

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA

CARACTERIZACIÓN DE ARMÓNICOS EN EL SISTEMA
NACIONAL INTERCONECTADO (SNI) A PARTIR DE
INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE ÁREA
EXTENDIDA (WAMS)

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

KAREN SOLEDAD CHUGÁ ORTIZ

karencitasoledad@hotmail.com

DIRECTOR: DR. CARLOS FABIAN GALLARDO QUINGATUÑA (Ph. D.)

carlos.gallardo@epn.edu.ec

CODIRECTOR: DR.-ING. JAIME CRISTÓBAL CEPEDA CAMPAÑA

jcepeda@cenace.org.ec

Quito, Mayo 2015

DECLARACIÓN

Yo, Karen Soledad Chugá Ortiz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Karen Soledad Chugá Ortiz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karen Soledad Chugá Ortiz, bajo mi supervisión.

Dr. Carlos Gallardo Quingatuña

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Jaime Cristóbal Cepeda

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de los años. A mi padre por todo el esfuerzo, dedicación y amor que me dio, el ejemplo de que uno es capaz de llegar muy lejos e inspirarme a ser cada día mejor. A mi madre por su amor, dulzura y ahora su gran esfuerzo y fortaleza para sacar adelante a una familia, por no dejarme caer y brindarme sus brazos siempre que los necesito. A mis hermanas Vannesa y Jocelyne porque a su manera han sabido darme el apoyo necesario para que hoy y todos los días tenga un sueño por el que luchar. A Jeshua que ha sido mi compañía permanente durante esta travesía universitaria. A toda mi familia por su cariño y apoyo incondicional. A mis amigos de la universidad que me mostraron el verdadero valor de la amistad y el compañerismo.

A la Corporación CENACE, en especial a la ID y la AADO por recibirme durante unos meses, brindarme todo el apoyo y la información necesaria para la realización de este trabajo.

Al Dr. Cepeda y al Dr. Carlos Gallardo por la apertura y colaboración en la realización este proyecto.

DEDICATORIA

A la persona que extraño, mi ejemplo de vida, el que me da la fuerza todos los días para sonreír, aquel que me enseñó que la vida es linda y solo hay que saber vivirla, a mi papí Gilberto Wilfrido Chugá Rosero.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	2
CERTIFICACIÓN	3
AGRADECIMIENTO	4
DEDICATORIA	5
CONTENIDO	6
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	14
RESUMEN	15
PRESENTACIÓN	16

CAPÍTULO I	1
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	3
CAPÍTULO II	5
2.1 CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS	5
2.1.1 EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO	5
2.1.2 CALIDAD DE LA ENERGÍA	9
2.1.3 Clasificación de perturbaciones en sistemas eléctricos	10
2.1.3.1 Clasificación según normas	10
2.1.3.1.1 IEC 1000-2-5 (1995)	10
2.1.3.1.2 IEEE 1159-(1995)	10
2.1.3.2 Perturbaciones	11
2.1.3.2.1 Desbalances de voltaje/corriente	12
2.1.3.2.2 Armónicos	12
2.1.3.2.3 Interarmónicos	13
2.1.3.2.4 Interrupciones, bajo voltaje y sobre voltaje	13
2.1.3.2.5 Transitorios	14
2.1.3.2.6 Disminuciones de voltaje Sag	15
2.1.3.2.7 Subidas de voltaje Swell	15
2.1.3.2.8 Flicker	15
2.1.3.2.9 Interrupciones (Outage)	16
2.1.4 Armónicos en el sep	16
2.1.4.1 Series de Fourier y Transformada de Fourier	17
2.1.4.1.1 Series de Fourier	17

2.1.4.1.2	<i>Transformada de Fourier</i>	18
2.1.4.1.3	<i>Transformada Discreta de Fourier (DFT)</i>	18
2.1.4.2	Tasa de Distorsión Armónica Total	21
2.1.4.3	Fuentes de Armónicos	22
2.1.4.3.1	<i>Convertidores estáticos de potencia</i>	23
2.1.4.3.2	<i>Magnetización lineal de transformadores</i>	23
2.1.4.3.3	<i>Maquinas rotativas</i>	24
2.1.4.3.4	<i>Dispositivos de arco</i>	24
2.1.4.3.5	<i>Inversores para Generación Dispersa</i>	24
2.1.4.3.6	<i>Reactores controlados por tiristores</i>	25
2.1.4.3.7	<i>Controladores de fase</i>	25
2.1.4.3.8	<i>Reguladores AC</i>	25
2.1.4.4	Efectos de los Armónicos	25
2.1.4.5	Medición de armónicos	27
2.2	SISTEMA DE MONITOREO DE ÁREA EXTENDIDA (WAMS)	27
2.2.1	Unidades de medición sincrofasorial (PMU)	28
2.2.1.1	PMU modelo Arbiter 1133	29
2.2.2	WAMS en Ecuador	31
	CAPÍTULO III	34
	3.1 MARCO METODOLÓGICO	34
	3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS	37
	3.3 ANÁLISIS UNIVARIANTE Y TIEMPO DE MUESTREO	42
3.3.1	MEDIA ARITMÉTICA	43
3.3.2	DESVIACIÓN TÍPICA	43
3.3.3	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	43
3.3.4	COEFICIENTE DE CURTOSIS	43
	3.4 VALIDACIÓN DE DATOS Y OUTLIERS	44
	3.5 ESTRUCTURACIÓN DE MATRICES DE SERIES DE DATOS	45

3.5.1	MATRIZ DE DATOS	45
3.5.2	PARAMETRIZACIÓN BASADA EN LA REGULACIÓN 003-08 CONELEC	46
3.5.2.1	Cálculo de la Corriente promedio de las demandas máximas del mes	48
3.5.2.2	Cálculo de la Corriente de cortocircuito trifásica mínima	48
3.6	ANÁLISIS MULTIVARIANTE	53
3.6.1	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)	54
3.6.1.1	Coordenadas Principales y Distancias	56
3.6.2	ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS [39]	59
3.6.3	ANÁLISIS DE CLUSTERING	61
3.6.3.1	Método de partición: Algoritmo Fuzzy c-means (FCM)	62
3.6.3.2	Método jerárquico: El Dendrograma	63
3.7	ANÁLISIS SEMANAL	64
3.8	ANÁLISIS DIARIO	66
3.9	ANÁLISIS MENSUAL	67
3.10	ANÁLISIS GEOGRÁFICO	70
CAPÍTULO IV		71
4.1	PREPARACIÓN DE DATOS	71
4.2	ANÁLISIS DESCRIPTIVO	75
4.3	DETECCIÓN DE ARMÓNICOS QUE SUPERAN LA NORMA	78
4.4	CARACTERIZACIÓN SEMANAL	80
4.5	CARACTERIZACIÓN DIARIA	92
4.5.1	LOJA-VILLONACO, TERCERA SEMANA DE AGOSTO	92
4.5.2	SALITRAL-ATR, PRIMERA SEMANA DE MAYO	97

4.6 CARACTERIZACIÓN MENSUAL	101
4.7 CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA	108
4.8 ANÁLISIS DE REPORTES DE WAPROTECTOR	117
CAPÍTULO VI	120
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.1 CONCLUSIONES	120
5.2 RECOMENDACIONES	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	130
ANEXO 1: MACROS EXCEL	130
ANEXO 2: PROGRAMACIÓN MS-DOS	132
ANEXO 3: PROGRAMA DETECCIÓN ARMÓNICOS	133
ANEXO 4: CARACTERIZACIÓN SEMANAL	136
ANEXO 5: CARACTERIZACIÓN DIARIA	162
ANEXO 6: CARACTERIZACIÓN MENSUAL	164
ANEXO 7: CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Capacidad máxima de generación instalada.....	6
Figura 2.2 Estructura de la Generación Bruta año 2013	7
Figura 2.3 Modelo del Sector Eléctrico ecuatoriano [14]	8
Figura 2.4 Desbalance trifásico	12
Figura 2.5 Sobrevoltaje [17]	14
Figura 2.6 Bajo voltaje [17].....	14
Figura 2.7 Transitorios impulsivos y oscilatorios [19].	14
Figura 2.8 Voltaje sag [17]	15
Figura 2.9 Voltaje swell [17]	15
Figura 2.10 Flicker causado por operación de horno de arco [17]	16
Figura 2.11 Descomposición Armónica.....	17
Figura 2.12 Espectro Armónico.....	20
Figura 2.13 Descomposición armónica	20
Figura 2.14 Señal original y reconstruida	21
Figura 2.15 Ubicación de las PMUs en el SNI.....	32
Figura 2.16 Modulo de calidad de energía, software WAProtector	33
Figura 3.1 Estructura Metodológica.....	35
Figura 3.2 Ventana Data Export (exportación de datos)	38
Figura 3.3 Ejemplo de modificación en el menú Data Export.....	39
Figura 3.4 Ventana para seleccionar los datos a descargar	39
Figura 3.5 Despliegue de una pestaña PQM-PMU	40
Figura 3.6 Cuadro de diálogo para creación de datos a exportar.....	41
Figura 3.7 Reporte de datos exportados de Unifusion	41
Figura 3.8 Ejemplo de salida de PMUs	44
Figura 3.9 Circuitos de componentes simétricas [46].....	49
Figura 3.10 Sistema con cortocircuito trifásico [46].....	50
Figura 3.11 Variaciones temporales de la corriente de cortocircuito [44]	50
Figura 3.12 Ventana de cálculo de corto circuitos.....	52
Figura 3.13 Metodología caracterización semanal.....	64
Figura 3.14 Metodología Caracterización Diaria	66
Figura 3.15 Metodología Caracterización Mensual	68

Figura 4.1 Ejemplo archivo tipo .CSV descargado de una PMU	72
Figura 4.2 Modo como se descargan los datos del PDC	72
Figura 4.3 Ejemplo documento descargado modificado.....	73
Figura 4.4 Almacenamiento de los archivos mensuales en una carpeta.....	74
Figura 4.5 Histograma armónico 3 (corriente).....	77
Figura 4.6 Histograma armónico 3 (voltaje).....	77
Figura 4.7 Histograma armónico 5 (corriente).....	78
Figura 4.8 Histograma armónico 5 (voltaje).....	78
Figura 4.9 Ejemplo Salida de resultados que superan la Norma.....	79
Figura 4.10 Clusters armónicos de corriente primera semana Agosto.....	81
Figura 4.11 Señales de armónicos de corriente en la semana. (a) armónico 5 (b) armónico 7.....	82
Figura 4.12 Clusters armónicos de voltaje primera semana agosto.....	83
Figura 4.13 Señales de armónicos de voltaje en la semana. (a) armónico3	84
Figura 4.14 Clusters armónicos de corriente segunda semana septiembre.....	85
Figura 4.15 Señales de armónico 5 de corriente en la semana	86
Figura 4.16 Datos donde existe caída brusca corriente	86
Figura 4.17 Clusters armónicos de voltaje segunda semana septiembre	87
Figura 4.18 Señales de armónico 5 de voltaje en la semana	88
Figura 4.19 Clusters armónicos de corriente segunda semana agosto.....	90
Figura 4.20 Señales de armónico 5 de corriente en la semana	90
Figura 4.21 Clusters armónicos de voltaje segunda semana agosto	91
Figura 4.22 Señales de armónico 5 de voltaje en la semana	91
Figura 4.23 Clusters por periodos del día de armónicos de corriente	92
Figura 4.24 Clusters en la señal del armónico cinco de corriente	93
Figura 4.25 Clusters por periodos del día armónicos de voltaje.....	95
Figura 4.26 Clusters en la señal del armónico cinco de voltaje.....	95
Figura 4.27 Clusters por periodos del día armónicos de corriente	97
Figura 4.28 Clusters en la señal del armónico cinco de corriente	98
Figura 4.29 Clusters por periodos del día armónicos de voltaje.....	99
Figura 4.30 Clusters en la señal del armónico cinco de voltaje.....	100
Figura 4.31 Caracterización mensual armónicos de voltaje septiembre Pomasqui-Jamondino (a) Tres clusters (b) Cuatro clusters.....	102

Figura 4.32 Caracterización mensual armónicos de corriente Salitral-ATR	103
Figura 4.33 Caracterización mensual armónicos de voltaje Quevedo-ATT.....	104
Figura 4.34 Caracterización mensual armónicos de corriente Pascuales-Electroquil.....	104
Figura 4.35 Clusters geográfico armónicos de corriente	109
Figura 4.36 Señales de armónicos de corriente de cada PMU en la semana (a) armónico5.....	110
Figura 4.37 PMUs agrupadas por áreas en base a armónicos de corriente	112
Figura 4.38 Clusters geográfico armónicos de voltaje.....	113
Figura 4.39 Señales de armónicos de corriente de cada PMU en la semana (a) armónico3.....	115
Figura 4.40 PMUs agrupadas por áreas en base a armónicos de voltaje	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de Perturbaciones IEC 1000-2-5 (1995) [18].....	10
Tabla 2.2. Clasificación de Perturbaciones IEEE 1159 (1995) [19].....	11
Tabla 2.3 Puntos de ubicación de las PMUs en el SNI	31
Tabla 3.1 Límites para contenido armónico de Voltaje [21].....	46
Tabla 3.2 Límites para contenido armónico de Corriente [21].....	46
Tabla 3.3 Valores para colocación de PMUs en Norma	52
Tabla 3.4 Caracterización semanal de un mes	68
Tabla 3.5 Tabla de Contingencia.....	69
Tabla 4.1 Análisis Univariante para determinar un tiempo de muestreo	75
Tabla 4.2 PMUs con problemas de armónicos.....	79
Tabla 4.3 Caracterización Semanal Pomasqui-Jamondino2 (armónicos de corriente).....	88
Tabla 4.4 Caracterización Semanal Pomasqui-Jamondino2 (armónicos de voltaje)	89
Tabla 4.5 Clusters para semana 2 de agosto PMU Loja-Villonaco	91
Tabla 4.6 Valores del dendrograma diario de corriente.....	93
Tabla 4.7 Resumen caracterización mensual armónicos de corriente	105
Tabla 4.8 Resumen caracterización mensual armónicos de voltaje.....	106
Tabla 4.9 Caracterización geográfica numerada armónicos de corriente	109
Tabla 4.10 Caracterización geográfica armónicos de corriente	111
Tabla 4.11 Caracterización geográfica numerada armónicos de voltaje	113
Tabla 4.12 Caracterización geográfica armónicos de voltaje	115
Tabla 4.13 Zonas de la Caracterización Geográfica	116
Tabla 4.14 Análisis datos WAProtector	118

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto realizar una caracterización de los armónicos del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador (SNI) usando como datos de entrada señales registradas en unidades de medición sincrofasorial (PMU), y la aplicación de análisis estadísticos univariante y multivariante, llevados a cabo mediante el software de simulación matemática MATLAB.

El análisis estadístico se lo realiza a fin de obtener el comportamiento de los armónicos en el sistema, permitiendo la formación de clusters por períodos y por zonas geográficas. Para la formación de los clusters es necesario obtener patrones que contengan las características propias de los datos adquiridos, y en base a similitudes entre ellos realizar las agrupaciones de los datos de armónicos.

Entre las técnicas que se propone aplicar está el Análisis de Componentes Principales destinada a la reducción de la gran dimensión de los datos originales debida a la gran cantidad de información disponible causada por los pequeños tiempos de muestreo que presenta un sistema de medición sincrofasorial, la cual debe ser procesada. Adicionalmente, se aplican técnicas de clustering tales como el algoritmo C-means difuso y el algoritmo jerárquico. Todas estas herramientas son catalogadas como técnicas de minería de datos.

PRESENTACIÓN

En el Capítulo 1, se da a conocer la introducción y justificación del proyecto, así como los objetivos general y específicos, seguido del alcance que tiene el trabajo de estudio.

En el Capítulo 2, se presenta la base conceptual para la realización del proyecto; una descripción del Sistema Eléctrico ecuatoriano y el SNI, el concepto de calidad de energía y las perturbaciones existentes en un sistema eléctrico. Se da un enfoque al tema de armónicos, las fuentes que los generan y los efectos que producen en el sistema. También se realiza una descripción de los sistemas de monitoreo de área extendida (WAMS) y del sistema WAMS instalado en el Ecuador, con un enfoque en la información de calidad de energía del software WAProtector.

El Capítulo 3 inicia describiendo las herramientas que van a ser utilizadas, posteriormente se explica la metodología que se aplica para cada uno de los análisis a realizar, y se implementan las herramientas previamente analizadas.

Los resultados que se obtienen de la aplicación de la metodología a los datos descargados del sistema WAMS de CENACE se muestran en el Capítulo 4, se realiza la caracterización de armónicos planteada en los objetivos.

Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llega luego de la realización del trabajo.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La ampliación de la generación y demanda en los sistemas de potencia modifican la forma en la que están estructurados haciéndolos cada vez más complejos [1]. El aumento de las cargas no lineales debido al desarrollo tecnológico de equipos y dispositivos electrónicos que generan una alta demanda, así como la diversificación de la matriz energética del Ecuador que da prioridad al uso de energías renovables no convencionales (como la eólica), son motivos de la complejidad del sistema de potencia [2][3]. A pesar que estos cambios generan desarrollo y dan mayor comodidad a las personas, pueden producir serios problemas de calidad de la energía [4].

El estudio de la rama de calidad de energía se ha vuelto uno de los principales temas a tratar en los sistemas eléctricos de potencia. La mayor cantidad de problemas de calidad de la energía se deben principalmente a los armónicos inyectados en el sistema, que alteran las señales de voltaje y corriente entregadas [5].

Sobre la base de lo mencionado, en el presente trabajo se plantea una metodología que permita caracterizar el comportamiento de los armónicos de corriente y voltaje a nivel de Transmisión. Para esto, se hace uso de los datos obtenidos en tiempo real a partir de las unidades de medición fasorial (PMUs) instaladas en las principales subestaciones del Sistema Nacional de Transmisión (SNT) y utilizando técnicas de minería de datos, se realiza la caracterización considerando tanto periodos de tiempo como ubicación geográfica.

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Al hablar de calidad de la energía se toma en cuenta que las señales de corriente y voltaje se mantengan cerca de la forma de onda sinusoidal pura [6]. Pero asumir que las señales son puramente sinusoidales es ideal; diariamente las señales

tomadas de los sistemas eléctricos de potencia muestran una onda sinusoidal pero no completamente pura, las distorsiones presentadas se deben a perturbaciones en el sistema, como los armónicos. La inyección de armónicos en los sistemas eléctricos origina diferentes efectos negativos tanto en el equipamiento del sistema de potencia, como en los equipos y dispositivos electrónicos de los usuarios del servicio eléctrico incluso llegando al daño permanente de los mismos [7]. Por este motivo se resalta la importancia de analizar el comportamiento de los armónicos en los sistemas de potencia. El presente trabajo se enfoca en determinar dicho comportamiento armónico en el SNI, detectar problemas que presente el sistema, las horas en las cuales las distorsiones son significativas y las zonas donde están ubicados; de esta forma se logra una caracterización completa de los armónicos del sistema.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los armónicos del Sistema Nacional Interconectado en base al análisis estadístico de la información que se obtiene a través del Sistema de Monitoreo de Área Extendida (WAMS) del Operador Nacional de Electricidad CENACE, para detectar los problemas existentes en el sistema; además realizar la caracterización geográfica y analizar el comportamiento en varios períodos de tiempo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una descripción teórica de calidad de energía y de las diferentes perturbaciones que existen en un sistema eléctrico de potencia, dando énfasis al problema de la distorsión armónica, sus principales fuentes de generación y los diferentes efectos que producen en el sistema.

