa, J. (13 de 04 de 2013). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/135668690/Armonicos-en-Sistema-de-Distribucion>
- Spiegel, M. R. (2000). *Estadística*. Madrid : Mc Graw Hill.
- Suárez, J. A., Di Mauro, G. F., Anaut, D., & Agüero, C. (5 de MAYO de 2005). Recuperado el 03 de 12 de 2017, de IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1642439>
- Téllez Ramírez, E. (2000). Programa de Ahorro de Energía. *Automatización, Productividad y Calidad*, (pág. 36). MÉXICO.
- Vilori, F. C., & González, P. (2002). *Índices de la calidad de energía eléctrica en la industria*. Barranquilla.
- Wildi, T. (2007). *Sistemas de Potencia, armónicos y calidad de energía*. sexta edición .
- Zavala, A. (13 de Mayo de 2018). *SCRIBD*. Recuperado el 28 de 11 de 2017, de <https://es.scribd.com/document/255331062/Cargas-No-Lineales>
- Zuñiga Solis, A. (29 de 09 de 2017). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/360218777/Centurion-XVII-Manual-Principal-pdf>

8 ANEXOS

ANEXO 1 DIGITAL

En la parte uno de Excel se encuentra los valores promedios totales para transformadores con cocinas de Inducción. En la hoja 2 y 4 se presentan los valores promedios de la THDV y THDI para la fase A, en la hoja 3 y 5 los valores promedios de la THDV y THDI para la fase B.

En las hojas 6, 7, 8, 9 se presenta un resumen del promedio final, su límite inferior y superior y su respectiva caracterización gráfica para cada día de la semana de la THDV Y THDI, tanto para la fase A y B respectivamente.

En la parte 2 de Excel se encuentra los valores promedios totales para transformadores sin cocinas de Inducción. En la hoja 2 y 4 se presentan los valores promedios de la THDV y THDI para la fase A, en la hoja 3 y 5 los valores promedios de la THDV y THDI para la fase B.

En las hojas 6, 7, 8, 9 se presenta un resumen del promedio final, su límite inferior y superior y su respectiva caracterización gráfica para cada día de la semana de la THDV Y THDI, tanto para la fase A y B respectivamente.

ANEXO 2

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 2.86392
desviación estándar = 0.515936

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PRO MIN. LUNES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		2.31312	3	3.43	0.05
	2.31312	2.57192	3	3.43	0.05
	2.57192	2.77104	7	3.43	3.72
	2.77104	2.95679	3	3.43	0.05
	2.95679	3.15591	3	3.43	0.05
	3.15591	3.41472	1	3.43	1.72
mayor	3.41472		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 5.75 con 4 g.l. Valor-P = 0.218613

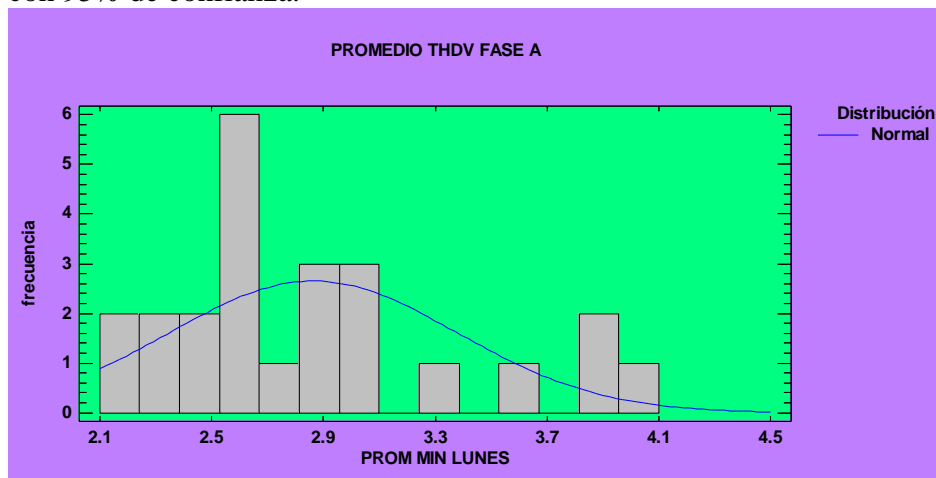
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.173851
DMENOS	0.101808
DN	0.173851
Valor-P	0.471801

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.884444
Forma Modificada	0.884444
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN. LUNES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 3

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 2.86392
desviación estándar = 0.515936

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PRO MÁX. LUNES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		2.31312	3	3.43	0.05
	2.31312	2.57192	3	3.43	0.05
	2.57192	2.77104	7	3.43	3.72
	2.77104	2.95679	3	3.43	0.05
	2.95679	3.15591	3	3.43	0.05
	3.15591	3.41472	1	3.43	1.72
mayor	3.41472		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 5.75 con 4 g.l. Valor-P = 0.218613

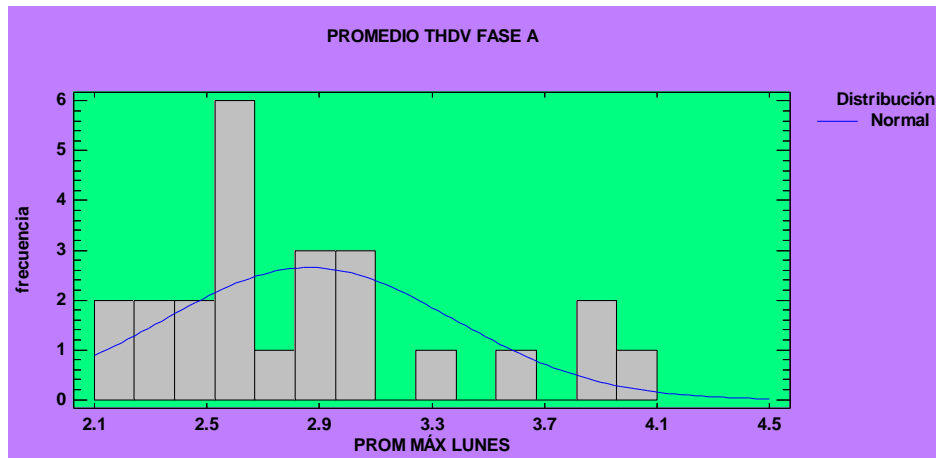
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.173851
DMENOS	0.101808
DN	0.173851
Valor-P	0.471801

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.884444
Forma Modificada	0.884444
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MÁX. LUNES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 4

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 7.59042
desviación estándar = 0.47186

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN MIÉRCOLES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		7.08667	4	3.43	0.10
	7.08667	7.32337	3	3.43	0.05
	7.32337	7.50548	2	3.43	0.60
	7.50548	7.67536	7	3.43	3.72
	7.67536	7.85747	3	3.43	0.05
	7.85747	8.09416	1	3.43	1.72
mayor	8.09416		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 6.33333 con 4 g.l. Valor-P = 0.175599

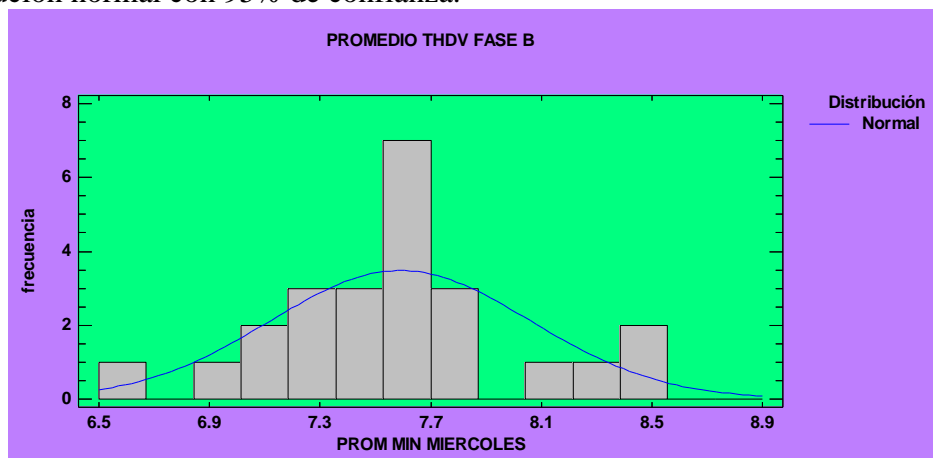
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.137931
DMENOS	0.0736775
DN	0.137931
Valor-P	0.751178

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.475146
Forma Modificada	0.475146
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN MIERCOLES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 5

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 7.64296
desviación estándar = 0.488107

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MAX DOMINGO

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		7.12187	5	3.43	0.72
	7.12187	7.36671	4	3.43	0.10
	7.36671	7.55509	1	3.43	1.72
	7.55509	7.73082	4	3.43	0.10
	7.73082	7.9192	5	3.43	0.72
	7.9192	8.16405	1	3.43	1.72
mayor	8.16405		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 5.16667 con 4 g.l. Valor-P = 0.27062