- Presentar la base conceptual del Sistema de Monitoreo de Área Extendida implementado en el CENACE puntualizando la aplicación en calidad de la energía.
- Estructurar una metodología de análisis estadístico de los armónicos del sistema, mediante un software computacional para obtener y evaluar valores significativos en el cambio de armónicos diariamente, semanalmente y mensualmente.
- Analizar la información de armónicos del sistema WAMS, mediante la comparación con lo establecido por la Regulación 003-08 “Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado” emitida por el ex Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), actual Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), y en base a los valores obtenidos estadísticamente.
- Validar la información que entrega el software WAProtector de todas las Unidades de Medición Fasorial (PMUs) instaladas en el SNI con los resultados que se obtienen en la realización de cálculos matemáticos, para certificar la información que entrega dicho software.

1.3 ALCANCE

En el presente proyecto se realiza la extracción de datos de armónicos de varios períodos de tiempo del software WAProtector para cada PMU instalada en el SNI. El estudio se basa en un análisis estadístico multivariante el cual permite conocer el comportamiento de los armónicos en el sistema. Para el análisis se toma como referencia la regulación que rige en el Ecuador No CONELEC 003/08 sobre la “Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado”, y la norma IEEE Standard 519-1992 “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”.

Una vez obtenida la información estadística, se procede a realizar un análisis periódico así como la caracterización geográfica de los armónicos en el país.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

El capítulo inicia con una descripción de los sistemas eléctricos de potencia y los aspectos considerados en la calidad de energía. A continuación se presentan conceptos de las perturbaciones en el SEP dando prioridad a las perturbaciones armónicas; para eso se desarrolla la teoría de armónicos, las fuentes que los generan y los efectos que producen en el sistema. Además, se presenta una descripción de los sistemas WAMS con un enfoque en la información de calidad de la energía del software WAProtector obtenida a través del PMU Arbiter 1133A Power Sentinel.

2.1 CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

2.1.1 EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO

Un sistema eléctrico de potencia (SEP) está constituido por la generación y el transporte de energía eléctrica. El transporte abarca los sistemas de transmisión, subtransmisión y distribución [8]. En el Ecuador al sistema de energía eléctrica se denomina Sistema Nacional Interconectado (SNI). El parque generador del Ecuador consta de 34 centrales hidroeléctricas, 45 centrales termoeléctricas y un parque de energías renovables no convencionales que cuenta con 7 centrales (fotovoltaico y eólico). En la Figura 2.1 se muestra como está distribuida la capacidad máxima del parque generador del país [9]. Con el cambio de la matriz energética del país, el uso de la energía renovable no convencional se ha convertido en un punto importante tratado en el Plan de Maestro de Electrificación 2013-2022.

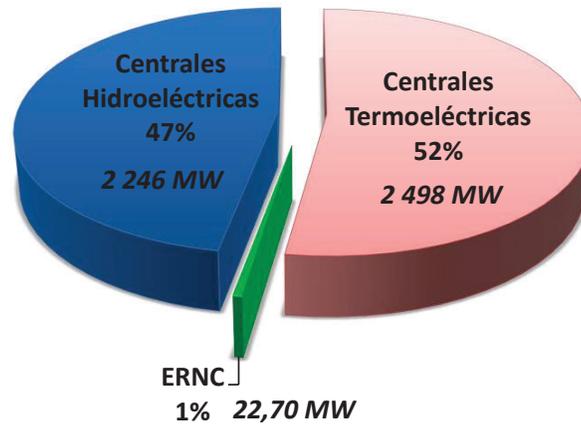


Figura 2.1 Capacidad máxima de generación instalada

El sistema nacional de transmisión (SNT) es responsabilidad de la Empresa Pública Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP, mediante la unidad de negocio TRANSELECTRIC. Cuenta con 39 subestaciones, las cuales en su mayoría tienen la configuración doble barra principal a 230 kV y la configuración de barra principal y transferencia para los niveles de 138 kV y 69 kV. Las líneas de transmisión cuentan con circuitos simples y doble circuito, en los rangos de 230 kV, 138 kV y 69 kV. Las líneas de 230 kV forman el anillo de transmisión, por medio del cual se conectan los principales centros de generación con los grandes centros de consumo. El Ecuador cuenta con interconexiones eléctricas con Colombia y Perú. Las líneas que interconectan al país con Colombia son 2 de 230 kV doble circuito y una línea de 230 kV con Perú. A futuro se prevé la nueva línea de transmisión a 500 kV que viabilizará el sistema de interconexión regional [3].

El sistema de distribución ecuatoriano cuenta con 9 empresas eléctricas privadas y la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP que está constituida por 11 unidades de negocio [3]. Entre empresas y unidades de negocio, para el año 2013 se dio que las empresas más grandes y con mayor demanda de energía fueron la E.E. Pública de Guayaquil con el 26,18% y la E.E. Quito con el 20,43% de una demanda anual total de 19 458,95 GWh [10]. En el 2014 la E.E. Pública de Guayaquil pasa a ser la Unidad de Negocio Guayaquil de CNEL EP.

Para el año 2013 se tuvo una demanda máxima de potencia de 3 327,39 MW. En cuanto a las exportaciones se tuvo un valor de 28,50 GWh mediante la interconexión con Colombia y la energía importada fue de 662,34 GWh. La producción bruta de energía para este año fue de 20 463,87 GWh [10], que se distribuyó como se muestra en la Figura 2.2.

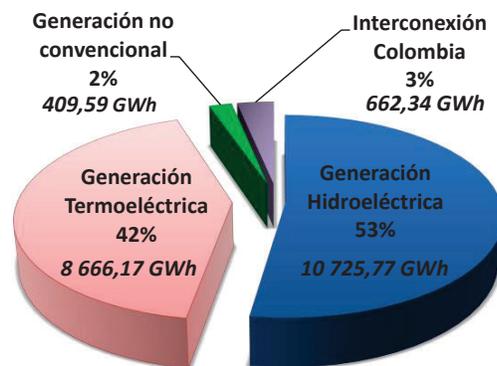


Figura 2.2 Estructura de la Generación Bruta año 2013

Actualmente el sector eléctrico ecuatoriano se encuentra atravesando una transición, ya que el Estado ecuatoriano lo ha considerado como uno de los ejes fundamentales para el desarrollo del país. Dicha transición está encaminada hacia las metas del Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013, por lo que en el 2008 se inició el cambio mediante normativas [11] [12][13] con las cuales actualmente se tiene un nuevo modelo del sector eléctrico.

Dentro de la nueva normativa, el cambio más importante ha sido la promulgación de la nueva ley del sector eléctrico. A este respecto, la Asamblea Nacional, mediante publicación en el Registro Oficial Suplemento Nro. 418 de 16 de enero de 2015, expidió la **Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica**, en cuyo artículo 1, establece que la ley tiene por objeto garantizar que el servicio de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, para lo cual la ley norma el ejercicio de la responsabilidad del Estado de planificar, ejecutar, regular, controlar y administrar el servicio de energía

eléctrica. El artículo 7 de la citada Ley, señala que es deber y responsabilidad privativa del Estado, a través del Gobierno Central, satisfacer las necesidades del servicio público de energía eléctrica y alumbrado público general del país, mediante el aprovechamiento eficiente de sus recursos, de conformidad con el Plan Nacional de Desarrollo, el Plan Maestro de Electricidad, y los demás planes sectoriales que fueren aplicables.

Con esta nueva normativa, el sector eléctrico está organizado como se indica en la Figura 2.3

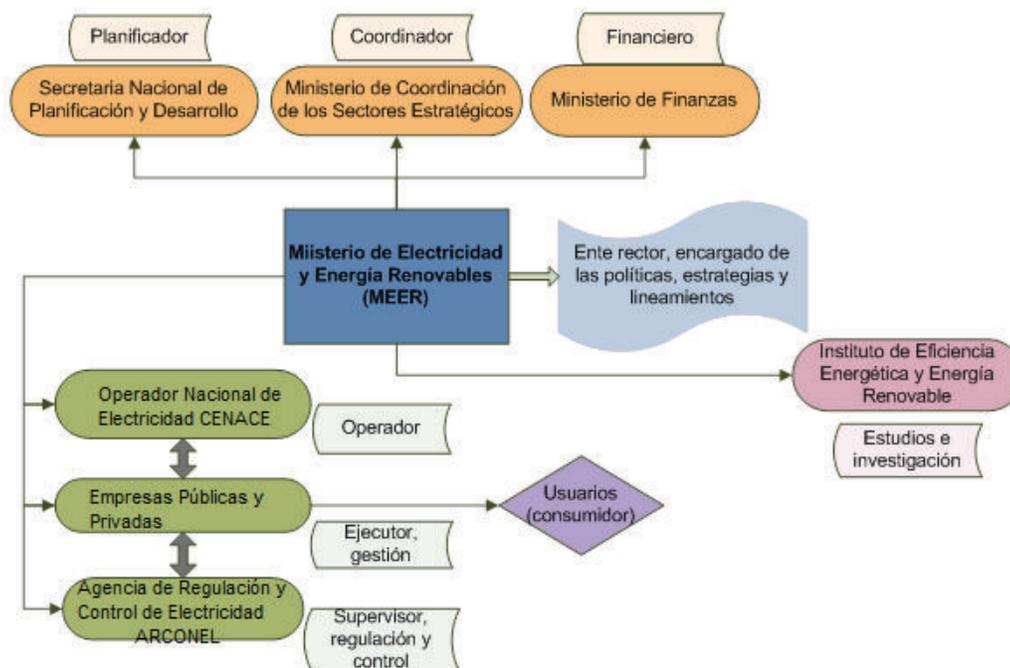


Figura 2.3 Modelo del Sector Eléctrico ecuatoriano [14]

El Plan Nacional del Buen Vivir fomenta la calidad de los servicios públicos, entre estos los relacionados con energía y comunicación [3]. Por esta razón se ha impulsado la transformación de la matriz energética, dando mayor participación a la energía limpia y renovable para la producción de energía eléctrica. También se impulsa el uso eficiente y responsable de la energía; mejorar el SEP con la reducción de las pérdidas de generación y distribución de energía. Para poder

cumplir con los lineamientos del Buen Vivir, en cuanto a materia de energía, actualmente se están desarrollando 8 proyectos emblemáticos para el país, los cuales permitirán duplicar la capacidad existente en hidroelectricidad. Aparte de la seguridad energética que traen consigo los proyectos, también brindan una sostenibilidad ambiental.

El modelo de gestión trata de brindar una energía de mejor calidad a los usuarios, para ello es necesario que la calidad de la energía eléctrica durante todos los procesos (desde la generación hasta el lugar de consumo) sea lo más alta posible [15].

2.1.2 CALIDAD DE LA ENERGÍA

El término “calidad de la energía” en los últimos años ha captado la atención de la ingeniería eléctrica. Este fenómeno se presenta con más intensidad en los países industrializados y en desarrollo, los que tienen una creciente demanda de nuevas tecnologías y un incremento significativo de la población, lo que conlleva a tener más generación de energía eléctrica y una de las alternativas más empleadas es la energía limpia y renovable [1][6][7].

Al mencionar calidad de la energía se hace referencia a la pureza de la onda sinusoidal de las señales de voltaje y corriente entregadas por el sistema, es decir, se espera que la onda se mantenga lo más cercana posible a la onda sinusoidal pura [1][16]. A este respecto, varias normas han sido elaboradas por organizaciones técnicas internacionales, las cuales se han dedicado al estudio de las perturbaciones en los sistemas eléctricos [1][17]. Los aportes de estándares más utilizados son los dados por la IEEE, ANSI e IEC, sus directrices son de mucha ayuda en la práctica para el estudio de la calidad de energía.

Al hacer un estudio de calidad de energía se tiene una amplia gama de análisis relacionados, por ejemplo las fuentes, los efectos, las soluciones que se pueden dar a los problemas de calidad de energía.

A continuación se muestra la clasificación de las perturbaciones en los sistemas eléctricos que generan problemas de calidad de energía.

2.1.3 CLASIFICACIÓN DE PERTURBACIONES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Las perturbaciones en los sistemas eléctricos dependen de la amplitud y frecuencia o de las dos conjuntamente. También pueden depender de la duración y el espectro de la tensión. Aunque las normas tienen sus propias clasificaciones dependiendo de los parámetros mencionados, las perturbaciones siguen siendo las mismas [17].

2.1.3.1 Clasificación según normas

2.1.3.1.1 IEC 1000-2-5 (1995)

Esta normativa toma en cuenta si la perturbación es de baja o alta frecuencia, y si la perturbación es radiada o conducida (depende del medio en el que ocurren) [17]. La Tabla 2.1 muestra la clasificación:

Tabla 2.1. Clasificación de Perturbaciones IEC 1000-2-5 (1995) [18]

	Conducidos	Radiados
Fenómenos de baja frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> • Armónicos e interarmónicos • Transmisión de señales en la red • Fluctuaciones de tensión • Disminuciones de tensión (dips) e interrupciones cortas • Desbalance de tensión • Variaciones de frecuencia • Tensiones de baja frecuencia inducidos • Componentes de CC en redes de CA (dc offset) 	<ul style="list-style-type: none"> • Campos magnéticos • Campos eléctricos
Fenómenos de alta frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> • Tensiones o corrientes inducidas (continuos) • Transitorios unidireccionales • Transitorios oscilatorios 	<ul style="list-style-type: none"> • Campos magnéticos • Campos eléctricos • Campos electromagnéticos (continuos y transitorios)
Fenómenos de descarga electrostática Pulsos electromagnéticos nucleares		

2.1.3.1.2 IEEE 1159-(1995)

La Tabla 2.2 indica la clasificación de acuerdo a este estándar.

Tabla 2.2. Clasificación de Perturbaciones IEEE 1159 (1995) [19]

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios 1.1 Impulsos 1.1.1 Nanosegundos 1.1.2 Microsegundos 1.1.3 Milisegundos 1.2 Oscilatorios 1.2.1 Baja Frecuencia 1.2.2 Frecuencia Media 1.2.3 Alta Frecuencia	5 ns (rise) 1 μ s (rise) 0.1 ms (rise) <5 kHz 5-500 kHz 0,5-5 MHz	<50 ns 50 ns - 1 ms >1 ms 0,3 -50 ms 20 μ s 5 μ s	 0-4 pu 0-8 pu 0-4 pu
2.0 Variaciones de Corta duración 2.1 Instantáneas 2.1.1 Sag 2.1.2 Swell 2.2 Momentáneas 2.2.1 Interrupción 2.2.2 Sag 2.2.3 Swell 2.3 Temporal 2.3.1 Interrupción 2.3.1 Sag 2.3.2 Swell		0,5 – 30 ciclos 0,5 – 30 ciclos 0,5 ciclos – 3 s 30 ciclos – 3 s 30 ciclos – 3 s 3s – 1 min 3s – 1 min 3s – 1 min	 0,1 – 0,9 pu 1,1 – 1,8 pu <0,1 pu 0,1 – 0,9 pu 1,1 – 1,4 pu <0,1 pu 0,1 – 0,9 pu 1,1 – 1,2 pu
3.0 Variaciones de Larga duración 3.1 Interrupción sostenida 3.2 Bajo voltaje 3.2. Sobrevoltaje		>1 min >1 min >1 min	0,0 pu 0,8 – 0,9 pu 1,1-1,2 pu
4.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	0,5% - 2%
5.0 Distorsión de forma de onda 5.1 Offset de CC (dc offset) 5.2 Armónicos 5.3 Interarmónicos 5.4 Muecas (notching) 5.5 Ruido (noise)	0-100th Hz 0-6 kHz Banda Amplia	Estado Estable Estado Estable Estado Estable Estado Estable Estado Estable	0 – 0,1% 0 – 20% 0 – 2% 0 – 1%
6.0 Fluctuaciones de voltaje	<25 Hz	Intermitente	0,1 – 7%
7.0 Variaciones de frecuencia		<10 s	

2.1.3.2 Perturbaciones

Las perturbaciones que provocan la disminución de la calidad de energía pueden encontrarse en la carga conectada al sistema, en los equipos y componentes de la generación, así como en los subsistemas de transmisión y distribución [1]. A continuación se detallan algunas de las perturbaciones más importantes que provocan la degradación de la calidad de energía.

2.1.3.2.1 *Desbalances de voltaje/corriente*

También se le conoce como desbalances de voltaje. Es un fenómeno que aparece en los sistemas trifásicos, aparece cuando existen desviaciones en magnitud de voltaje o corriente (o los dos simultáneamente) en el sistema trifásico y la diferencia de fases no es exactamente 120° [1][17][20]. Al existir un desequilibrio en el sistema se producen componentes de secuencia, estas componentes son las que se evalúan para determinar el desbalance del sistema. El desbalance se lo puede calcular dividiendo la máxima desviación del promedio de las tres fases de voltajes o corrientes, por el promedio de los voltajes o corrientes de las tres fases [1]. La Figura 2.4 muestra un desbalance trifásico de voltaje.

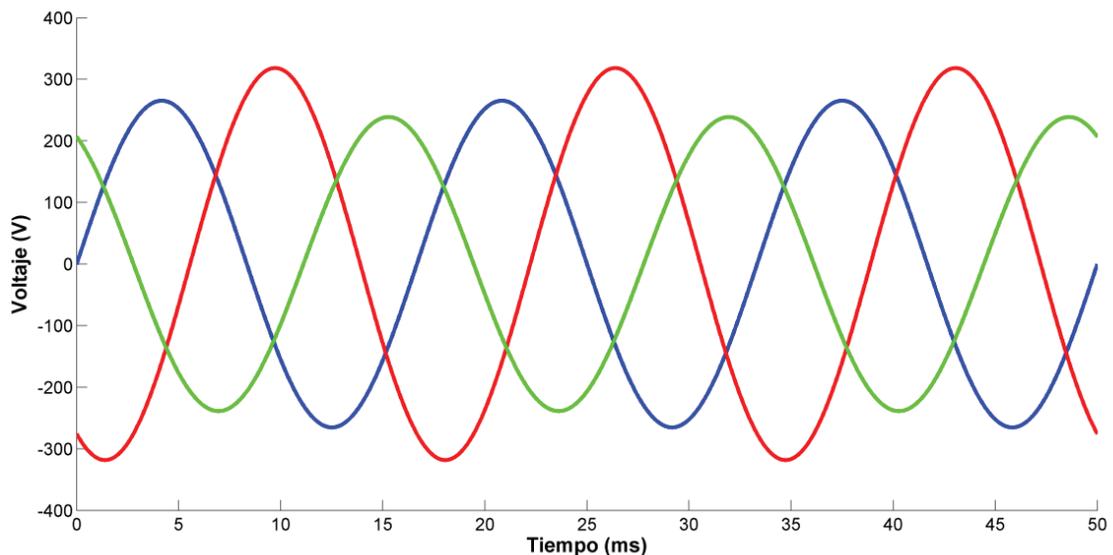


Figura 2.4 Desbalance trifásico

2.1.3.2.2 *Armónicos*

Los armónicos son alteraciones en la forma de onda, cuyas componentes sinusoidales tienen frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental en las señales de corriente y voltaje [1][21]. Este tema se lo desarrolla a fondo posteriormente.

2.1.3.2.3 *Interarmónicos*

A menudo las formas de onda además de los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, contienen distorsiones que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, a estas distorsiones se les denomina interarmónicos [1]. Puede presentarse como frecuencias discretas o espectro continuo de frecuencias [22]. Estos problemas se pueden presentar debido a cambios bruscos de la corriente en las cargas conectadas al sistema o por efecto de conmutación asincrónica de dispositivos semiconductores en convertidores estáticos [17][23]. Este tipo de perturbaciones se pueden generar tanto en baja tensión, como en media y alta tensión [17].