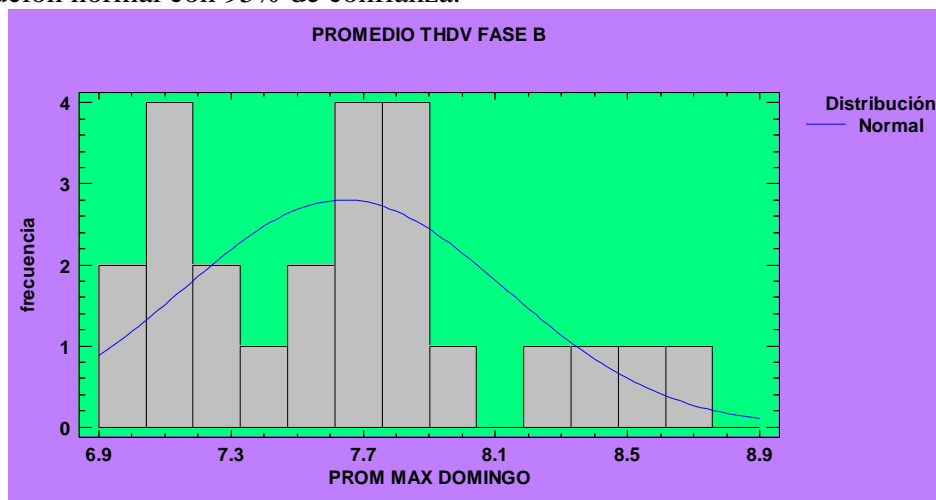
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.109174
DMENOS	0.100568
DN	0.109174
Valor-P	0.937216

Anderson-Darling A^2

	<i>Normal</i>
A^2	0.516804
Forma Modificada	0.516804
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MAX DOMINGO proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 6

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 16.5233
desviación estándar = 2.61158

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN LUNES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		13.7353	5	3.43	0.72
	13.7353	15.0453	1	3.43	1.72
	15.0453	16.0532	3	3.43	0.05
	16.0532	16.9935	4	3.43	0.10
	16.9935	18.0014	6	3.43	1.93
	18.0014	19.3114	1	3.43	1.72
mayor	19.3114		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 6.33333 con 4 g.l. Valor-P = 0.175599

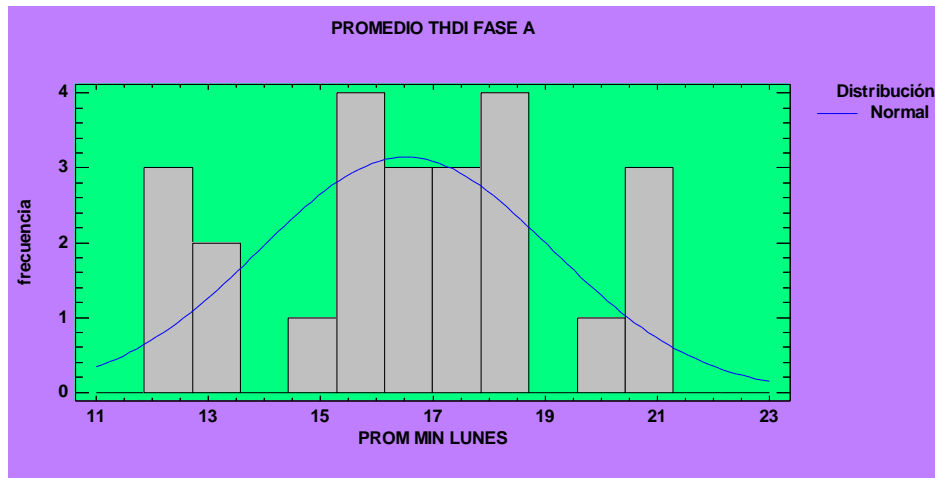
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.100206
DMENOS	0.0965885
DN	0.100206
Valor-P	0.969465

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.362508
Forma Modificada	0.362508
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN LUNES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 7

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 16.9477
desviación estándar = 2.46353

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MAX JUEVES

Prueba Chi-Cuadrada

	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>	<i>Frecuencia Observada</i>	<i>Frecuencia Esperada</i>	<i>Chi-Cuadrada</i>
menor o igual		14.3178	5	3.43	0.72
	14.3178	15.5535	0	3.43	3.43
	15.5535	16.5043	6	3.43	1.93
	16.5043	17.3912	2	3.43	0.60
	17.3912	18.342	4	3.43	0.10
	18.342	19.5777	3	3.43	0.05
mayor	19.5777		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 6.91667 con 4 g.l. Valor-P = 0.140358

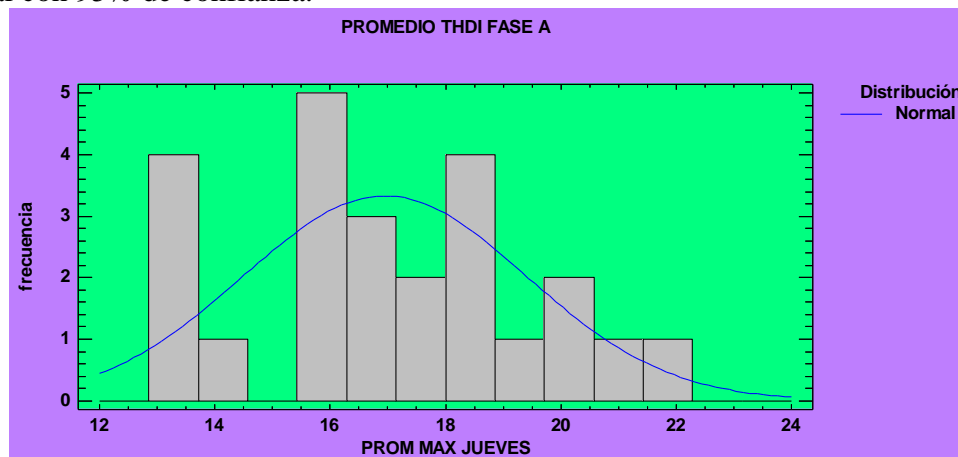
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.101817
DMENOS	0.113473
DN	0.113473
Valor-P	0.916767

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.28354
Forma Modificada	0.28354
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MAX JUEVES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 8

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 20.02
desviación estándar = 2.72569

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN LUNES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		17.1101	5	3.43	0.72
	17.1101	18.4774	0	3.43	3.43
	18.4774	19.5293	5	3.43	0.72
	19.5293	20.5106	2	3.43	0.60
	20.5106	21.5626	6	3.43	1.93
	21.5626	22.9298	3	3.43	0.05
mayor	22.9298		3	3.43	0.05

Chi-Cuadrada = 7.5 con 4 g.l. Valor-P = 0.111709

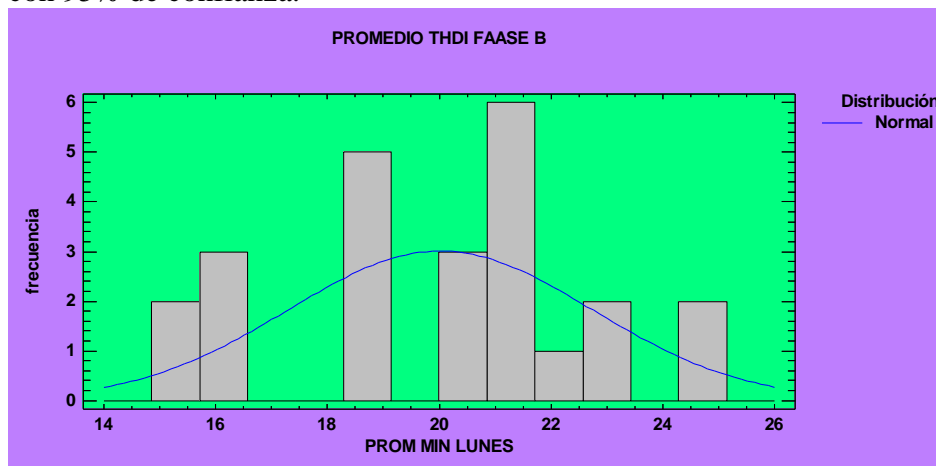
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.110052
DMENOS	0.121193
DN	0.121193
Valor-P	0.872482

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.411209
Forma Modificada	0.411209
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN LUNES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 9

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES CON COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 20.7009
desviación estándar = 2.74822

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MAX MIÉRCOLES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		17.7669	5	3.43	0.72
	17.7669	19.1455	0	3.43	3.43
	19.1455	20.2062	7	3.43	3.72
	20.2062	21.1956	2	3.43	0.60
	21.1956	22.2562	2	3.43	0.60
	22.2562	23.6348	4	3.43	0.10
mayor	23.6348		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 9.25 con 4 g.l. Valor-P = 0.0551456