2.1.3.2.4 *Interrupciones, bajo voltaje y sobre voltaje*

En un sistema de potencia, las interrupciones son eventos que ocurren cuando el voltaje de alimentación o la corriente de carga es menor que 0,1 pu. Las interrupciones pueden ocurrir para un corto o mediano o largo período de tiempo. La norma IEEE-1250 las clasifica en instantáneas (0,5-30 ciclos), momentáneas (30 ciclos- 2 segundos), temporales (2 segundos- 2 minutos) y sostenidas (más de 2 minutos). El bajo voltaje y sobre voltaje son caídas o aumentos de los niveles de voltaje tomando como referencia los estándares de voltaje establecidos. Se puede tolerar hasta ciertos valores el bajo y sobre voltaje, pero si superan los límites pasan a ser perturbaciones. Se considera bajo voltaje si la reducción del voltaje rms está entre 0,8-0,9 pu por más de un minuto. Para el sobrevoltaje el incremento del voltaje rms debe estar entre 1,1-1,2 pu por más de un minuto [1].

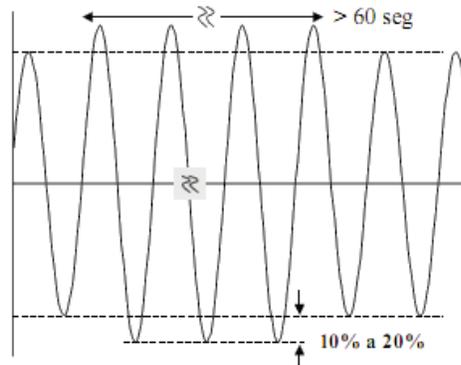


Figura 2.5 Sobrevoltaje [17]

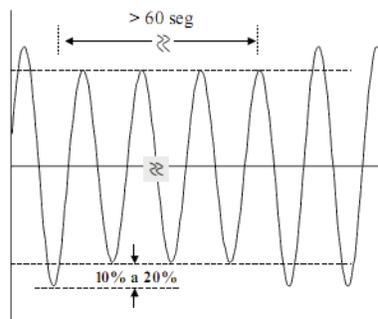


Figura 2.6 Bajo voltaje [17]

2.1.3.2.5 *Transitorios*

Son cambios repentinos en las señales debido al alto aumento de voltaje y corriente en un corto período de tiempo. Pueden generarse dentro del sistema o haberse propagado de otros sistemas externos. Ocurren durante la transición de un sistema estable a otro sistema estable [1]. Se los puede clasificar en dos grupos: transitorios impulsivos y transitorios oscilatorios [19].

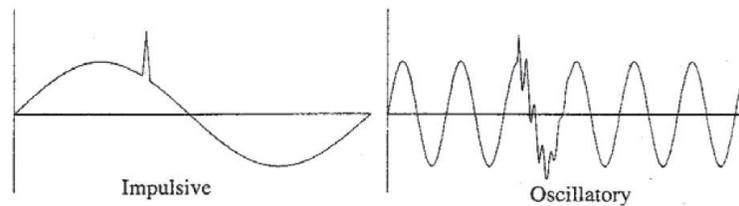


Figura 2.7 Transitorios impulsivos y oscilatorios [19].

2.1.3.2.6 Disminuciones de voltaje Sag

Cuando existe una caída del voltaje rms o depresión del mismo de corta duración se habla de sag, también se le conoce como dip (según IEC) o huecos. Esta depresión se encuentra entre 0,1 y 0,9 pu de la magnitud del voltaje. La duración de estas perturbaciones oscila en 0.5 ciclos y un minuto [1][17].

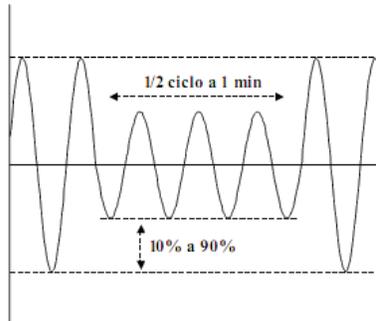


Figura 2.8 Voltaje sag [17]

2.1.3.2.7 Subidas de voltaje Swell

Al igual que el voltaje sag, este tipo de perturbaciones es de corta duración (número de ciclos entre 0,5 a 1 minuto), pero la diferencia es que en lugar de darse una depresión del voltaje rms, se produce un incremento el cual se encuentra entre 1,1 y 1,8 pu la magnitud del voltaje [1].

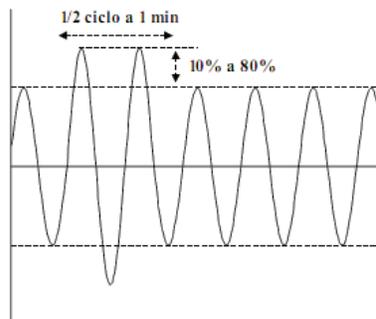


Figura 2.9 Voltaje swell [17]

2.1.3.2.8 Flicker

Es un tipo de fluctuación de voltaje; visiblemente se lo aprecia como un titileo (en las lámparas, por lo que usualmente este término se asocia con tecnología de

iluminación) [1][17]. Se puede referir a las “variaciones continuas y rápidas en la magnitud de la corriente de carga que provoca variaciones de voltaje” [24]. Una de las mayores fuentes de generación de flickers son los hornos de arco [17].

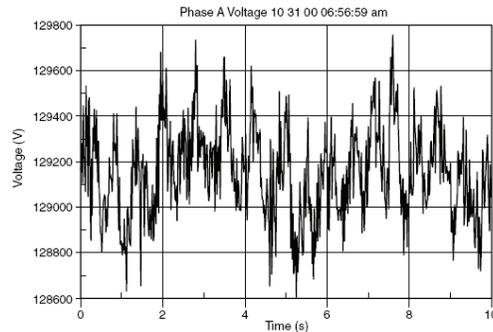


Figura 2.10 Flicker causado por operación de horno de arco [17]

2.1.3.2.9 Interrupciones (Outage)

Es un tipo de interrupción especial la cual no excede 60 segundos de duración por falla o mal funcionamiento en el switcheo del sistema [1].

2.1.4 ARMÓNICOS EN EL SEP

Cuando se hace referencia a desviaciones en las ondas sinusoidales puras de corriente y voltaje, se asocia automáticamente a los armónicos y estos a su vez a las series de Fourier [25]. Un armónico constituye “una componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que posee una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental” [21]. El matemático y físico francés Jean-Baptiste Joseph Fourier define una de las técnicas para explicar el análisis de las señales sinusoidales, afirmando que “cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia” [26].

A manera ilustrativa, en la Figura 2.11 se muestra la onda sinusoidal pura, el armónico cinco (frecuencia quíntuple de la frecuencia fundamental) y la onda distorsionada resultante.

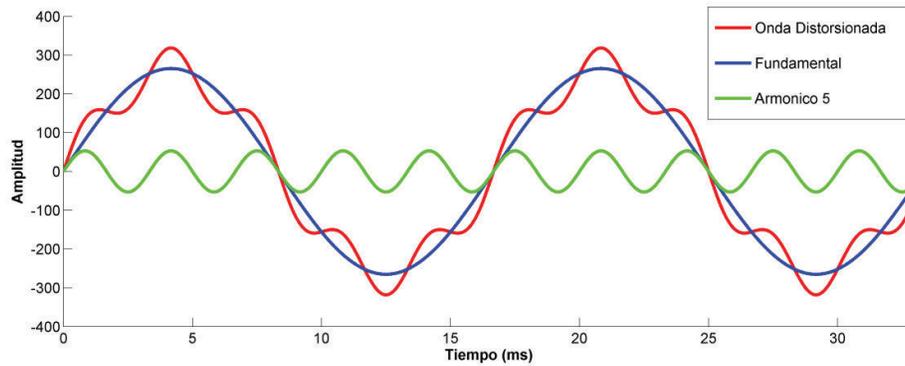


Figura 2.11 Descomposición Armónica

2.1.4.1 Series de Fourier y Transformada de Fourier

2.1.4.1.1 Series de Fourier

El objetivo de las series de Fourier “es la descomposición de una señal periódica en términos de señales periódicas básicas (senos y cosenos) cuyas frecuencias son múltiplos de la señal original” [15], usando herramientas de procesamiento de señales. Para la reconstrucción de las señales se utiliza un número específico de funciones ortogonales. Siendo $x(t)$ una función periódica de t con un periodo T , puede ser expresada como una serie de Fourier, como se muestra en (2.1).

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (2.1)$$

donde las constantes a_0 , a_k y b_k vienen dadas por:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} x(t) dt \quad (2.2)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.4)$$

Si se considera el coeficiente c_k y el ángulo ϕ , donde:

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (2.5)$$

$$\phi_k = -\arctan\left(\frac{b_k}{a_k}\right) \quad (2.6)$$

Entonces se puede representar a la serie de Fourier como se muestra en la siguiente ecuación:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(2\pi kft + \phi_k) \quad (2.7)$$

2.1.4.1.2 Transformada de Fourier

Para cambiar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia es usada la Transformada de Fourier. Estos dominios tiempo - frecuencia tienen correspondencia entre sí [20]. La ecuación de la transformada de Fourier de una función continua $x(t)$ es definida por:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.8)$$

La transformada inversa de Fourier se escribe a continuación.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df \quad (2.9)$$

La limitación de este método de transformada es el manejo de señales discontinuas o discretas, para este tipo de señales una herramienta útil es la Transformada Discreta de Fourier (DFT) [1].

2.1.4.1.3 Transformada Discreta de Fourier (DFT)

La mayoría de medidas de los parámetros eléctricos son señales en formas discretas [1]. Por esta razón se necesita una herramienta capaz de calcular la transformada de Fourier $X(f)$ de unas pocas muestras que pertenecen a una señal específica $x(t)$, para intervalos discretos. Dichos intervalos discretos están en el dominio de la frecuencia cuando la señal se muestrea en puntos discretos en el dominio del tiempo. Es usada para el análisis espectral de series de Fourier

[27]. A la transformada de Fourier se la modifica como una transformada Discreta de Fourier [1].

Si se tiene la función periódica $x(t)$ con periodo T_0 , y N muestras: $x(k\Delta T)$, $k=0,1,2,\dots, N-1$, donde ΔT es el intervalo de muestreo; entonces $T_0 = N\Delta T$. Con la consideraciones anteriores, la transformada de Fourier $X(f)$ tiene solo N diferentes valores que corresponden a las frecuencias $f = \frac{n}{T_0}$, donde $0 \leq n \leq N/2$ (si N es un número par). Si se considera N muestras y ΔT intervalos de muestreo se define la DFT de la siguiente manera [27]:

$$X\left(\frac{n}{T_0}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta T) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad n=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \frac{N}{2} \quad (2.10)$$

Se pueden calcular los coeficientes de la series de Fourier de una función periódica mediante la DFT de los datos muestreados. Para esto se divide la DFT correspondiente a la frecuencia de interés para N [27]. Debido a que cada frecuencia siempre aparece en dos posiciones ($\pm n$), los coeficientes de la serie de Fourier son:

$$c_n = \frac{2}{N} X\left(\frac{n}{T_0}\right) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta T) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad n=0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad (2.11)$$

A continuación se muestra un ejemplo de la señal de corriente a la salida del rectificador AC de un HVDC de 12 pulsos, simulado en Simulink MatLab, a la cual se le realiza la descomposición en sus coeficientes de Fourier utilizando la DFT. La señal es muestreada con una tasa de 20 kHz $\Rightarrow \Delta T = 5 \times 10^{-5}$ s, $N = 334$ y $T_0 = 1/60$ s.

El espectro armónico de la señal se lo muestra en la Figura 2.12. El número de armónicos resultantes va a ser $N/2 + 1$ en el ejemplo el valor es 168, para poder observar los más influyentes se considera los armónicos que superen el 1% de la fundamental, dichos armónicos son los que se muestran en el espectro.

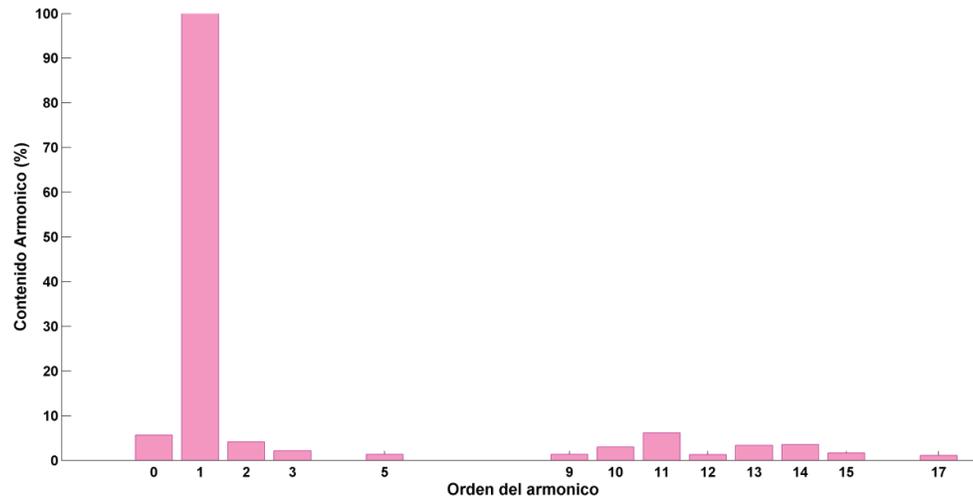


Figura 2.12 Espectro Armónico

En la Figura 2.13 se pueden ver algunos de los armónicos en los que se descompone la señal, a continuación en la Figura 2.14 se muestra la señal original y sobrepuesta la señal reconstruida con los armónicos mostrados en el espectro de la Figura 2.12 obtenidos mediante la DFT.

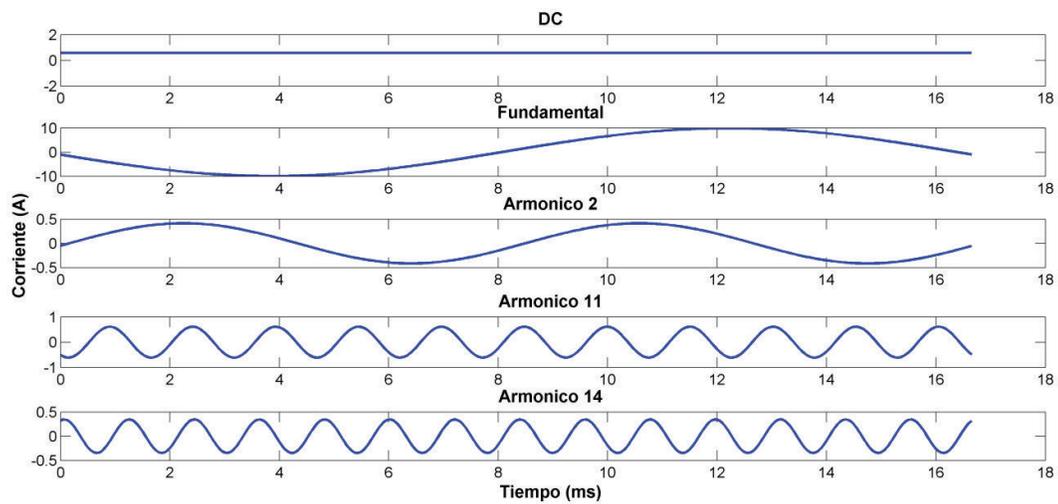


Figura 2.13 Descomposición armónica

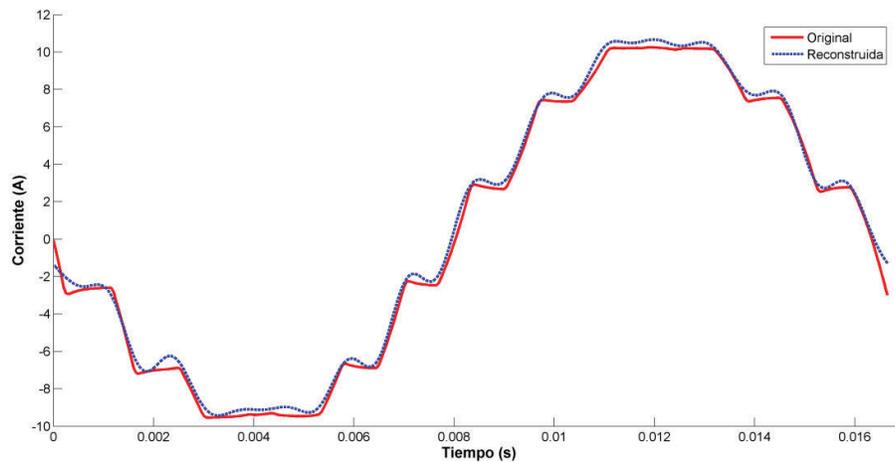


Figura 2.14 Señal original y reconstruida

Observando la Figura 2.14, las dos señales son similares pero no son idénticas, debido a que la reconstrucción no se la realizó con todos los armónicos. En (2.7) se ve que el número de términos de la sumatoria para la serie de Fourier es infinito, entre mayor sea el número de armónicos tomados más se va a parecer la señal reconstruida a la original.

2.1.4.2 Tasa de Distorsión Armónica Total

Al referirse a los armónicos y al estudio de los mismos, un término importante, y que algunas normas toman como base para determinar límites adecuados que el sistema puede soportar, es la distorsión armónica total (THD) [25]. Se denomina THD a la medida porcentual del contenido armónico referenciado a la frecuencia fundamental [26].

$$THD\%(I) = 100 * \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.12)$$

$$THD\%(V) = 100 * \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.13)$$

Para calcular I_n se usa la amplitud del armónico como se muestra en (2.14), y de la misma manera se lo hace con el voltaje.

$$I_n = \frac{C_n}{\sqrt{2}} \quad (2.14)$$

Otro valor que la norma [21] toma en cuenta en calidad de la energía es el *TDD* (*Factor de Distorsión Total de la Demanda*), el cual viene dado por:

$$TDD = THD(I) \times CMD / CNC \quad (2.15)$$

Donde:

CMD es la corriente promedio de las demandas máximas registradas en el mes . También se la denominará I_c [16].

CNC es la corriente nominal del circuito en el punto de conexión[16].

2.1.4.3 Fuentes de Armónicos

El desarrollo de equipos basados en electrónica de potencia, el cambio tecnológico y las cargas no lineales, así como el aumento de fuentes de generación no convencionales, han introducido varias fuentes generadoras de armónicos [6]. Dichas fuentes pueden encontrarse tanto en la red de suministro como en las cargas conectadas al sistema. Los dispositivos electromagnéticos de la red (generación, transmisión y distribución) así como las aplicaciones con semiconductores (cargas no lineales) actúan como fuentes de armónicos [17]. El uso de cargas no lineales se limitaba al uso de equipos como lámparas fluorescentes y hornos de arco, pero en la actualidad las aplicaciones de elementos de estado sólido (diodos, tiristores, IGBT, etc.) ocupan un gran porcentaje de las cargas no lineales usadas diariamente en la industria, oficinas, alumbrado y a nivel residencial en los equipos electrónicos [2]. Al existir cargas no lineales en un sistema de potencia, la forma de onda de la corriente de alimentación AC es perturbada cambiando su naturaleza, a la vez que producen caídas de voltaje AC, dando lugar a un flujo de corrientes armónicas [21]. Entre las principales fuentes se tienen [1] [17][21]:

- Convertidores estáticos de potencia
- Magnetización no lineal de transformadores

- Máquinas rotativas
- Dispositivos de arco (hornos de arco)
- Inversores para generación dispersa
- Reactores controlados por tiristores
- Controladores de fase
- Reguladores AC

2.1.4.3.1 *Convertidores estáticos de potencia*

En la industria se puede encontrar una gran cantidad de convertidores estáticos de potencia, los cuales constituyen la mayor cantidad de carga no lineal de la red. Sus usos son variados, como ejemplo fuentes de alimentación electromecánicas y variadores de velocidad. El uso de los convertidores se ha vuelto una parte importante en el desarrollo tecnológico debido a que son capaces de cambiar corrientes AC a DC, DC a DC, DC a AC y AC a AC, lo cual permite tener un control más versátil de la maquinaria y equipos [21]. Dependiendo del tipo de operación y conversión que realice el elemento va a ser el orden del armónico inyectado a la red [17]. Más adelante se detallan algunos de estos convertidores como los inversores.

2.1.4.3.2 *Magnetización lineal de transformadores*

En los transformadores se pueden encontrar características de los materiales magnéticos, las cuales son no lineales y son la principal razón para la formación de armónicos durante la excitación. La excitación normal de los transformadores es no sinusoidal, una de las causas es la secuencia cero la cual produce armónicos múltiplos de tres, principalmente el tercer armónico el cual está presente en la corriente de excitación. Si se desea aumentar el voltaje se aumenta la densidad de flujo de magnético en el núcleo; esto provoca una saturación considerable de la corriente magnetizante (sobre excitación simétrica) generando todos los armónicos impares. Otras fuentes de armónicos en los transformadores son: la corriente de inrush, que genera armónicos de segundo orden, y la magnetización DC, que genera armónicos pares e impares [1].

2.1.4.3.3 *Maquinas rotativas*

La generación de armónicos debido al funcionamiento de máquinas rotativas se debe a varias causas, por ejemplo: la distribución no uniforme de flujo en el entre hierro, la desalineación del rotor en cada ciclo de rotación, la no linealidad magnética de los materiales del núcleo, saliencia del rotor y dispositivos fuera de la máquina como los inversores que alimentan a los dispositivos de ajuste de velocidad en motores [1][2].

2.1.4.3.4 *Dispositivos de arco*

Las características del voltaje contra la corriente de un arco eléctrico en un dispositivo de arco son altamente no lineales. Entre los dispositivos de arco se encuentran los hornos de arco, soldadores de arco e iluminación tipo descarga [1].

Los *hornos de arco* funden irregularmente, lo que provoca cambios en su resistencia, la variación ciclo a ciclo del arco se da cada que se produce un nuevo trozo de acero; de esta manera se genera una corriente no periódica con espectro continuo de armónicos e interarmónicos. Las frecuencias armónicas predominantes durante este proceso van desde la segunda hasta la séptima [17][21].

Las *lámparas fluorescentes con balasto convencional* producen armónicos de baja frecuencia principalmente el tercero, debido al comportamiento no lineal del arco y la característica no lineal del inductor. En cambio, las *lámparas fluorescentes con balasto electrónico* usan la electrónica de potencia (inversores, filtros, rectificadores) que operan en alta frecuencia, por lo que los armónicos generados también son de alta frecuencia [17].

2.1.4.3.5 *Inversores para Generación Dispersa*

La necesidad de usar fuentes de energía renovable y limpia, por ejemplo fotovoltaica y eólica, trae consigo el uso de dispositivos para que los generadores distribuidos permitan conectarse a la red [28]. Los inversores pueden ser para unidades monofásicas o trifásicas. Las formas de onda a la salida de estos dispositivos contienen cierta cantidad de armónicos, esta va a depender de

algunos factores de acuerdo con el tipo de generación que se tenga, va a depender del clima, la temperatura, la hora del día y otros factores no controlables [21].

2.1.4.3.6 *Reactores controlados por tiristores*

Los compensadores reactivos en los sistemas de potencia también son fuentes de armónicos. Circuitos como los de los tiristores controladores de reactores generan armónicos en los sistemas de potencia, entre estos se tienen los SVC (static VAR compensator), FCTCR (fixed capacitor thyristor controlled reactor), controladores series, entre otros. El SVC produce armónicos impares [1].

2.1.4.3.7 *Controladores de fase*

Los controladores de fase juegan un papel importante para un suministro balanceado y estable de energía en sistemas de potencia trifásicos. El método de control de fase modulada es usado en los cicloconvertidores, se basa en la realización de la conversión de energía estática de una frecuencia a otra, lo cual produce formas de onda que no contienen múltiplos enteros de la frecuencia de salida principal [1].

2.1.4.3.8 *Reguladores AC*

Son utilizados para la regulación de voltaje en línea o fuera de línea, pero este proceso produce armónicos. La distorsión de la onda se da más en línea que fuera de línea. Los tiristores trabajan con media onda, onda completa o ciclo integral los cuales producen los armónicos [1].

Nota: En general, la mayoría de armónicos observados no son de orden par, esto se debe a que estos armónicos se anulan si tienen la misma forma de onda en el semiciclo positivo que en el negativo. Los armónicos múltiplos de tres son homopolares y solo circulan por el conductor neutro, si no hay neutro la carga no los va a generar [5].

2.1.4.4 **Efectos de los Armónicos**

Varias de los componentes de los sistemas eléctricos de potencia podrían presentar problemas de armónicos, aspecto que no es deseable, debido a los

efectos dañinos que se generan tanto en la operación como en los equipos de los sistemas de potencia. Varios de los efectos se nombran a continuación [1][5][17]:

- Calentamiento de equipamientos (conductores, condensadores, máquinas eléctricas, equipos de medición y control)
- Pobre amortiguamiento
- Efecto Joule en máquinas eléctricas
- Interferencia en telecomunicaciones
- Efecto skin y pérdidas en líneas de transmisión
- Aceleración del torque en máquinas rotativas
- Incremento en pérdidas del cobre y del núcleo en transformadores
- Error en mediciones
- Envejecimiento de equipos (a largo plazo)

El daño que producen los armónicos va a depender de su magnitud, en el caso de los equipos instalados va a depender de la sensibilidad que estos tengan. Se pueden disparar las protecciones por aumento de la corriente en los conductores y de las pérdidas térmicas, daño en mecanismos de control y relés. El quinto y séptimo armónico tienen la capacidad de crear oscilaciones mecánicas, esto ocurre cuando el par del motor oscilante excita una frecuencia de resonancia mecánica; si dicha resonancia existe cerca de la frecuencia de excitación eléctrica, se pueden generar grandes esfuerzos mecánicos. Otro de los efectos que se puede apreciar por el efecto armónico es el ruido que producen los equipos como motores, generadores y transformadores. Se debe tener mucho cuidado con el funcionamiento de los equipos electrónicos médicos, a los cuales el contenido armónico puede causar un mal funcionamiento; otros equipos electrónicos que pueden tener un mal funcionamiento son la radio, la televisión, computadores, entre otros [21].

2.1.4.5 Medición de armónicos

Uno de los procesos importantes para la detección y mitigación de armónicos es la medición, ya que con los datos que se obtienen se puede realizar comparaciones con las normas y conocer si se encuentran dentro de los límites establecidos. En el mercado existen diversos equipos con la capacidad de analizar voltajes y corrientes no sinusoidales [21].

Para la selección de un equipo se deben tener en cuenta las características del mismo de acuerdo a la funcionalidad que se le va a dar, según el campo de aplicación (distribución, transmisión o generación) [17]. Algunos equipos muestran las formas de onda de las señales (como los osciloscopios, analizadores de armónicos, analizadores de espectro, PMUs), otros únicamente indican los valores de armónicos (analizadores de distorsión) y otros utilizan el análisis digital para el cálculo (equipos de medición de armónicos digitales) [21].

En el Ecuador se encuentran instaladas PMUs en el Sistema Nacional Interconectado, las cuales arrojan datos en tiempo real con muestreo de milisegundos. Los dispositivos instalados en el SNI justamente tienen incorporada la funcionalidad de medir armónicos y su aplicación es precisamente para el nivel de transmisión.

2.2 SISTEMA DE MONITOREO DE ÁREA EXTENDIDA (WAMS)

La implementación de un Sistema de Monitoreo de Área Extendida (WAMS, por sus siglas en inglés de Wide Area Monitoring/Measurement Systems), permite acceder a las mediciones fasoriales distribuidas a lo largo de la red por medio de PMUs adecuadamente localizadas. Para este propósito, además de las PMUs, se requieren algoritmos especializados de procesamiento de señales, sistemas de comunicación sofisticados y una infraestructura dinámica en tiempo real, lo cual permite tener una visibilidad dinámica completa del estado del sistema de potencia. Los WAMS están compuestos principalmente por PMUs,

concentradores de datos fasoriales (PDC), y sistemas de comunicación [29][30][31].

El sistema de comunicaciones necesita conectar las PMUs con el PDC, para esto se utiliza la red de área amplia (WAM) y el acceso mediante Ethernet (método de acceso LAN) permitiendo tener una privacidad a la cual únicamente tienen acceso un grupo de personas especializadas.

El concentrador de datos (PDC), el cual está ubicado estratégicamente para un área de control, es el encargado de recibir y concentrar de forma coherente la información proveniente de las PMUs, alineando las estampas de tiempo con lo que se puede implementar aplicaciones de análisis en tiempo real [31][32]. En sistemas grandes se ubican concentradores de datos por zonas y de ahí van a un Súper PDC que es el concentrador principal [33]. En el caso del Ecuador se tiene un PDC que se encuentra instalado en el CENACE.

2.2.1 UNIDADES DE MEDICIÓN SINCRÓFASORIAL (PMU)

Un fasor o vector de fase es la representación analítica de ondas sinusoidales en estado estacionario a frecuencia fundamental y se usan para el análisis de circuitos de corriente alterna [30].

Un sincrofasor es un fasor sincronizado que se calcula con la utilización de datos muestreados que tienen como referencia angular a una onda coseno de frecuencia nominal, sincronizada con el tiempo UTC -Universal Time Coordinated [30][34].

Las PMUs, Phasor Measurement Unit, son dispositivos que permiten estimar sincrofasores de las ondas sinusoidales de corriente y voltaje AC, en diferentes nodos de un SEP. El cálculo del sincrofasor la PMU lo hace mediante algoritmos como la DFT [34]. Estos dispositivos integran un reloj controlado por satélite mediante un GPS (Global Positioning System) y un dispositivo de medición [31].

Al arrojar medidas directas de los fasores de voltaje y corriente en la red, las PMUs, de forma ideal, reemplazan la necesidad esencial de la utilización de los

estimadores de estado. El tiempo de muestreo de las PMUs es en intervalos de milisegundos, por lo que permiten el monitoreo del comportamiento estático y dinámico del SEP. Pueden ser usadas para detectar separaciones del sistema, monitorear congestión, analizar oscilaciones en tiempo real, e incluso desarrollar sistemas de control de lazo cerrado [35].

2.2.1.1 PMU modelo Arbiter 1133

Las PMUs instaladas en el Ecuador son Arbiter Model 1133A Power Sentinel, las cuales envían información por dos puertos: el uno para comunicación con herramientas alternas a la principal y el otro para el sistema ELPROS [31]. Cuenta con varios módulos [36]:

- Arbiter Power Sentinel Client PQM
- Basic Data
- Harmonic Data
- Thd Data
- Waveform Data
- Relative Phase Data
- Energy Data
- Pqm By Standard

En cuanto a calidad de energía el dispositivo es el encargado de enviar la información de las mediciones al PDC. Los datos medidos son [36]:

- 1) Voltaje de armónicos (1-50) (magnitud y fase)
- 2) Corriente de armónicos (1-50) (magnitud y fase)
- 3) Resumen de armónicos: RMS THD, RMS K, THD-T, THD-F, K-factor
- 4) Flicker instantáneo
- 5) Valores de energía

A continuación se detalla el contenido del resumen de armónicos [36]:

RMS THD.- Es el valor rms de los armónicos comprendidos entre 2 y 50, y se calcula con la ecuación (2.16):

$$RMS_THD = \sqrt{V_2^2 + \dots + V_{50}^2} \quad (2.16)$$

RMS K.- es el cuadrado de la suma de toda la energía armónica, incluyendo la fundamental, con cada armónico multiplicado por el número del armónico correspondiente:

$$RMS(K) = \sqrt{(V_1 \times 1)^2 + \dots + (V_{50} \times 50)^2} \quad (2.17)$$

Donde V_1 es la fundamental.

THD F.- es la distorsión armónica total comparada con la fundamental y expresada en porcentaje:

$$RMS(F) = \frac{\sqrt{V_2^2 + \dots + V_{50}^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.18)$$

THD T.- es la distorsión armónica total, donde el voltaje es comparado al voltaje total (fundamental más armónicos) expresado en porcentaje, la ecuación se muestra a continuación:

$$RMS(T) = \frac{\sqrt{V_2^2 + \dots + V_{50}^2}}{V_1 + V_2 + \dots + V_{50}} \times 100\% \quad (2.19)$$

K Factor.- los transformadores de factor “k” son transformadores diseñados para poder trabajar con suministro de corriente no senoidal permitiendo la alimentación de cargas no lineales [17]. El factor k da una ponderación de la carga armónica de corriente de acuerdo al calentamiento del transformador. Si el factor k vale 1 significa que se trata de una carga lineal sin contenido armónico. Este índice determina qué cantidad de armónicos puede soportar el transformador en su corriente de carga en los límites de calefacción [36].

$$K - factor = \frac{(V_1 \times 1)^2 + \dots + (V_{50} \times 50)^2}{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_{50}^2} \quad (2.20)$$

2.2.2 WAMS EN ECUADOR

CENACE, para la supervisión y monitoreo del SNI, tiene instalado el sistema SCADA/EMS (Supervisory Control and Data Acquisition / Energy Management System) el cual únicamente muestra una visión estática del sistema debido a que las mediciones no están sincronizadas en el tiempo y la tasa de muestreo es de una muestra cada 2-4 segundos. Por este motivo CENACE, desde el año 2010, inició la implementación de un proyecto para estructurar un sistema WAMS que facilite el monitoreo y supervisión en tiempo real del SNI a partir de mediciones de las 22 PMUs instaladas actualmente. La lista de PMUs instaladas en el SNI se presenta en la Tabla 2.3 y su ubicación se muestra en la Figura 2.15.

Tabla 2.3 Puntos de ubicación de las PMUs en el SNI

Nivel de Voltaje (kV)	Subestación	Posición
230	Santa Rosa	Totoras 1
230	Santa Rosa	Totoras 2
230	Santa Rosa	Santo Domingo 1
230	Santa Rosa	Pomasqui 1
230	Molino	Pascuales 1
230	Molino	Totoras
138	Molino	AT1
230	Pomasqui	Jamondino 2
230	Pomasqui	Jamondino 3
230	Pascuales	Molino 1
230	Pascuales	Molino 2
230	Quevedo	Pascuales 1
138	Quevedo	ATT 138
138	Salitral	ATR 138
230	Totoras	Santa Rosa
138	Milagro	San Idelfonso 1
230	Zhoray	Milagro 2
69	Loja	Villonaco
138	Pascuales	Electroquil 3
230	Sto. Domingo	Baba
138	Sto. Domingo	Esmeraldas
138	Montecristi	Jaramijó

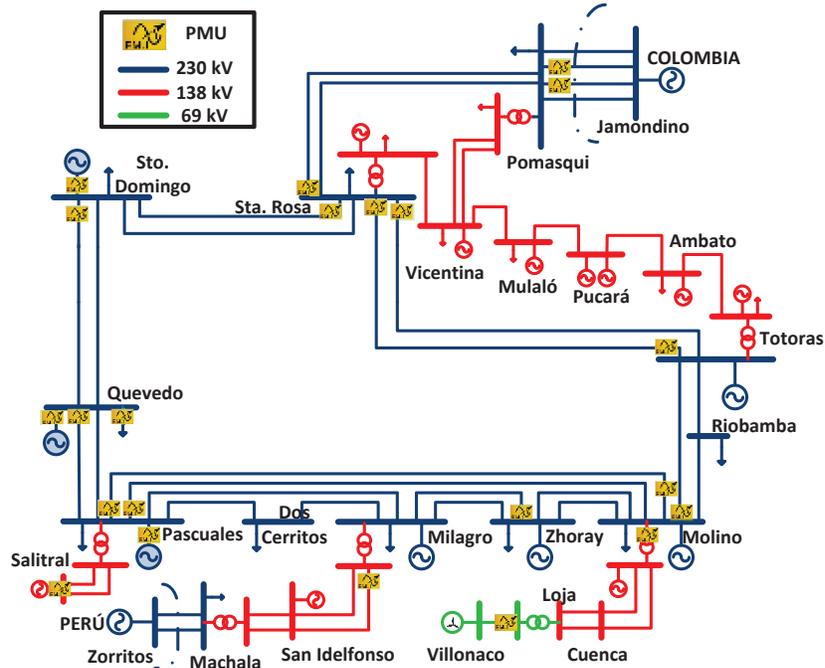


Figura 2.15 Ubicación de las PMUs en el SNI

El objetivo es monitorear las zonas de alta relevancia operativa, lo que permite tener la observabilidad del SNI. Al tener el comportamiento dinámico del sistema, se consigue evaluar de forma precisa el rendimiento del sistema [31].

El CENACE contrató a las empresas PSYMETRIX de Escocia y ELPROS de Eslovenia para la realización de pruebas de concepto, después de un análisis de las características y herramientas que brinda cada empresa con sus productos PHASORPOINT y WAProtector™ respectivamente, se decide que el programa WAProtector™ cumple con la mayoría de funcionalidades requeridas por lo que es implementado. El software es el que obtiene los datos de las PMUs, para el análisis del sistema de potencia en tiempo real utilizando las mediciones sincrofasoriales, mediante la red de comunicaciones intranet estándar y permite la transferencia de datos de diferentes dispositivos [31].

En el servidor del software WAProtector se hallan instalados el PDC y las aplicaciones del mismo. A la funcionalidad de PDC se la llama UniFusion. El servidor PDC se conecta directamente con las PMUs instalados en las

Subestaciones del SNI utilizando el protocolo IEEE C37.118 [37]. El muestreo en la transmisión de información de los PMUs es 60 muestras por segundo. El software cuenta con varias aplicaciones como [38]:

- **Calidad de la energía**
- Estabilidad Estática de Ángulo (Diferencia Angular)
- Estabilidad de Voltaje de Corredores de Transmisión
- Estabilidad Oscilatoria
- Detección de Islas
- Información de Armónicos del Sistema
- Análisis de Información Histórica Eventos del Sistema.

El módulo de calidad de energía se muestra en la Figura 2.16, la tasa de muestreo para este módulo es de una muestra por segundo, que puede ser visualizada en tiempo real. También se puede ver la interfaz gráfica del software.

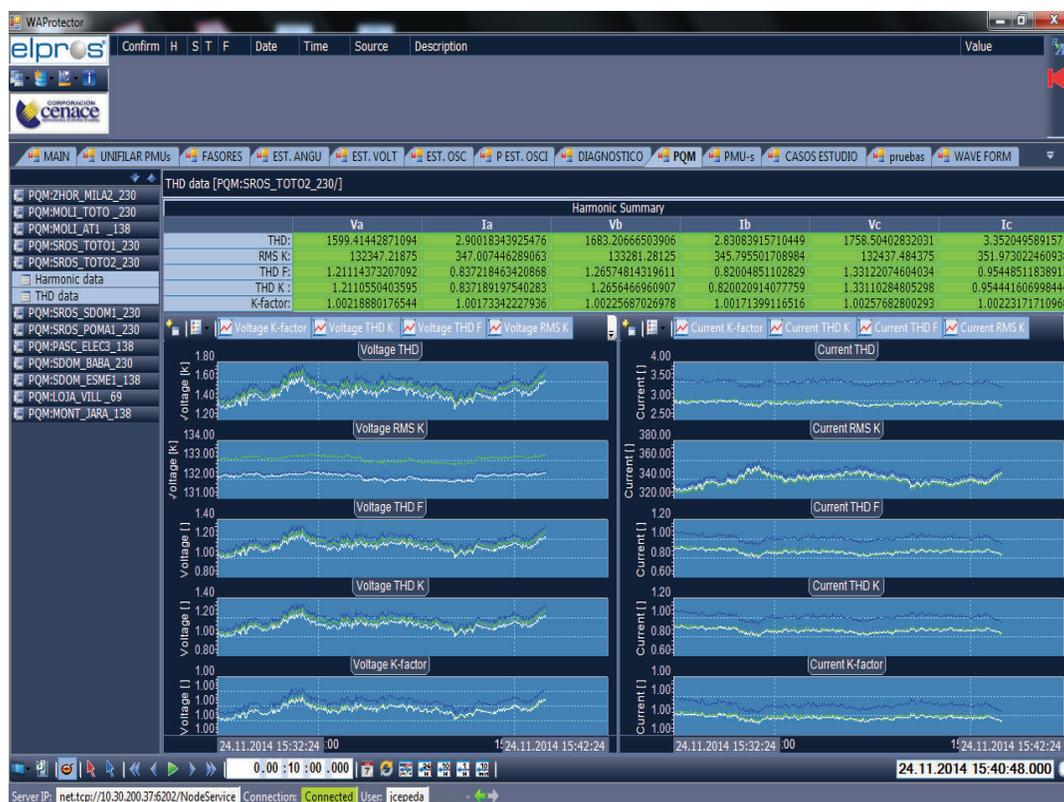


Figura 2.16 Módulo de calidad de energía, software WAProtector

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ARMÓNICOS EN EL SNI

En este capítulo se desarrolla la metodología aplicada para el análisis estadístico multivariante de la información de armónicos obtenidos de las PMUs del SNI. Se explica la estructura de dicha metodología que se basa principalmente en la minería de datos.