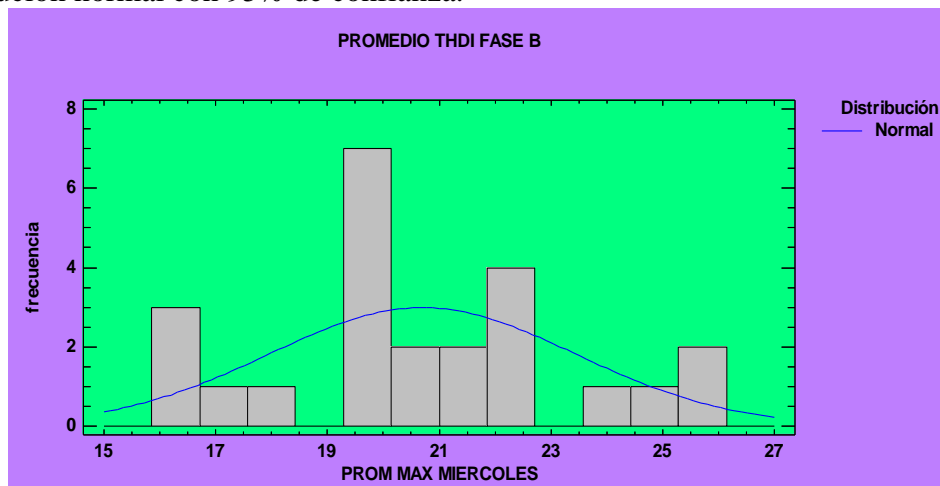
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.107687
DMENOS	0.108479
DN	0.108479
Valor-P	0.940222

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.326479
Forma Modificada	0.326479
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MAX MIÉRCOLES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 10

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 3.23275
desviación estándar = 0.459122

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN MIÉRCOLES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		2.7426	4	3.43	0.10
	2.7426	2.97291	3	3.43	0.05
	2.97291	3.1501	5	3.43	0.72
	3.1501	3.3154	6	3.43	1.93
	3.3154	3.49259	1	3.43	1.72
	3.49259	3.7229	1	3.43	1.72
mayor	3.7229		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 6.33333 con 4 g.l. Valor-P = 0.175599

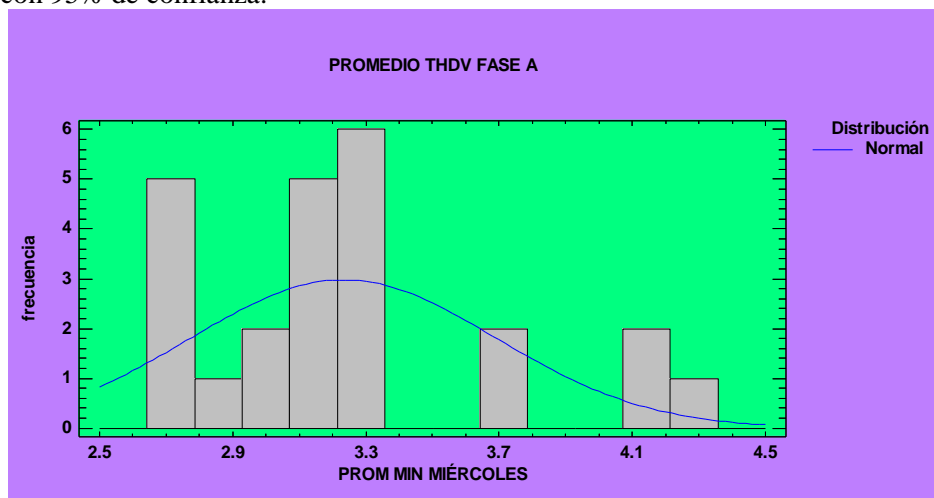
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.218866
DMENOS	0.100628
DN	0.218866
Valor-P	0.200756

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.907328
Forma Modificada	0.907328
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROMEDIO MAX MIÉRCOLES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 11

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 3.27737
desviación estándar = 0.455298

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MÁX. JUEVES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		2.79131	4	3.43	0.10
	2.79131	3.0197	3	3.43	0.05
	3.0197	3.19542	5	3.43	0.72
	3.19542	3.35933	7	3.43	3.72
	3.35933	3.53505	0	3.43	3.43
	3.53505	3.76344	2	3.43	0.60
mayor	3.76344		3	3.43	0.05