3.1 MARCO METODOLÓGICO

Las PMUs entregan una gran cantidad de datos, estos datos son administrados mediante un proceso compuesto de dos tipos de actividades, la primera es la Obtención y Almacenamiento de los datos y la segunda es su correspondiente Tratamiento y Análisis.

Debido a la ingente cantidad de datos que se pueden obtener en tiempo real, el análisis y tratamiento de datos se convierte en un trabajo laborioso, cuya complejidad se incrementa en función del número de individuos y variables que se desean analizar. Esto ha ocasionado que la disponibilidad de los datos no sea desaprovechada, debido al desconocimiento de herramientas adecuadas que permitan extraer de ellos la mayor cantidad posible de información.

Existen técnicas que permiten una óptima manipulación y tratamiento de los datos ya sean éstos descriptivos, geográficos o estadísticos, que es el propósito de este trabajo. La principal herramienta matemática empleada en esta tesis es la llamada técnica “Data Mining”, que básicamente se refiere a la extracción de conocimiento a partir de una gran cantidad de datos. Las principales técnicas de data mining usadas para el objetivo planteado en esta tesis son el análisis de componentes principales y el análisis de clusters.

El análisis estadístico univariante y multivariante permite analizar grupos de datos caracterizados con una o varias variables medidas por individuo u objeto

estudiado [30][39]. En función de lo antedicho, se plantea la metodología que se muestra en Figura 3.1, que se aplica a los datos de calidad de energía del SNI obtenidos de las PMUs instaladas en el sistema. Esta primera etapa de la metodología permite obtener matrices de datos apropiadas para la aplicación de las técnicas de componentes principales y clusters.

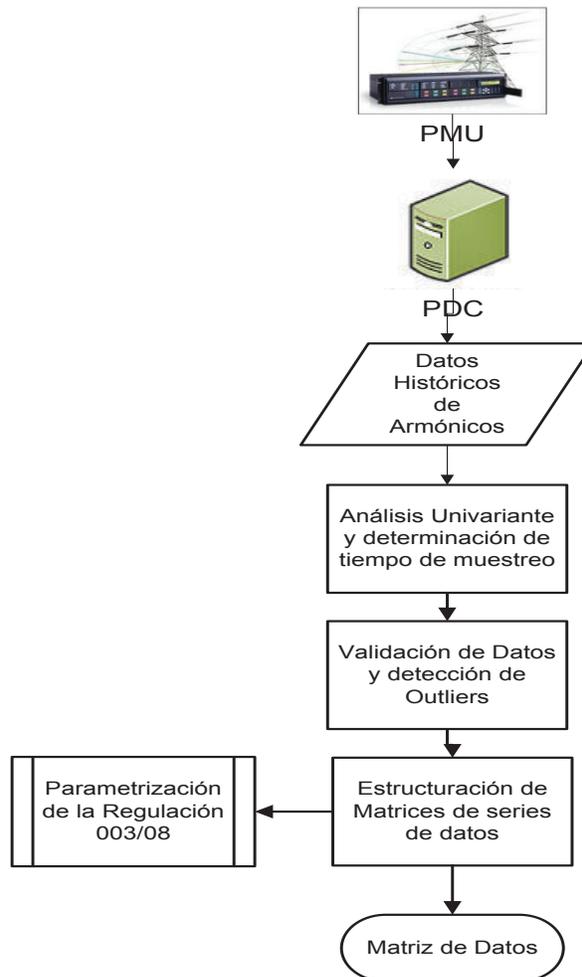


Figura 3.1 Estructura Metodológica

El esquema inicia con la adquisición de datos de armónicos de las 22 PMUs, los cuales se encuentran almacenados en una base de datos. Se procede a realizar un análisis descriptivo para poder seleccionar un tiempo de muestreo adecuado y evitar adquirir demasiada información innecesaria. Se escoge un tiempo de muestreo mayor a un segundo. A continuación se procede a la validación de

datos, pero en la adquisición de datos se pueden presentar valores atípicos (outliers), para el análisis dichos valores son primeramente eliminados. Todos los análisis se rigen en la normativa vigente [16], la cual indica que se deben adquirir datos de cada diez minutos en un período de siete días.

Se analiza si el SNI tiene problemas de armónicos, tanto de corriente como de voltaje, usando como referencia las especificaciones de la Regulación 003/08. El sistema puede o no tener problemas de armónicos (sobre la base de la regulación), y si el caso es que no tenga problemas, las matrices de datos resultantes del esquema presentado en la Figura 3.1 serían nulas y no se podría realizar la caracterización que se desea. Por este motivo, es necesario poner a consideración algún criterio bajo la norma, esto para poder tener datos necesarios para el análisis; en este caso se toma el 10% del valor recomendado por la norma. Los valores que superen dicho porcentaje se los toma en cuenta para la formación de las matrices de datos. Ya depurados los datos y estructurada la matriz de series de datos, ésta es usada para el análisis multivariante y la formación de clusters.

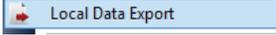
La primera herramienta a usar es la de Componentes Principales para reducir la dimensionalidad de los datos a la vez que se obtienen patrones de similitud entre las señales periódicas de armónicos. Se construye la matriz de datos y se realiza el análisis de clustering, ya sea con el algoritmo C-means difuso (FCM) o con el algoritmo de clustering jerárquico, dependiendo de la aplicación, como se explica en las siguientes secciones. Estas herramientas tienen por objeto establecer grupos de manera apropiada. Mediante la utilización de patrones que contengan las características de las variables, se forman los grupos teniendo en cuenta las similitudes y homogeneidad de estas [39].

Antes de aplicar las herramientas de análisis multivariante, previamente tiene que ser realizado un análisis descriptivo univariante con el propósito de visualizar el comportamiento de los datos y su variabilidad, esto con el objetivo de definir una adecuada tasa de muestreo, detectar posibles datos atípicos y calcular los valores promedio cada 10 min, en función de lo especificado en la normativa.

3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

Unifusion, el PDC instalado en el CENACE, gestiona el almacenamiento de todos los datos calculados y generados en los módulos de análisis, provenientes de las PMUs y de WAProtector. El almacenamiento es en una base de datos circular, por lo que cada mes se renueva la información, debido a que se llega a la máxima capacidad de almacenamiento, previamente definida y calibrada por el administrador del aplicativo WAMS, y se sobrescribe en el primer dato guardado, el último dato obtenido [31].

El módulo considerado en este trabajo, como se ha mencionado, es el de calidad de energía, el cual tiene una tasa de adquisición de una muestra por segundo. Los datos de este módulo también se renuevan cada mes, por lo que es importante, para el análisis que se quiere realizar, descargar los datos y almacenarlos de forma permanente.

En la ventana del WAProtector, en la parte superior izquierda se encuentra la barra menú; se elige el ícono  del cual se despliegan varias opciones, para la adquisición de datos se selecciona la opción . La Figura 3.2 presenta la pantalla principal para la exportación de datos, se modifican los espacios necesarios. Los datos se descargan en un archivo de Microsoft Excel formato CSV.

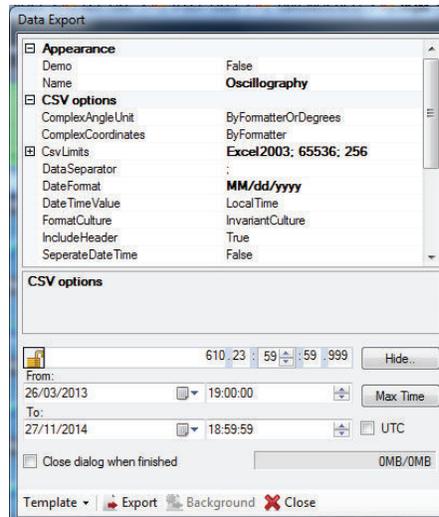


Figura 3.2 Ventana Data Export (exportación de datos)

El tiempo de muestreo puede ser en segundos o en Hz (SF sampling frequency), se escoge la opción segundos colocando SI (sampling time) en el espacio de SamplingInfo, en este trabajo la tasa de muestreo es 20 segundos (la cual fue definida a partir del análisis descriptivo, como se mostrará más adelante). Para seleccionar los datos que se desean descargar se modifica Items, se da clic en Collection lo cual abre una nueva ventana. La Figura 3.3 muestra las opciones que se deben cambiar.

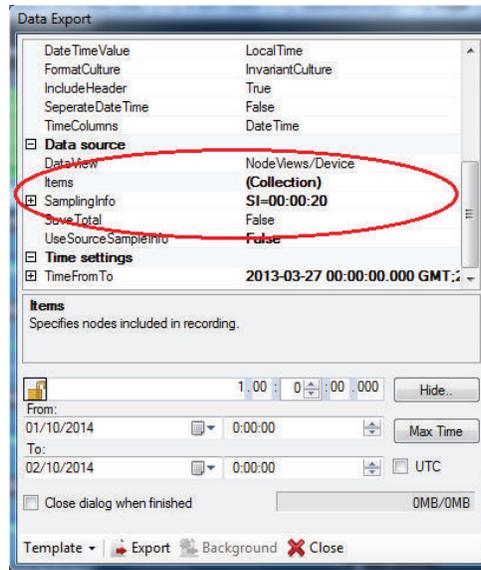


Figura 3.3 Ejemplo de modificación en el menú Data Export

En la nueva ventana llamada Map Subscription Dialog, que se muestra en la Figura 3.4, se observan dos áreas: Source y Destination.

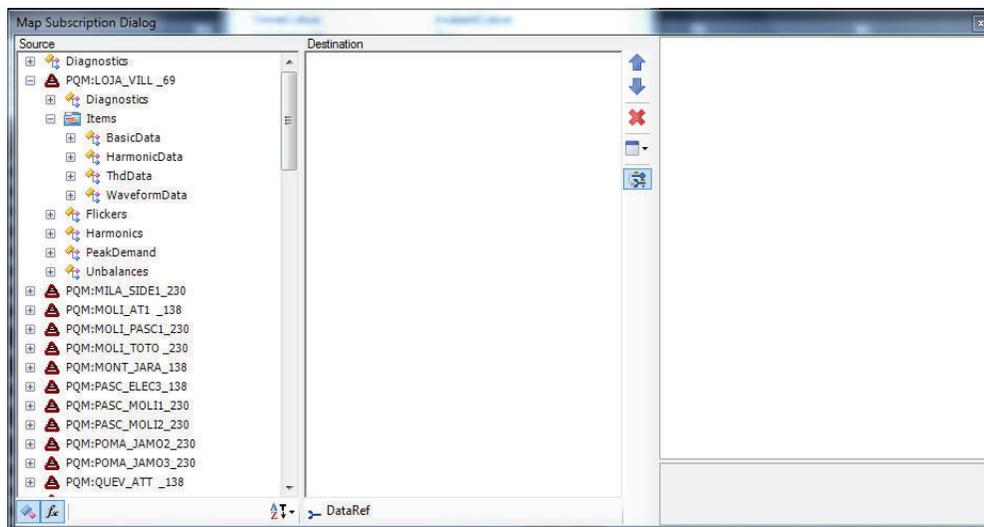


Figura 3.4 Ventana para seleccionar los datos a descargar

En Source se encuentra un menú con varias pestañas. Los datos de calidad de energía tienen el ícono  y el nombre de la pestaña empieza con PQM (power quality module) seguido del nombre de la PMU. Al desplegar alguna de las pestañas se presentan más opciones como se muestra en la Figura 3.5. Las

subpestañas en las cuales se encuentran los armónicos y los datos de THD son Items y Harmonics. A continuación se presentan las opciones de estas subpestañas que se toman en cuenta:

Items

- HarmonicData
- ThdData

Harmonics

- Harmonics Hour24
- Harmonics Min10

Las opciones presentan más pestañas, de las tres fases tanto de corriente como de voltaje.

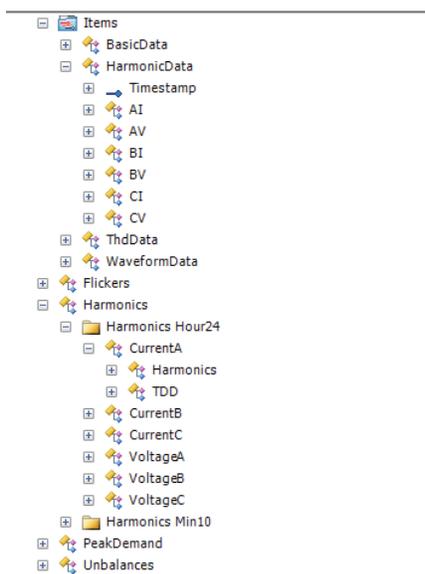


Figura 3.5 Despliegue de una pestaña PQM-PMU

Una vez seleccionados los datos que se desean exportar, desplegando las pestañas necesarias, se los arrastra al área Destination, con lo que se visualiza el cuadro de dialogo de la Figura 3.6. Se selecciona la opción Create, y se cierra la ventana Map Subscription Dialog.

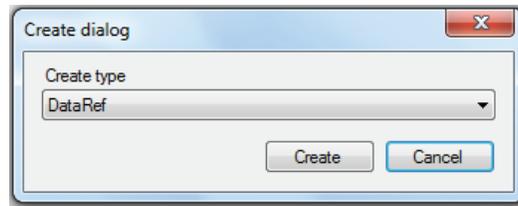


Figura 3.6 Cuadro de diálogo para creación de datos a exportar

En la ventana de la Figura 3.2 se selecciona la hora y fecha de la cual se quiere descargar los datos. Finalmente, en la parte inferior de la ventana se selecciona el ícono Export, se selecciona la carpeta donde se quiere almacenar la información y el nombre para el archivo de formato CSV.

Los datos se descargan en una carpeta, la cual contiene dos tipos de archivos; uno de formato CSV y otro html. El archivo que contiene los datos necesarios para el análisis es el de formato CSV, el archivo html lleva a una ventana la que contiene un reporte de ciertas características del archivo descargado, como se muestra en la Figura 3.7.

Data export report				
Project:	WAProtector			
User name:	AAD0_DOP			
Export date-time:	07/21/2014 09:43:49.120871			
Export format:	CSV (character-separated values)			
Value separator:	:	Decimal separator:	.	
Data time information				
Time:	Local			UTC
First sample time:	07/01/2014	19:00:00	07/02/2014	00:00:00
Last sample time:	07/20/2014	19:00:00	07/21/2014	00:00:00
Sampling time:	1:00:00:00		Sampling frequency:	1.15740740740741E-05 Hz
Exported data nodes				
Index	Data node	Format	Unit	Type
0	Date Time	MM/dd/yyyy HH:mm:ss.FFFFFFFF	UTC-05:00	DateTime
1	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H02/MagAvr			Single
2	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H03/MagAvr			Single
3	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H04/MagAvr			Single
4	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H05/MagAvr			Single
5	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H06/MagAvr			Single
6	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H07/MagAvr			Single
7	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H08/MagAvr			Single
8	PQM-PASC_ELEC3_138/Harmonics/Harmonics Hour24/CurrentC/Harmonics /H09/MagAvr			Single

Figura 3.7 Reporte de datos exportados de Unifusion

El software con el que se va a realizar el análisis estadístico multivariante es MATLAB, para el análisis univariante se usa el programa Microsoft Excel. Los datos al ser descargados en formato CSV son cambiados mediante la ejecución de varias acciones en Excel; al ser una gran cantidad de archivos que se deben modificar se programa y aplica una macro de Excel (ver ANEXO 1) lo que facilita el trabajo. El formato al que se transforman los datos es de tipo xlsx, una vez realizado el cambio, se procede al análisis univariante y posteriormente los archivos con este nuevo formato se utilizan para trabajar en MATLAB.

3.3 ANÁLISIS UNIVARIANTE Y TIEMPO DE MUESTREO

Como se ha explicado, la cantidad de información es inmensa y el tamaño necesario para almacenar esta información de igual manera es extremadamente grande. Por lo este motivo, se hace un análisis estadístico univariante para determinar un tiempo de muestreo adecuado. Esto se lo hace usando un análisis de tipo descriptivo de los datos.

La estadística descriptiva trata de reducir un conjunto de datos en pocas medidas sin perder las principales características de los mismos, es decir, los datos reducidos deben reflejar las principales propiedades del conjunto. Las herramientas del análisis descriptivo para determinar el tiempo de muestreo son: de las Medidas de Posición la media aritmética, de las Medidas de Dispersión la desviación típica y el coeficiente de variación, de las Medidas de Forma la curtosis [40].

El criterio que se ha definido para determinar un intervalo de muestreo adecuado es que las medidas de análisis descriptivo mencionadas, calculadas para un intervalo de muestreo de 1 s (mínimo entregado por WAProtector) y para una ventana de 10 min (de acuerdo a lo especificado por la norma), y las calculadas para un intervalo mayor de muestreo (cada 20 s, de acuerdo a lo definido en este trabajo) no presenten variaciones significativas entre ellas. De esta forma se garantiza que la pérdida de información causada por disminuir el intervalo de muestreo sea mínima.

3.3.1 MEDIA ARITMÉTICA

Es una de las herramientas que ayuda a realizar un estudio global de las variables a analizar. Se define como “la suma de todos los valores de la distribución dividida por el número total de datos” [40]. La ecuación (3.1) muestra la forma de calcular la media [39].

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (3.1)$$

Para una variable numérica, la media representa el centro geométrico de la misma.

3.3.2 DESVIACIÓN TÍPICA

Es una medida de dispersión absoluta, y es una medida de variación con respecto a la media [39][40]. Se define por:

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n}} \quad (3.2)$$

3.3.3 COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Es una medida de dispersión relativa, permite comparar la variabilidad entre las variables.

$$CV_j = \sqrt{\frac{s_j^2}{\bar{x}_j}} \quad (3.3)$$

3.3.4 COEFICIENTE DE CURTOSIS

Este coeficiente es “una forma relativa de la homogeneidad”. En función de la distribución normal. Si el valor de este coeficiente es alto indica que hay cierto número de datos atípicos que se encuentran muy alejados del resto [39].

$$K_j = \frac{1}{n} \frac{\sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{s_j^4} \quad (3.4)$$

El análisis descriptivo ayuda a determinar la homogeneidad o heterogeneidad de una población, si se trata de una mezcla de poblaciones se deben estudiar separadamente [39].