Chi-Cuadrada = 8.66667 con 4 g.l. Valor-P = 0.0699932

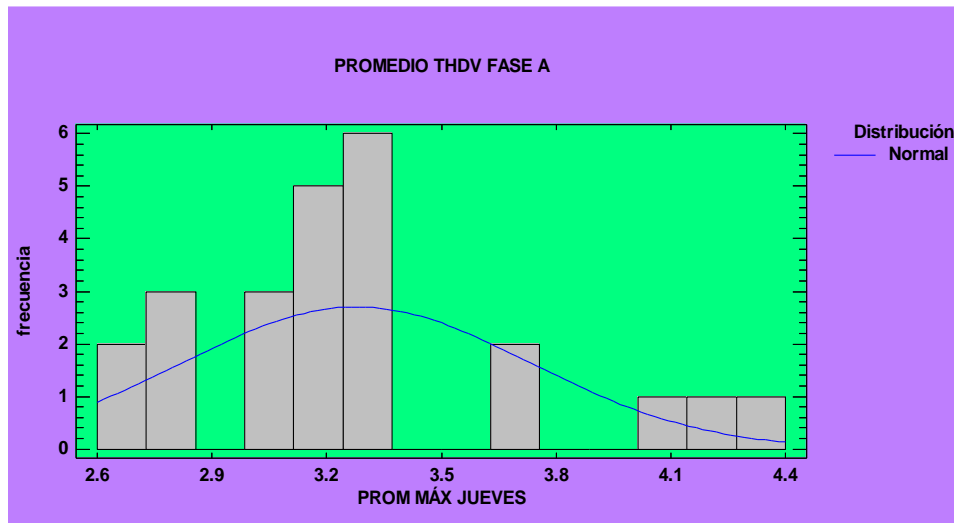
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.23176
DMENOS	0.10716
DN	0.23176
Valor-P	0.151852

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	1.02553
Forma Modificada	1.02553
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MÁX JUEVES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 12

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 5.03425
desviación estándar = 0.422212

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN SÁBADO

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		4.58351	4	3.43	0.10
	4.58351	4.7953	2	3.43	0.60
	4.7953	4.95825	5	3.43	0.72
	4.95825	5.11025	4	3.43	0.10
	5.11025	5.2732	4	3.43	0.10
	5.2732	5.48499	1	3.43	1.72
mayor	5.48499		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 3.41667 con 4 g.l. Valor-P = 0.490662

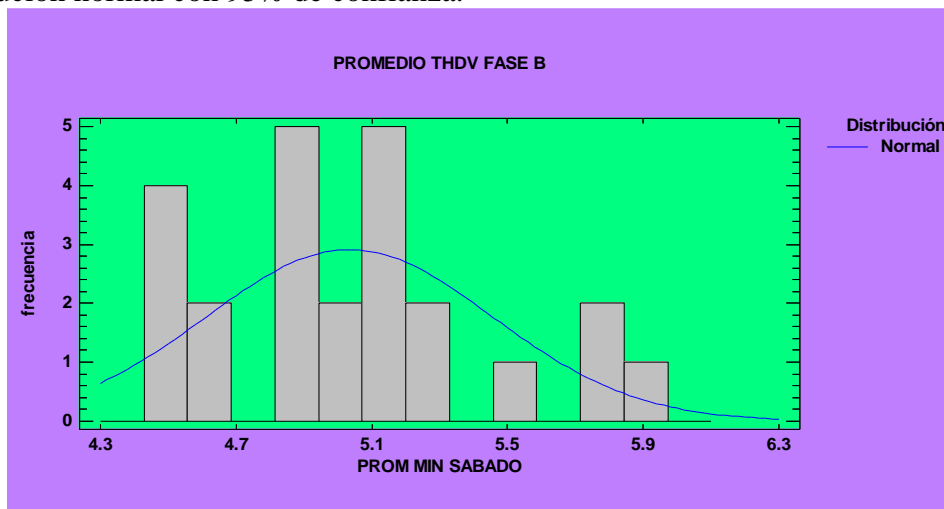
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.148366
DMENOS	0.0853236
DN	0.148366
Valor-P	0.666207

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.529469
Forma Modificada	0.529469
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN SABADO proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 13

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDV PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 5.151
desviación estándar = 0.412664

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MÁX JUEVES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		4.71045	2	3.43	0.60
	4.71045	4.91745	5	3.43	0.72
	4.91745	5.07671	5	3.43	0.72
	5.07671	5.22529	5	3.43	0.72
	5.22529	5.38455	2	3.43	0.60
	5.38455	5.59155	0	3.43	3.43
mayor	5.59155		5	3.43	0.72

Chi-Cuadrada = 7.5 con 4 g.l. Valor-P = 0.111709

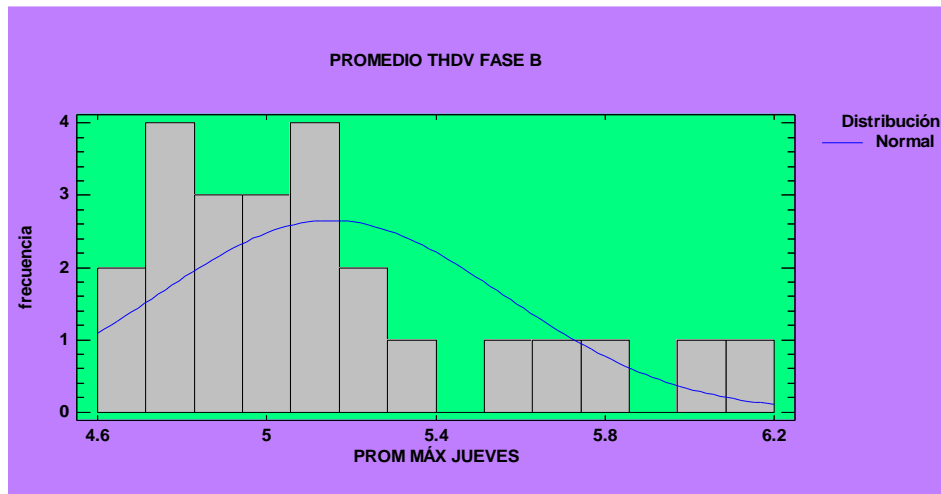
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.168759
DMENOS	0.132487
DN	0.168759
Valor-P	0.513944

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	1.05757
Forma Modificada	1.05757
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MÁX JUEVES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 14

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 16.5998
desviación estándar = 2.52129

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN LUNES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		13.8494	5	3.43	0.72
	13.8494	15.0677	2	3.43	0.60
	15.0677	16.005	1	3.43	1.72
	16.005	16.8794	4	3.43	0.10
	16.8794	17.8167	7	3.43	3.72
	17.8167	19.035	1	3.43	1.72
mayor	19.035		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 8.66667 con 4 g.l. Valor-P = 0.0699932

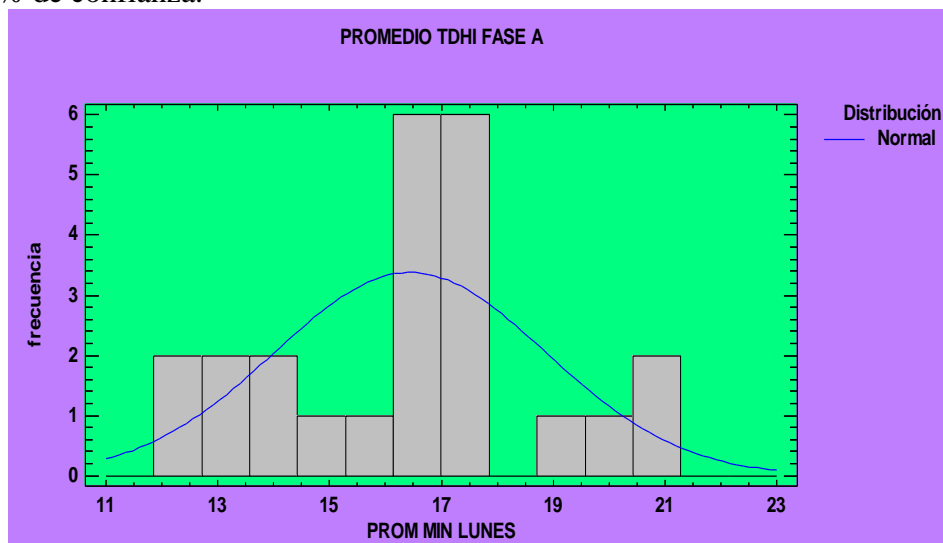
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.116356
DMENOS	0.184698
DN	0.184698
Valor-P	0.390385

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.588365
Forma Modificada	0.588365
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN LUNES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 15

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE A

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 16.7457
desviación estándar = 2.49288

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MÁX MARTES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		14.0844	5	3.43	0.72
	14.0844	15.3349	1	3.43	1.72
	15.3349	16.297	2	3.43	0.60
	16.297	17.1945	5	3.43	0.72
	17.1945	18.1566	6	3.43	1.93
	18.1566	19.407	1	3.43	1.72
mayor	19.407		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 7.5 con 4 g.l. Valor-P = 0.111709