3.4 VALIDACIÓN DE DATOS Y OUTLIERS

Para el análisis que se propone en esta tesis, se va a usar cierta cantidad de valores que se obtienen de las PMUs. Pero existen ciertos datos atípicos a los demás, los cuales no se ajustan al patrón común, a estos datos se les denomina “Outliers”. Estos valores pueden distorsionar la información que se obtenga de cualquier análisis. Las causas para tener estos datos son varias, entre estas se tienen: errores de medición y cambios en el instrumento de medición [39][41].

En el caso de las PMUs del SNI, suelen ocurrir problemas de diversa índole que provocan la desconexión de alguna PMU del sistema WAMS; esto ocasiona que no se tengan datos durante el periodo de tiempo que se encuentre fuera de línea. Estos problemas pueden ser en una o varias PMUs como muestra la Figura 3.8, donde se observa que siete PMUs presentan problemas de conectividad; que significa que se va a tener outliers en ese período de tiempo.



Figura 3.8 Ejemplo de salida de PMUs

Pero el problema es la detección de estos valores atípicos en el inmenso conjunto de datos, por lo que se hace uso de una rutina de programación para la detección de estos valores. Al detectar los valores se los elimina y se hace el análisis únicamente con los valores que hayan sido validados.

Si se coloca cero en lugar de estos datos atípicos, se va a distorsionar el análisis, como distorsión de las medias y las desviaciones típicas de las variables [39], por lo que lo adecuado es no considerarlos en el análisis.

3.5 ESTRUCTURACIÓN DE MATRICES DE SERIES DE DATOS

3.5.1 MATRIZ DE DATOS

La matriz de datos X , es una matriz de dimensiones $n \times p$; donde p son las variables y n representa al número de observaciones, elementos o individuos [30]. Cuando se hace referencia a cada una de las p variables, éstas se denominan variables escalares o univariantes, pero si se considera el conjunto de las p variables se denomina variable vectorial o multivariante.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ x'_n \end{bmatrix} = [x_{(1)} \dots x_{(p)}] \quad (3.5)$$

En el presente trabajo se estructuran varias matrices de datos, las cuales sirven de base para el análisis multivariante. Dependiendo del tipo de análisis se determina cuáles son las variables y cuáles los individuos. Por ejemplo, para el análisis semanal se tienen los siguientes posibles datos: los días de la semana, los armónicos de una PMU y el tiempo (cada diez minutos). De estos datos se tendrán que estructurar las matrices escogiendo cuáles fungirán el rol de variables y cuáles de individuos. Además, en este caso particular existen tres dimensiones de datos, por lo que adicionalmente se debe aplicar algún artificio matemático que permita eliminar alguna de las tres dimensiones.

Previamente, para determinar cuáles son los armónicos que tienen mayor influencia en cada PMU, es necesario compararlos con los valores referencia que da la norma [21]. El SNI no tiene problemas significativos de armónicos, por lo que los valores no suelen sobrepasar el rango predeterminado por la norma. En este sentido, para el análisis que se desea realizar se deben determinar aquellos armónicos, que aunque no superen los rangos límites, presentan características de ser dominantes. Es así que se toma el 10% del valor de la norma. Las PMUs proporcionan datos de los 50 primeros armónicos, pero si se tiene en cuenta que se toman datos diarios cada veinte segundos y es un análisis semanal, las matrices estarán formadas por una ingente cantidad de datos, por eso se realiza la consideración antes descrita.

3.5.2 PARAMETRIZACIÓN BASADA EN LA REGULACIÓN 003-08 CONELEC

Entre los aspectos de calidad que la regulación considera se encuentran el contenido armónico de corriente y voltaje, los límites admitidos son en base a la norma [21]. Los límites de contenido armónico de voltaje y el $THD\%(V)$ se muestran en la Tabla 3.1. Los límites de valores de contenido armónico de corriente y el TDD se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1 Límites para contenido armónico de Voltaje [21]

Voltaje de Barras kV	Contenido Armónico Individual Máximo $V_n(\%)$	$THD\%(V)$ Máximo
$V_L \leq 69$	3,00	5,00
$69 < V_L \leq 161$	1,50	2,50
$V_L > 161$	1,00	1,50

Tabla 3.2 Límites para contenido armónico de Corriente [21]

$V_L \leq 69kV$					
$SCR = I_{sc} / I_c$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	TDD
< 20	4,00	2,00	1,50	0,60	5,00
20 – 50	7,00	3,50	2,50	1,00	8,00
50 - 100	10,00	4,50	4,00	1,50	12,00

100 - 1000	12,00	5,50	5,00	2,00	15,00
> 1000	15,00	7,00	6,00	2,50	20,00
$69kV < V_L \leq 161kV$					
< 20	2,00	1,00	0,75	0,30	2,50
20 - 50	3,50	1,75	1,25	0,50	4,00
50 - 100	5,00	2,25	2,00	1,25	6,00
100 - 1000	6,00	2,75	2,50	1,00	7,50
> 1000	7,50	3,50	3,00	1,25	10,00
$V_L > 161kV$					
< 50	2,00	1,00	0,75	0,30	2,50
≥ 50	3,50	1,75	1,25	0,50	4,00

Donde:

V_L es el voltaje nominal.

I_c es la corriente promedio de las demandas máximas del mes

I_{sc} es la corriente de cortocircuito trifásico mínima calculada

h es el orden del armónico

SCR es la relación de corto circuito

Los valores de la Tabla 3.2 se aplican para armónicos impares, para los armónicos pares es el 25% de los valores dados.

Para poder comparar los valores de estas tablas con los de las PMUs, es necesario conocer los valores de V_L y SCR de cada PMU, de esta manera se ubican las PMUs donde les corresponda y se hace al análisis.

El valor de V_L se lo conoce al saber la posición donde se encuentra ubicada cada PMU. Para la relación SCR es necesario conocer la I_c y la I_{sc} correspondiente

de cada PMU, a continuación se muestra cómo se realiza el cálculo para su determinación.

3.5.2.1 Cálculo de la Corriente promedio de las demandas máximas del mes

La potencia aparente trifásica está definida por:

$$S_3 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}V_L I_L \quad (3.6)$$

Si se tiene la potencia aparente (en algunos casos se tiene la potencia activa y reactiva) y el voltaje de línea (en tiempo real), se puede calcular la corriente de carga aplicando la fórmula (3.6) [42].

Los valores de potencia y voltaje para cada día en cada hora se toman de la base de datos del sistema SCADA/EMS de CENACE. Una vez calculadas las corrientes diarias durante cada hora se determina cuál es la corriente máxima diaria, esto se puede hacer con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel, este proceso se repite para todos los días de un mes. Es necesario acotar que no se toma como corriente en demanda máxima la hora pico porque en todas las PMUs no es la misma hora la de mayor demanda. Se hace el promedio de las corrientes máximas de un mes y se obtiene el valor de I_c buscado.

3.5.2.2 Cálculo de la Corriente de cortocircuito trifásica mínima

Una falla se considera a cualquier acontecimiento que impida el flujo normal de la corriente; se pueden dar debido a cortocircuitos, pérdidas de estabilidad sincrónica, sobrecarga térmica transitoria o permanente, etc. Se las puede clasificar en fallas simétricas o asimétricas, en temporales o permanentes [42].

Un cortocircuito es una falla que se produce cuando dos puntos, entre los cuales existe una diferencia de potencial (voltaje), entran en contacto generando un flujo de corriente elevado. Los sistemas de potencia están diseñados para permanecer libres de cortocircuitos, pero los sistemas no están exentos a ellos. Al analizar las

fallas lo que se desea es obtener los valores de las corrientes durante la contingencia, los valores que se obtienen son muy útiles en el diseño de protecciones del sistema [43][44].

El estudio de corto circuito se lo puede hacer con varios tipos de métodos de solución, de los cuales el más destacado es el de las componentes simétricas o método exacto [43]. Las componentes simétricas son sistemas lineales de un sistema trifásico; estas secuencias son positiva, negativa y cero. “Las componentes de secuencia positiva representan la parte activa de la red, mientras que la secuencia negativa aparece cuando existen desequilibrios en el sistema y la secuencia cero cuando los desequilibrios provocan flujos de corriente por cables de guardia, neutros y tierras” [45].

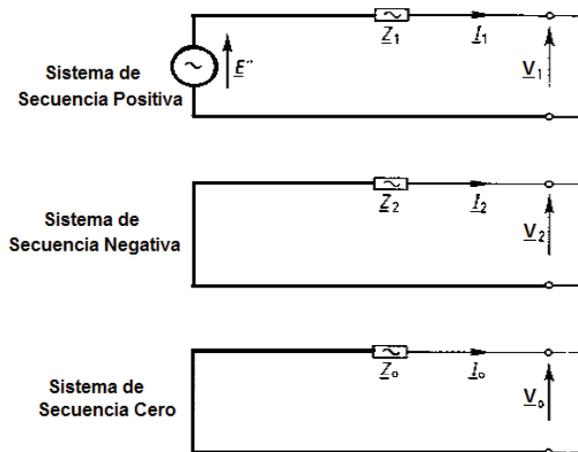


Figura 3.9 Circuitos de componentes simétricas [46]

En un sistema trifásico, el voltaje se deriva de los generadores sincrónicos trifásicos; estos generadores tienen un voltaje inicial simétrico y secuencia de fase positiva, esto por la construcción de los arrollamientos. Por esta razón, en cortocircuitos trifásicos solo se usa el sistema de secuencia positiva. En la Figura 3.10 se representa un sistema con cortocircuito trifásico el cual representa una carga simétrica para el sistema [46].



Figura 3.10 Sistema con cortocircito trifásico [46]

En un cortocircito los voltajes V_1, V_2 y V_0 son igual a cero, bajo estas condiciones la corriente de cortocircito trifásica se la calcula de la siguiente manera:

$$I_{sc} = \frac{E''}{Z_{eq}} \quad (3.7)$$

Dónde:

E'' Es el voltaje del generador que se indica en la Figura 3.9

Z_{eq} Es la impedancia de cortocircito, se la obtiene con el equivalente Thévenin

La corriente simétrica de cortocircito se puede dividir en tres componentes, como se ve en la Figura 3.11: subtransitorio, transitorio y permanente.

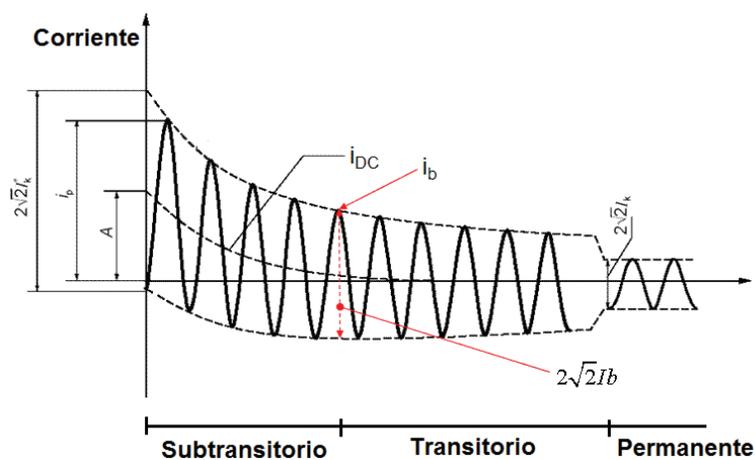


Figura 3.11 Variaciones temporales de la corriente de cortocircito [44]

Dónde:

I_k'' es la corriente de corto circuito simétrica inicial

I_b es la corriente de corte de corto circuito simétrica

i_b es la corriente de corte de corto circuito pico o corriente de apertura

i_p es la corriente de corto circuito pico o corriente de choque

I_k es la corriente de corto circuito permanente

Los procesos electromagnéticos de los generadores del sistema determinan las variaciones de las corrientes de cortocircuito. La corriente máxima o de choque es importante por la relación directa que tiene con los esfuerzos electrodinámicos. La corriente de apertura “es el valor eficaz de la corriente de cortocircuito simétrica que fluye a través del interruptor en el primer instante de la apertura de los contactos” [47].

Una manera útil de saber qué podría ocurrir en el sistema por causa de los cortocircuitos es la simulación de los eventos con la ayuda de algún software, como el programa PowerFactory de DigSILENT. Este programa soporta diferentes representaciones y métodos de cálculo para el análisis de corrientes de corto circuito, basándose en diferentes normas como la IEC 60909, ANSI y la IEC 61363.

Para el cálculo de la corriente de corto circuito trifásica mínima de cada PMU que se desea, es necesario modelar el sistema en PowerFactory. Para el caso de estudio del sistema ecuatoriano se utilizó la base de datos estructurada por la Dirección de Planeamiento del CENACE, que es utilizada para los diferentes estudios de planeamiento eléctrico.

Como se desea determinar la corriente mínima de cortocircuito (de acuerdo a lo especificado en la norma), el caso de estudio es el de demanda mínima, esto puesto que en este período de demanda la cantidad de unidades de generación despachadas son las mínimas, por lo que el aporte de corrientes de cortocircuito también es mínimo. El cortocircuito trifásico se calcula en la barra de la subestación donde se encuentra ubicada cada PMU, para ello se hace clic derecho en la barra, se selecciona la opción calcular cortocircuito. Se despliega

una nueva ventana, la que se muestra en la Figura 3.12, se seleccionan las opciones deseadas, en este trabajo se elige como método la norma IEC 60909, el tipo de falla es cortocircuito trifásico y se desea calcular la corriente mínima de corto circuito; se ejecuta y los resultados se muestran en la ventana de salida. De los resultados que se muestran, se escoge la I_k , que equivale a la I_{sc} . Este procedimiento se lo realiza para cada una de las PMUs.

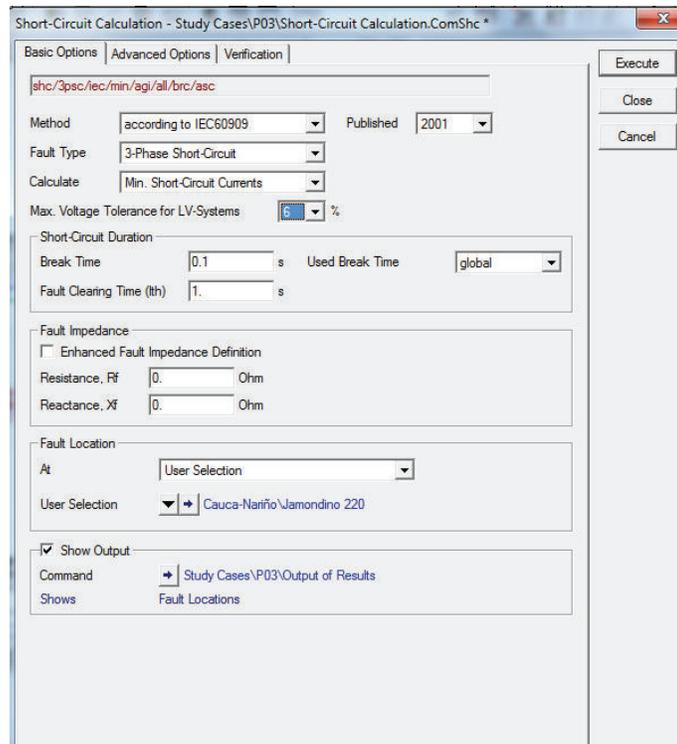


Figura 3.12 Ventana de cálculo de corto circuitos

La Tabla 3.3 muestra el resumen del cálculo obtenido de las corrientes I_c e I_{sc} calculadas para cada PMU.

Tabla 3.3 Valores para colocación de PMUs en Norma

Subestación	Posición	kV	I_c	$I_k (kA)$	SCR
Santa Rosa	Totoras 1	230	0,42192792	7,00	16,5905115
Santa Rosa	Totoras 2	230	0,4195286	7,00	16,6853939

Santa Rosa	Santo Domingo 1	230	0,21835386	7,00	32,0580554
Santa Rosa	Pomasqui 1	230	0,19163389	7,00	36,5279849
Molino	Pascuales 1	230	0,43448886	11,45	26,3528043
Molino	Totoras	230	0,38337492	11,45	29,8663248
Molino	AT1	138	0,80305567	17,82	22,1902425
Pomasqui	Jamondino 2	230	0,1120487	6,05	53,994379
Pomasqui	Jamondino 3	230	0,1145204	6,05	52,8290142
Pascuales	Molino 1	230	0,41938878	8,11	19,3376654
Pascuales	Molino 2	230	0,42149093	8,11	19,2412206
Quevedo	Pascuales 1	230	0,16727304	5,54	33,1195041
Quevedo	ATT 138	138	0,28557588	6,21	21,7455337
Salitral	ATR 138	138	0,22752586	10,49	46,1046488
Totoras	Santa Rosa	230	0,42930874	6,95	16,1888156
Milagro	San Idelfonso 1	138	0,23018706	7,00	30,4100494
Zhoray	Milagro 2	230	0,44276104	9,90	22,3596908
Loja	Villonaco	69	0,08974865	2,36	26,2956614
Pascuales	Electroquil 3	138	0,2821495	12,04	42,6724134
Sto. Domingo	Baba	230	0,26989105	5,42	20,0821777
Sto. Domingo	Esmeraldas	138	0,15342207	5,46	35,5880992
Montecristi	Jaramijó	138	0,47320972	3,59	7,58648826

Con los valores de la tabla anterior, se ubica a las barras donde se encuentra cada PMU dentro de algún rango de la Tabla 3.1 y de la Tabla 3.2. Se construye una de las matrices de datos de series de tiempo, la cual tiene como variables los armónicos significativos y como individuos el tiempo cada diez minutos, esto para cada día de la semana; con esta matriz de datos se procede con el análisis multivariante.

3.6 ANÁLISIS MULTIVARIANTE

En los últimos años, el uso del análisis multivariante ha tomado fuerza como una herramienta útil para analizar grandes cantidades de datos. Esto se debe a la facilidad que se tiene en la adquisición de datos, debido a las nuevas tecnologías, y su aplicación para varias disciplinas (ingeniería, ciencias económicas y empresariales, etc) [39]. “El Análisis Multivariante es la rama de la Estadística y del análisis de datos, que estudia, interpreta y elabora el material estadístico sobre un conjunto de $n > 1$ variables, que pueden ser cuantitativas, cualitativas o una mezcla” [48]. Mediante la utilización de varias técnicas, este tipo de análisis tiene por objetivos [39]:

- Reducir una gran cantidad de variables en un conjunto representativo de menor número de variables, evitando en lo posible la pérdida de información.
- Buscar semejanzas en los datos, formar grupos y compararlos.
- Clasificar nuevas observaciones.

Para lograr estos objetivos se pueden plantear dos niveles de análisis:

- Exploración de Datos (o minería de datos)
- Inferencia, se busca obtener conclusiones sobre la población que ha generado los datos, para esto se requiere construir un modelo que explique su obtención y permita prever valores futuros.

Existen muchos métodos para realizar análisis multivariante, las herramientas matemáticas seleccionadas para el propósito de esta tesis son: componentes principales, análisis de clustering con la técnica fuzzy c-means (fcm) y con el algoritmo jerárquico, y análisis gráficos como dendrogramas.

3.6.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)

Es una técnica de minería de datos, cuyo objetivo es la reducción del número de variables sin perder información. Esta técnica permite determinar nuevas variables no correlacionadas entre sí, por lo que la metodología busca determinar las direcciones de máxima variabilidad de los datos.

Primero se transforman las variables en componentes principales (PCs); estas variables están ordenadas para que las primeras componentes retengan en lo posible las variaciones presentes en las variables originales, las variables no están correlacionadas. Las PCs son definidas como una combinación lineal de las variables originales que tengan la máxima variabilidad. Para determinar estas variables se usan las propiedades de valores y vectores propios, las cuales se obtienen por la aplicación de la descomposición en valores singulares (SVD) a la matriz de covarianzas (S) [30].

La matriz de covarianzas es una matriz cuyos elementos de la diagonal representan la variabilidad de las variables respecto a la media (varianza) y los elementos fuera de la diagonal representan la variabilidad mutua entre cada variable (covarianza). Esta matriz se la calcula con los datos de la matriz de datos X , la matriz identidad I y 1 es el vector de unos, como se muestra en la ecuación (3.8). Los elementos i y j ($i \neq j$) corresponden a la covarianza entre i -ésimo y j -ésimo.

$$S = \frac{1}{n} X' \left[I - \frac{1}{n} 11' \right] X \quad (3.8)$$

La SVD de la matriz S es conocida como Descomposición Espectral, se define en (3.9):

$$S = U \Lambda U' \quad (3.9)$$

Dónde:

U es una matriz ortonormal la cual contiene los vectores propios de S

Λ es una matriz diagonal que contiene los valores propios (λ_i) de S

La expresión (3.10) muestra las nuevas variables, que son las proyecciones de los datos originales en el hiper plano definido por los vectores propios de S . Estas nuevas variables corresponden a los coeficientes de las componentes principales.

$$Z = XU \quad (3.10)$$

La varianza total de la matriz de datos equivale a la sumatoria de los valores propios de las componentes principales, estos valores propios brindan una medición de la variabilidad explicada (EV_i) por el i -ésimo PC, como se ve en la expresión (3.11); de esta variabilidad explicada va a depender el número de componentes principales que se elija [30].

$$EV_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \times 100 \quad (3.11)$$

3.6.1.1 Coordenadas Principales y Distancias

Una generalización de las componentes principales son las coordenadas principales, que son un tipo de escalado multidimensional; la diferencia se basa en que en lugar de tener una matriz de observación por variables, en coordenadas principales se usa la matriz de distancias o disimilaridad. Al igual que en PCA, el uso de la matriz de distancias se centra en la obtención de una matriz de datos X de dimensiones $n \times p$ con variables ortogonales; el objetivo de las dos metodologías es describir e interpretar datos [39].

Distancias.- El concepto de distancias en coordenadas principales se usa para el estudio de la variabilidad de las observaciones. Una distancia, entre dos puntos x_i y x_j del conjunto \mathfrak{R}^p , debe cumplir las siguientes propiedades para considerarlas como tal [39]:

- “ $d : \mathfrak{R}^p \times \mathfrak{R}^p \rightarrow \mathfrak{R}^+$, es decir, dados dos puntos en el espacio de dimensión p su distancia con esta función es un número no negativo, $d(x_i, x_j) \geq 0$ ”
- “ $d(x_i, x_i) = 0 \quad \forall i$, la distancia entre un elemento y sí mismo es cero.”
- “ $d(x_i, x_j) = d(x_j, x_i)$, la distancia es una función simétrica en sus argumentos”.
- “ $d(x_i, x_j) \leq d(x_j, x_p) + d(x_p, x_j)$, propiedad triangular: la distancia debe verificar que entre tres puntos, la suma de las longitudes de dos lados cualesquiera del triángulo formado por los tres puntos debe siempre ser mayor que el tercer lado”

Existen diferentes tipos de distancias como la de Mahalanobis, la distancia promedio, la distancia Euclídea o la **Distancia entre Señales**, que es la que se usa en el análisis que se va a realizar en esta tesis.

Una distancia de mucha utilidad en varios procesos (como el método jerárquico que se explica posteriormente) es la distancia euclídea, que se calcula mediante la expresión (3.12):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{s=1}^p (x_{is} - x_{js})^2} \quad (3.12)$$

A continuación se indica el proceso para el cálculo de las **Distancias entre Señales** temporales. Preliminarmente se dio a conocer que, la metodología presentada sirve para la construcción de diferentes matrices de datos que se van a usar para los diferentes tipos de análisis, por lo que las variables e individuos varían dependiendo de lo que se requiera realizar. Adicionalmente, se especificó que para el caso particular de análisis se tenían datos en tres dimensiones y que una de ellas debía ser eliminada. La dimensión en particular que requiere ser eliminada es el tiempo, por este motivo se requiere un artificio matemático que permita embeber el tiempo dentro de la variable “armónico”. Para esto se utiliza el concepto de **Distancias entre Señales** [30].

Se empieza con la normalización de las señales en función del tiempo $x_i(t)$. La ecuación (3.13) indica los datos necesarios para realizar la normalización; en la inicialización se usa el primer valor de las señales x_{i0} , también interviene el valor promedio \bar{X} .

$$X_i = x_i(t) - x_{i0} - \bar{X} \quad (3.13)$$

Donde \bar{X} se calcula mediante la expresión:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N_a} x_i(t)}{N_a} \quad (3.14)$$

N_a es número de señales a ser analizadas

Se define X_{ij} como la diferencia entre las señales temporales.

$$X_{ij} = X_i(t) - X_j(t) \quad (3.15)$$

Con estas consideraciones se puede calcular la distancia entre señales discretas δ_{ij} con la siguiente fórmula:

$$\delta_{ij} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^T X_{ij}^2(t) dt} \quad (3.16)$$

De esta forma, se calcula una matriz de disimilaridad para cada variable eléctrica temporal w (serie de tiempo) que interviene en el análisis multivariante, por ejemplo los armónicos influyentes, con la expresión (3.16). Cada matriz de distancias formada tendrá la estructura que se indica:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & \delta_{21} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & 0 & \dots & \delta_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \delta_{n1} & \delta_{21} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Donde n , es el número de señales temporales que intervienen. Luego se procede a la construcción de la correspondiente matriz de similitud (similar a la de covarianzas pero para individuos) Q , la cual se la obtiene con (3.18).

$$Q = -\frac{1}{2} \left[I - \frac{1}{n} 11' \right] D \left[I - \frac{1}{n} 11' \right] \quad (3.18)$$

La matriz se puede representar por los autovalores y autovectores propios, de la siguiente manera:

$$Q = V \Lambda V' \quad (3.19)$$

Donde V tiene un rango $n \times p$ que contiene los vectores propios y Λ es la diagonal de valores propios de la matriz Q . Con estos valores se pueden calcular las coordenadas principales Y y conjuntamente se puede crear un espacio multidimensional de matriz de datos.

$$Y = V\Lambda^{1/2} \quad (3.20)$$

La matriz Y contiene las nuevas variables ortogonales, las cuales mantienen las distancias originales de las coordenadas principales. Si se parte de una matriz de datos X y se calcula a partir de estas variables la matriz de distancias y luego se aplica el método descrito a esta matriz de distancias no se obtienen las variables originales, sino sus componentes principales.

Con la técnica anterior se forma una nueva matriz de datos, en este trabajo se la denomina X_datos ; a esta matriz reducida se le aplica otro tipo de análisis, que es el de conglomerados o también llamado "clustering" basado en FCM, el cual se lo explica más adelante.

$$X_datos = [Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_w] \quad (3.21)$$

3.6.2 ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS [39]

Es un equivalente a coordenadas principales y componentes principales, con la variante de que este tipo de análisis se usa para variables cualitativas y la distancia que usa es la ji-cuadrado. Esta técnica descriptiva busca representar las tablas de contingencia en una matriz de datos. Una **tabla de contingencia** es una tabla de números positivos la cual tiene en cada casilla la frecuencia absoluta que se observa al combinar dos variables cualitativas en n elementos, de orden $I \times J$. El análisis de correspondencias busca resumir la información que contiene la tabla de contingencia.

Con la tabla de contingencia, se procede a buscar la mejor proyección tanto de filas como de columnas; para esto se define una matriz de frecuencia relativa F la cual se la obtiene al dividir la matriz de contingencia para n el total de elementos. Las frecuencias relativas que verifican se denominan f_{ij} .

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J f_{ij} = 1 \quad (3.22)$$

A las I filas de la matriz F se las puede ver como I puntos en un espacio \mathfrak{R}^J y a las J columnas como puntos en el espacio \mathfrak{R}^I , se trata de buscar la representación de los puntos I y J en un espacio de menor dimensión para estimar sus distancias relativas.

Para cada fila de la matriz F se asigna una frecuencia relativa, las cuales se calculan con la siguiente expresión:

$$f = F1 \quad (3.23)$$

De igual manera se realiza para cada columna, donde cada frecuencia relativa se calcula de la siguiente manera:

$$c = F'1 \quad (3.24)$$

A cada fila y cada columna se debe dar un peso proporcional a su frecuencia relativa, dando más peso a aquellas que contienen más datos. Los términos de los vectores f y c se pueden considerar como pesos debido a que son números positivos que suman uno.

Una vez realizada la mejor proyección se calcula la distancia con proyección de las filas y columnas; para esto se define previamente la matriz de frecuencias relativas condicionadas R .

$$R = D_f^{-1}F \quad (3.25)$$

Donde D_f es de orden $I \times I$ y es una matriz diagonal que contiene los términos del vector f en la diagonal principal. Del mismo modo se realiza para las columnas con la variante D_c de orden $J \times J$, y en la diagonal principal los términos del vector c .

Se procede a calcular la *Distancia Ji Cuadrada* χ^2 entre dos filas (r_a y r_b):

$$D^2(r_a, r_b) = (r_a - r_b)' D_c^{-1} (r_a - r_b) \quad (3.26)$$

Se simplifica el problema al usar una matriz de datos transformada, la cual considera una distancia euclídea entre filas (Y).

$$Y = RD_c^{-1/2} = D_f^{-1}FD_c^{-1/2} \quad (3.27)$$

Con estos valores ya se puede construir una matriz de datos Z de la siguiente forma:

$$Z = D_f^{-1/2}FD_c^{-1/2} \quad (3.28)$$

Esta nueva matriz Z representa una transformación lineal de los datos cualitativos originales. Para poder realizar la representación bidimensional, a la matriz se le aplica un procedimiento semejante al de componentes principales llamado singular value decomposition. Se calcula la matriz $Z'Z$ y se obtiene sus valores y vectores propios. Se toman los dos vectores propios asociados a los mayores valores propios menores que la unidad de la matriz Z . Se calculan las proyecciones con la ecuación (3.29) y se representa gráficamente en un espacio bidimensional.

$$Ya_i = RD_c^{-1/2} = D_f^{-1}FD_c^{-1/2}a_i, \quad i = 1, 2 \quad (3.29)$$

3.6.3 ANÁLISIS DE CLUSTERING

Esta es una de las principales herramientas de la metodología data mining. Los conjuntos de datos pueden estar previamente clasificados en categorías llamadas "clases"; pero si este no es el caso se puede hacer clusters o agrupamientos, la cual define clases asociadas con los datos.

El análisis clustering tiene por objeto unir de manera homogénea los elementos en función de las similitudes de estos (que se obtienen de las variables). La agrupación se da de tal forma que los elementos parecen caer de forma natural en conjunto, es decir, los datos dentro de un grupo son similares entre sí y diferentes a los datos que pertenecen a otros grupos. Trata de reconocer patrones de comportamiento de los individuos en un grupo de variables; también se conoce

a este análisis como “métodos de clasificación automática o no supervisada” [30][39].

Existen métodos de partición y métodos jerárquicos, para desarrollar estos algoritmos se utilizan la matriz de datos y la matriz de distancias simultáneamente. En esta tesis se usan dos tipos de algoritmos de clustering, uno de partición (FCM) y otro jerárquico (en combinación con dendrogramas).

3.6.3.1 Método de partición: Algoritmo Fuzzy c-means (FCM)

Esta herramienta matemática trata de buscar grupos de datos mediante la participación difusa. Cada punto de datos pertenece a un grupo con un cierto grado de pertenencia, es decir, un punto de datos dado puede pertenecer a varios grupos con su propio grado de pertenencia entre 0 y 1.

FCM se basa en la minimización de la función de costos J para poder dividir el conjunto de datos.

$$J = \sum_{i=1}^{cl} \sum_{j=1}^n u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (3.30)$$

Donde u_{ij} es el grado de pertenencia o membresía de la j -ésima observación en el i -ésimo cluster, n es el número de puntos de datos, cl es el número de clusters, $m = [1, \infty)$ es el tamaño del exponente. Para d_{ij} se usa la expresión (3.31), es la distancia euclídea entre el i -ésimo centroide del cluster (c_i) y la j -ésima observación (x_j).

$$d_{ij} = \|c_i - x_j\| \quad (3.31)$$

Para la implementación del algoritmo es necesario que la función de costo llegue a su mínima expresión, esto se lo realiza usando las ecuaciones (3.32) y (3.33).

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad (3.32)$$

$$u_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{cl} \left(\frac{d_{ij}}{d_{kj}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (3.33)$$

La optimización es iterativamente llevada a cabo con las dos condiciones anteriores hasta llegar a un criterio de parada. La salida del FCM comprenden los centroides de los clusters c_i y la matriz de funciones de membresía U (cuyos elementos son cada u_{ij}) [30].

3.6.3.2 Método jerárquico: El Dendrograma

Como su nombre lo indica los métodos jerárquicos tratan de clasificar los elementos de un conjunto en una jerarquía; para llegar a este objetivo se parte de una matriz de distancias, que se la calcula usualmente con la distancia euclídea. El software Matlab permite realizar este cálculo con el comando `pdist`, que calcula la distancia entre pares de objetos de una matriz de datos y la distancia euclídea se encuentra por default pre programada. Con la matriz de distancias ya armada es posible aplicar un método aglomerativo. Para este método se debe cumplir una de las siguientes reglas:

- Encadenamiento simple
- Encadenamiento completo
- Media de grupos
- Método del centroide

En Matlab el comando que se usa es `linkage`, el cual se usa en este trabajo con el método `average` o media de grupos:

$$d(r,s) = \frac{1}{n_r n_s} \sum_{i=1}^{n_r} \sum_{j=1}^{n_s} dist(x_{ri}, x_{sj}) \quad (3.34)$$

Donde:

n_r es el número de objetos en cluster r

x_{ri} es el i -ésimo objeto en un cluster r

Finalmente se pueden observar gráficamente las agrupaciones con el dendrograma. Esta herramienta es una representación gráfica del método jerárquico aglomerativo. Viene de la palabra dendro=árbol, por eso se lo conoce como árbol jerárquico. Este diagrama presenta el resultado del agrupamiento, mediante muchas líneas de conexión \cap en forma de árbol. La altura de cada \cap representa la distancia entre los dos objetos que están conectados.

3.7 ANÁLISIS SEMANAL

La caracterización semanal busca identificar el comportamiento de los armónicos durante los días de la semana, conocer qué días tienen un comportamiento parecido en cuanto a generación de armónicos; esto para cada PMU instalada en el SNI. Para este propósito se realizan varios análisis concatenados de acuerdo a lo mostrado en Figura 3.13, teniendo en cuenta los pasos preliminares para la formación de la matriz de datos, mostrada en Figura 3.1.

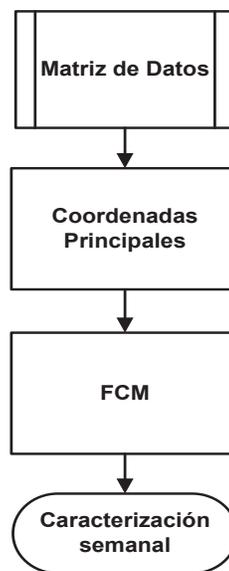


Figura 3.13 Metodología caracterización semanal

La matriz de datos inicial de dimensiones $n \times p$, tiene como variables los 50 armónicos y como observaciones los valores promedio de cada diez minutos de los siete días (sobre la base de lo especificado en la normativa). De esta matriz se toman los armónicos que hayan superado el 10% del valor determinado por la norma (criterio definido luego de varios experimentos) con lo cual se estructura una nueva matriz de serie de datos. La nueva matriz de serie de datos tiene como variables los siete días de la semana y como observaciones los valores promedio da cada diez minutos de un armónico en particular; este proceso se lo realiza para cada armónico influyente que superó el porcentaje definido como criterio. A esta nueva matriz se le aplica la transformación de coordenadas principales, previamente explicada, con el propósito de determinar clusters de días en función del comportamiento del armónico influyente.

Primero se necesita calcular la matriz de disimilaridad, para lo cual se calcula la media de la matriz de datos y se aplica también la ecuación (3.13), el proceso se lo realiza columna por columna; en este caso i es la variable (los valores de cada diez minutos). La media se calcula con la función de Matlab mean. Una vez obtenidos los resultados, se procede a calcular las distancias de las señales discretas con la ecuación (3.16), donde ij son los individuos y las variables respectivamente. Se procede a calcular las matrices de similitud para cada armónico; por ejemplo si los armónicos son el 5 y 7 se calculan las matrices de distancia D_5 y D_7 , matrices de similitud Q_5 y Q_7 , y con el uso de los autovectores y autovalores se calculan las matrices de coordenadas principales Y_5 y Y_7 . Con las últimas matrices se forma una nueva matriz de serie de datos $X_{5,7} = [Y_5 \ Y_7]$.

La nueva matriz es el punto de partida del algoritmo FCM, el cual deberá agrupar los días de la semana dependiendo de los diferentes puntos de datos multidimensionales en un número especificado de grupos, para esta consideración se experimenta con dos, tres y cuatro grupos llegando a la conclusión que semanalmente se tienen tres agrupaciones de días; este valor puede variar dependiendo del criterio que tome la persona que realiza el análisis.

El proceso anterior se lo realiza para todas las semanas durante seis meses, lo cual dará una amplia visión de la caracterización semanal en este período de tiempo.

3.8 ANÁLISIS DIARIO

Esta caracterización trata de mostrar la conducta de los armónicos durante varios periodos del día, qué rangos de tiempo se comportan de manera similar y en cuáles se tiene mayor presencia de armónicos. La principal herramienta para esta caracterización va a ser el análisis de clustering jerárquico (dendrograma). El proceso resumido se lo puede ver en la Figura 3.14.

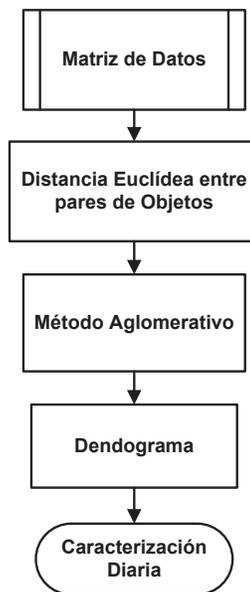


Figura 3.14 Metodología Caracterización Diaria

Previamente se construye la matriz de datos de series de tiempo con los armónicos más influyentes de una PMU en un determinado día, se toma el valor de uno de estos armónicos en el período de una semana. La matriz del armónico de una semana va a ser de orden $m \times n$ donde las observaciones m tienen

valores del 1 al 144 (intervalos de diez minutos en un día) y las variables n del 1 al 7 que representan los días de la semana.

$$H_{na_p,q} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,7} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,7} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{144,1} & x_{144,2} & \dots & x_{144,7} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Donde na es el número del armónico, p es la semana y q el mes a analizar.

A esta matriz se le calcula la distancia entre pares de objetos, la distancia usada es la euclídea comando `pdist` de la cual se obtiene un vector con 10296 elementos. La formación de un árbol jerárquico que va a agrupar los datos se la realiza aplicando el comando `linkage` y finalmente para ver los resultados gráficamente se emplea el comando `dendrogram` que tiene por entrada la matriz del árbol jerárquico.

3.9 ANÁLISIS MENSUAL

El objetivo de este análisis es determinar un patrón de comportamiento de los armónicos influyentes los días de la semana durante un mes. Esta caracterización se la realiza usando como datos los resultados obtenidos con anterioridad en el análisis semanal. Los datos van a ser utilizados para realizar un análisis de correspondencias y luego se usa la herramienta del dendrograma para la agrupación de los días durante el mes. La Figura 3.15 muestra la metodología que se usa.