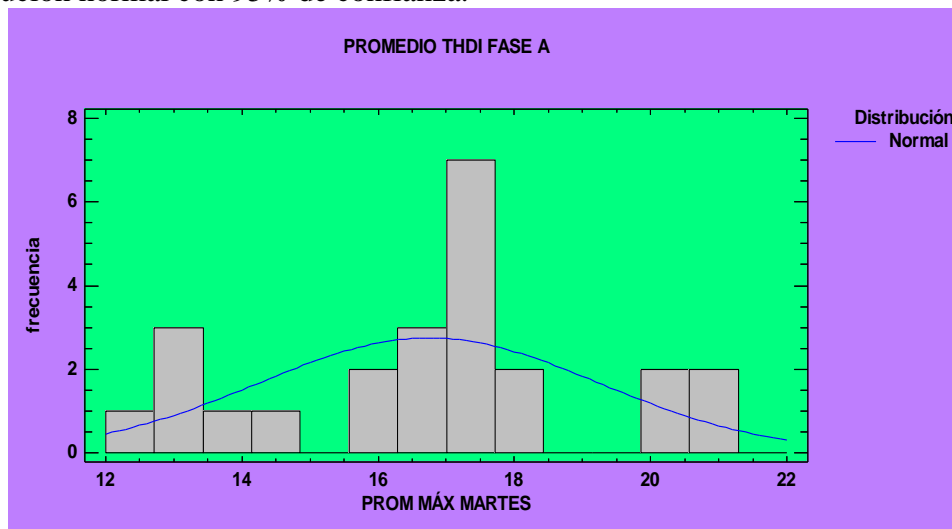
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.140071
DMENOS	0.153699
DN	0.153699
Valor-P	0.622169

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.678016
Forma Modificada	0.678016
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MÁX MARTES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 16

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÍNIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 16.8375
desviación estándar = 2.13688

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MIN DOMINGO

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		14.5563	5	3.43	0.72
	14.5563	15.6282	1	3.43	1.72
	15.6282	16.4529	2	3.43	0.60
	16.4529	17.2222	4	3.43	0.10
	17.2222	18.0469	7	3.43	3.72
	18.0469	19.1188	1	3.43	1.72
mayor	19.1188		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 8.66667 con 4 g.l. Valor-P = 0.069932

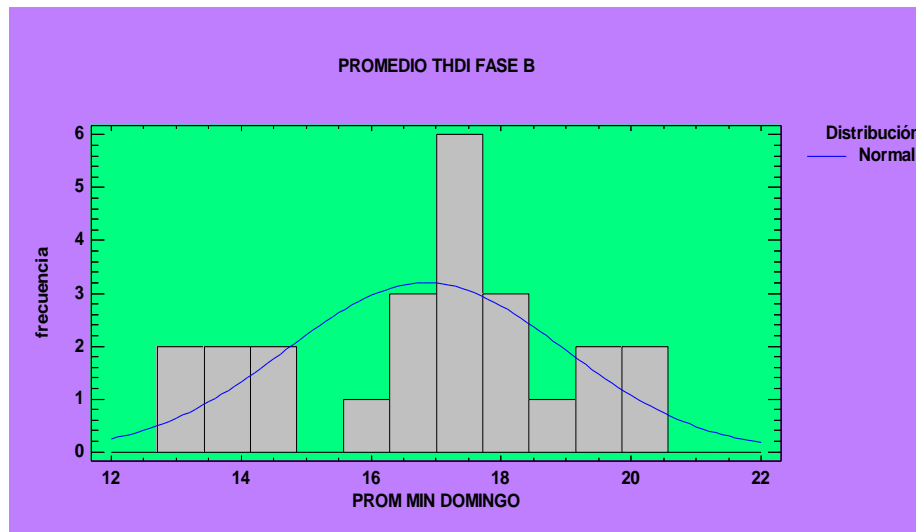
Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.115012
DMENOS	0.185977
DN	0.185977
Valor-P	0.381509

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.69644
Forma Modificada	0.69644
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MIN DOMINGO proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



ANEXO 17

AJUSTE DE DATOS NO CENSURADOS - PROMEDIO MÁXIMO DE LA THDI PARA TRANSFORMADORES SIN COCINAS DE INDUCCIÓN FASE B

Distribuciones Ajustadas

<i>Normal</i>
media = 17.5026
desviación estándar = 2.52265

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para PROM MÁX MARTES

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		14.8095	5	3.43	0.72
	14.8095	16.0749	1	3.43	1.72
	16.0749	17.0485	4	3.43	0.10
	17.0485	17.9567	5	3.43	0.72
	17.9567	18.9303	4	3.43	0.10
	18.9303	20.1957	1	3.43	1.72
mayor	20.1957		4	3.43	0.10

Chi-Cuadrada = 5.16667 con 4 g.l. Valor-P = 0.27062

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.140036
DMENOS	0.112469
DN	0.140036
Valor-P	0.734343

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0.474462
Forma Modificada	0.474462
Valor-P	>=0.10

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que PROM MÁX. MARTES proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