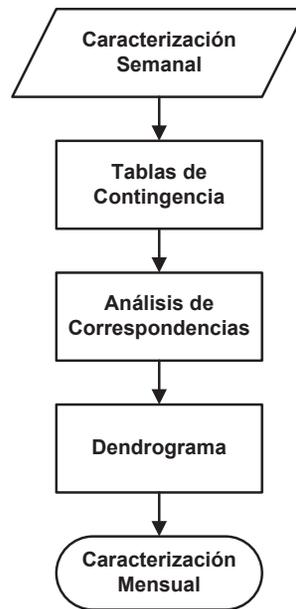


Figura 3.15 Metodología Caracterización Mensual

Primero se determinan las tablas de contingencia, con la información de la caracterización semanal. Para ilustrar esto se presenta el siguiente ejemplo: primero, en la Tabla 3.4 se muestran los resultados de la caracterización semanal de un mes, donde los valores mostrados representan la pertenencia de cada día a un determinado cluster (1, 2 ó 3).

Tabla 3.4 Caracterización semanal de un mes

Semana/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	3	1	1	3	3	2	3
2	1	2	2	1	3	1	3
3	3	1	1	1	2	3	2
4	1	2	3	1	1	1	1

Luego se procede al análisis, se toma como referencia el día lunes y se pinta de un color; todos los números de cluster (de la semana) que tengan el mismo valor se pintan del mismo color. Terminado el procedimiento con las cuatro semanas del mes, se toma el segundo día como siguiente referencia y se realiza el mismo procedimiento anterior. Finalmente los valores que quedan se los pinta de otro

color. Ahora se procede a armar la tabla de contingencia con los datos obtenidos, la cual tiene como información la cantidad de veces que cada día pertenece a cada cluster.

Tabla 3.5 Tabla de Contingencia

Día/Grupo	G1	G2	G3
Lunes	4	0	0
Martes	0	4	0
Miércoles	0	3	1
Jueves	3	1	0
Viernes	2	0	2
Sábado	3	0	1
Domingo	2	0	2

Una tabla de contingencia va a tener como columnas las variables, para el caso las tres agrupaciones de los clusters, y como filas el conjunto de elementos conformado por los siete días de la semana. Luego se procede con el análisis de correspondencias, explicado en la sección 3.6.2; calculando la matriz de frecuencias relativas F seguido de las matrices de frecuencias relativas de filas D_f y columnas D_c , con esto ya se puede construir la matriz de datos Z .

A la nueva matriz Z se le aplica el procedimiento singular value decomposition, esto para obtener la representación bidimensional. Con esta técnica se deben calcular los valores propios (D) y los vectores propios (V) de $Z'Z$, en el software Matlab se calculan los valores propios y vectores propios con la función eig. De las componentes obtenidas se usan las dos primeras $V1$ y $V2$. Con los vectores propios y la matriz Z se calcula la proyección llegando a la matriz de componentes Ya ; los individuos de esta matriz representan el comportamiento generalizado de los días de las cuatro semanas y brinda una especie de resumen para el mes. Finalmente se usa el análisis jerárquico calculando las distancias entre pares de elementos, seguido del árbol jerárquico y por último la representación gráfica en un dendrograma.

3.10 ANÁLISIS GEOGRÁFICO

Lo que se pretende obtener con este análisis es el comportamiento de los armónicos detectando zonas en el SNI que presenten una conducta parecida en cuanto a comportamiento de armónicos. Para este análisis, previamente se hizo el análisis de los armónicos que superan el valor determinado por la norma, tanto para corriente como para voltaje. De este proceso se determina que en algunos casos se tienen problemas de quinto armónico tanto para corriente como para voltaje. De igual manera, se determinan qué armónicos intervinieron más en el análisis semanal, de esta forma se tiene que: para voltaje los armónicos que superaron el 10% de la norma en la mayoría de los casos fueron el tercero y séptimo, y para corriente el séptimo; adicionales al quinto armónico que ya se lo mencionó con anterioridad.

Una vez determinados los armónicos de las PMUs que se van a analizar, se procede a armar la matriz de datos y se sigue un procedimiento similar al mostrado en Figura 3.13, adaptado los elementos de la matriz; pero en lugar de tener la caracterización semanal, se obtiene la caracterización geográfica.

Los elementos de la matriz de series de tiempo de datos son como variables las 22 PMUs, y como observaciones los valores de cada diez minutos de un determinado armónico durante una semana, un día tras otro. Para determinar la semana, se toma en cuenta aquella que no haya tenido problemas en la descarga de datos, es decir, que los problemas de outliers sean mínimos.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo describe los resultados obtenidos aplicando la metodología propuesta, los pasos que se siguen para su obtención tomando como ejemplo los datos de una PMU o de un lapso de tiempo determinado dependiendo de lo que necesite usar el método; y si se da el caso de que algunos datos superen la norma, estos serán utilizados para los ejemplos. También se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

4.1 PREPARACIÓN DE DATOS

La dificultad inicial, para la realización de las caracterizaciones deseadas, se presenta el momento en que los datos son extraídos. En la sección 0 se explica el procedimiento para descargarlos de la base de datos del PDC. La principal herramienta a usar es el software Matlab, el cual permite abrir y cerrar ficheros e importar y exportar datos con diversos programas; pero el tipo de fichero (.CSV) con el cual se descargan los datos no es compatible con el programa por este motivo es necesario preparar los datos que se bajan de las PMUs. De igual manera, se va a aprovechar la modificación de este tipo de archivos, para colocar nombres sencillos (de preferencia números) y en una carpeta determinada, esto para que al momento de la programación en Matlab se puedan implementar lazos sucesivos, debido a que se dispone de una gran cantidad de archivos a analizar, siendo los bucles la mejor opción.

La Figura 4.1 muestra cómo se presentan los datos el momento de ser descargados. Este tipo de Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel (.CSV) junto con otro de tipo Firefox HTML Document (.html) se descargan en una carpeta que lleva el nombre que se coloca en la interfaz usuario máquina de PDC que permite bajar los datos; los archivos llevan el mismo nombre

adicionando la fecha en la que fueron descargados, como se muestra en la Figura 4.2.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Date Time [UTC-05:00];PQM:LOJA_VILL_69/Harmonics/Harmonics Min10/CurrentA/Harmonics/H02/MagAvr;PQM:LOJA_VILL_69/Harmonics/Harmonics													
05/01/2014 00:00:00;0.0743983834981918;0.301719814538956;0.039012860506773;0.524098932743073;0.00842691585421562;0.0634240731596947;0.0077002658508718;0.007993945882469416;0.00999924317002296;0.323741495609283;0.0327622331678867;0.428139269351959;0.00933521799743176;0.115799605846405;0.0085218228118181;0.00663753505796194;0.00808956027030945;0.350483477115631;0.0353025831282139;0.31856045126915;0.0081158597022295;0.0789472162723541;0.00559721607714891;0.00849934220314026;0.307013034820557;0.0347139574587345;0.372491478919983;0.00806610658764839;0.0943441241979599;0.00754554988816381;0.00814525485038757;0.312802821397781;0.0356116555631161;0.363187551498413;0.00785027630627155;0.0968657582998276;0.00680582411587238;0.0825820863246918;0.309146136045456;0.0374879725277424;0.330104291439056;0.007428494772811;0.0980915278196335;0.00663753505796194;0.0859116241335869;0.33330225944519;0.0374843031167984;0.345836132764816;0.00761653576046228;0.0970214903354645;0.0067010847851634;0.0814113989472389;0.367231458425522;0.0365190282464027;0.350148051977158;0.00802989955991507;0.0806958451867104;0.0064424932934348;0.0745499283075333;0.34718364471576;0.0362815000116825;0.305358946323395;0.0082858800880615;0.0690456926822662;0.00563175836578012;0.0441810265183449;0.239732295274734;0.027649050578475;0.398573994636536;0.00785717088729143;0.0318595133721828;0.00566661451011896;0.0493603982031345;0.253150969743729;0.0297538135200739;0.439411103725433;0.00799093302339315;0.0499238669872284;0.00571871316060424;0.0456153824925423;0.237527415156364;0.0284857489168644;0.435325562953949;0.00824899785220623;0.0368122309446335;0.00561923068016768;0.01-02_05 [2014-05-01 05-00-00-000]													

Figura 4.1 Ejemplo archivo tipo .CSV descargado de una PMU



Figura 4.2 Modo como se descargan los datos del PDC

Para cambiar el tipo de archivo (.CSV) a una Hoja de cálculo de Microsoft Excel (.xlsx) con la cual ya se puede trabajar en Matlab, se realiza un programa en lenguaje Visual Basic (VBA Visual Basic for Applications) también denominada “Macros de Excel”, dicho programa se presenta en el ANEXO 1. Como se puede ver en la Figura 4.1 los datos se encuentran en una columna separados por una coma entre dato y dato; lo primero que realiza el programa es cambiar este formato, pone cada dato en una celda como se ve en la Figura 4.3. Luego de realizar la modificación de la distribución de los datos en la hoja de cálculo, el programa procede a guardarlo con el tipo de archivo .xlsx. El programa permite realizar estas acciones de manera consecutiva, abre un archivo realiza los cambios, los guarda y cierra el archivo, dando paso al siguiente archivo.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	Date Time [UTC-05.00]	PQM:LOJA \											
2	06/01/2014 00:00:00	35.395654	0.1294217	0.4514475	0.0638841	1.0421268	0.0159652	0.1423142	0.0146143	0.0171239	0.0067783	0.0293308	0.0062729
3	06/01/2014 00:00:20	33.44827	0.0861931	0.4395418	0.0637004	1.0630898	0.0124378	0.1363614	0.0106665	0.0171721	0.0062059	0.0344602	0.0062658
4	06/01/2014 00:00:40	31.942997	0.0942621	0.4548695	0.0668749	1.0682033	0.0140872	0.119747	0.0130415	0.0219784	0.0051348	0.0342329	0.0054925
5	06/01/2014 00:01:00	31.31511	0.1120103	0.4861748	0.0698075	1.06521	0.0101151	0.1201301	0.0132749	0.0196368	0.0054126	0.0321261	0.0054252
6	06/01/2014 00:01:20	31.949027	0.09711	0.4612385	0.0679728	1.0851556	0.0141094	0.135396	0.0134311	0.0170144	0.0067879	0.0356699	0.0052357
7	06/01/2014 00:01:40	32.697014	0.1294153	0.5003208	0.0626979	1.0807708	0.0120043	0.1410748	0.0122907	0.0195456	0.0045131	0.033223	0.0066326
8	06/01/2014 00:02:00	32.84196	0.1180201	0.4624298	0.0654687	1.0750609	0.0151025	0.1421876	0.0137688	0.0154156	0.0057052	0.0396926	0.0055787
9	06/01/2014 00:02:20	31.928732	0.1219051	0.4935473	0.0629199	1.0636647	0.0122017	0.1298935	0.0121137	0.0174526	0.0069941	0.0376724	0.0057161
10	06/01/2014 00:02:40	31.522873	0.1216018	0.4014545	0.0688412	1.0661082	0.0120407	0.1229164	0.0150235	0.0169818	0.0060616	0.0336479	0.0049218
11	06/01/2014 00:03:00	30.93633	0.0893039	0.412205	0.0656585	1.0512659	0.0173402	0.1210032	0.0116347	0.0178703	0.0056406	0.0325234	0.0052418
12	06/01/2014 00:03:20	31.257069	0.1284027	0.4350713	0.0696898	1.0580556	0.0107618	0.1147547	0.0138287	0.0166185	0.0062187	0.033094	0.0058788
13	06/01/2014 00:03:40	30.479728	0.1024824	0.4407521	0.0631958	1.0514816	0.013023	0.1051444	0.0134389	0.0148517	0.0066302	0.0362328	0.0063866
14	06/01/2014 00:04:00	28.827234	0.1297461	0.4392138	0.0620541	1.0476885	0.0124349	0.089502	0.016439	0.016881	0.0060642	0.0336973	0.0063707
15	06/01/2014 00:04:20	27.965898	0.1239427	0.4080423	0.0659429	1.0710175	0.0144044	0.0817653	0.0125513	0.0180478	0.0068083	0.033098	0.0052873
16	06/01/2014 00:04:40	27.883383	0.1189065	0.4637263	0.0654149	1.0556372	0.0122479	0.0849482	0.0129242	0.0193584	0.0062027	0.030466	0.0047018
17	06/01/2014 00:05:00	28.24478	0.1081162	0.4531841	0.0661522	1.0496988	0.0160527	0.0913247	0.0158337	0.0192227	0.0069727	0.0310883	0.0054268
18	06/01/2014 00:05:20	29.493264	0.1284455	0.4309108	0.0626351	1.0506375	0.016018	0.1059212	0.0130153	0.0175182	0.006475	0.0363787	0.0049181
19	06/01/2014 00:05:40	30.507523	0.1172112	0.5014696	0.0630719	1.0364929	0.0112172	0.1168951	0.0146089	0.015148	0.0055028	0.0378639	0.005569
20	06/01/2014 00:06:00	30.388802	0.1074633	0.4997371	0.0670446	1.0417519	0.013465	0.1165141	0.0119459	0.0125635	0.0060128	0.0360612	0.0062177
21	06/01/2014 00:06:20	30.861459	0.0961673	0.4911593	0.0629072	1.0421251	0.0166224	0.1341204	0.0134727	0.0145044	0.0065559	0.0389656	0.0062271

Figura 4.3 Ejemplo documento descargado modificado

La nueva hoja de Excel se almacena en la misma carpeta que estaban almacenados los otros archivos, para que el bucle en Matlab que se va a ejecutar se lo pueda hacer es necesario sacarlo de esa carpeta y colocar en otra la cual contenga los archivos .xlsx del mes, como se ve en Figura 4.4. Este procedimiento se lo realiza mediante programación en MS-DOS. Este nuevo programa se lo realiza debido a la gran cantidad de archivos; si se abre la carpeta, se cambia el archivo de carpeta y se sigue al que continua significa una pérdida de tiempo, por lo que el programa lo realiza de manera inmediata, ahorrando tiempo y esfuerzo. El código del programa se muestra en el ANEXO 2. De esta forma se tienen listos los archivos para ser utilizados.

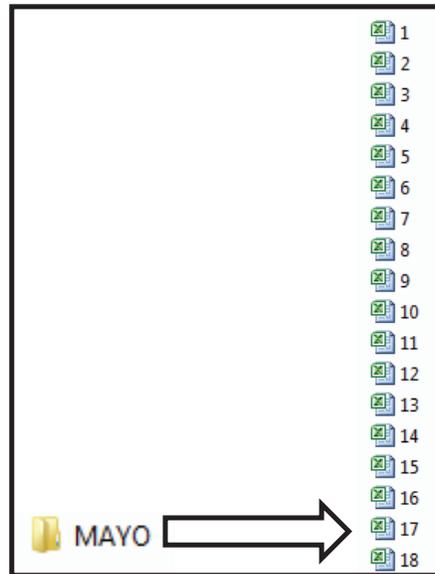


Figura 4.4 Almacenamiento de los archivos mensuales en una carpeta

Pero el tipo de archivo no es el único problema que se presenta para la realización de los análisis; uno de los mayores problemas es el tamaño que tiene cada carpeta de datos que se descarga y a esto se le suma el tiempo que se demora en descargar dichos datos. Por ejemplo, si se descargan los datos de armónicos de un día de una PMU y de una fase, con una tasa de 60 mediciones por segundo, se tiene un tamaño de 1,87GB y un tiempo de espera de aproximadamente media hora. Se debe tomar las siguientes consideraciones:

- Se va a hacer el análisis de seis meses
- Son 22 PMUs
- Existen armónicos de corriente y voltaje
- Los datos de las PMUs son de tres fases
- El módulo de calidad permite bajar datos de armónicos diarios, de cada diez minutos y de cada 24 horas.
- Aparte de los armónicos se tiene la opción de descargar las tasas de distorsión armónica

Por estas razones es importante considerar una tasa de muestreo menor, pero que no cause distorsiones en los análisis. En la siguiente sección se muestra el

criterio que se toma para este problema. Y la última razón para tomar una tasa de muestreo menor, es que los programas como Matlab no pueden trabajar con una exagerada cantidad de datos, se puede colgar el programa o se demoraría días en realizar las acciones deseadas.

4.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Lo primero que se va a realizar es definir un tiempo de muestreo adecuado. Para todos los procedimientos se toma como referencia la norma [21] la cual dice que los datos se registran cada diez minutos. Se experimenta con varios tiempos de muestreo cambiando la frecuencia de toma de datos: una muestra por segundo (tasa de muestreo original), una muestra cada cinco segundos, una muestra cada diez segundos y una muestra cada veinte segundos. El proceso se lo hace para diferentes PMUs tomando intervalos de diez minutos de distintas horas del día, se compara la tasa de muestreo original con las otras opciones. Se usa el análisis univariante y se van descartando tiempos de muestreo, hasta lograr tener una tasa de muestreo con la cual los datos descargados tengan un tamaño conveniente de almacenamiento (no tan grande, capaz de ser almacenado en algún dispositivo) y el tiempo de descarga no tarde demasiado. Finalmente se queda con una muestra por segundo y una muestra cada veinte segundos.

La Tabla 4.1 presenta una muestra del análisis univariante (los quince primeros armónicos), se escoge al azar un intervalo de diez minutos de los datos de armónicos de voltaje de la PMU instalada en Loja-Villonaco; se muestran las medias de los datos, los coeficientes de variación y los errores relativos al usar 20 segundos como intervalos de muestra en lugar de un segundo.

Tabla 4.1 Análisis Univariante para determinar un tiempo de muestreo

N° Arm.	Media 1 seg. (V)	Coef. Variación 1 seg	Media 20 seg. (V)	Coef. Variación 20 seg	Error relativo de las medias (%)
2	5.35	0.21	5.12	0.19	4.23
3	114.33	0.04	114.57	0.04	0.21

4	2.74	0.14	2.72	0.15	0.58
5	282.66	0.01	282.71	0.01	0.02
6	2.52	0.23	2.52	0.20	0.01
7	59.60	0.05	59.55	0.06	0.08
8	2.55	0.13	2.54	0.15	0.70
9	72.50	0.02	72.58	0.02	0.12
10	2.34	0.13	2.30	0.17	1.68
11	25.64	0.10	25.77	0.11	0.54
12	1.95	0.10	1.96	0.08	0.68
13	25.65	0.14	25.45	0.17	0.75
14	1.91	0.09	1.89	0.10	0.93
15	8.04	0.04	8.00	0.04	0.59

Si se observan los coeficientes de variación de los datos muestreados cada segundo y cada 20 segundos, es posible apreciar que éstos no varían demasiado entre sí y al considerar el error relativo entre las medias, los errores tampoco superan el 5%, por lo que se verifica que un intervalo de muestreo de 20 segundos no provoca pérdida de información relevante. En este sentido, para el análisis realizado en este trabajo se procede a tomar los valores de cada 20 segundos, sin cometer mayor error ni perder datos importantes. Con esta consideración en adelante la tasa de muestreo es de una cada veinte segundos.

La siguiente parte del análisis descriptivo se centra en conocer cuál es el comportamiento de un armónico en cuanto a su distribución durante el día. Este estudio se lo realiza en Microsoft Excel, el cual ofrece herramientas amigables con el usuario para el objeto que se desea; en este caso se usa la herramienta histograma y la función curtosis. El ejemplo continúa con los datos de la PMU Loja-Villonaco, tanto para los armónicos tercero y quinto de corriente como de voltaje.

Primero el tercer armónico; en la Figura 4.5 muestra el histograma de la distribución del armónico tres de corriente (intervalo de diez minutos) y en la Figura 4.6 el de voltaje (de un día). Para conocer la distribución se calculan los coeficientes de curtosis los cuales resultan valores de -0,749 y de -0,504 respectivamente; al tener un valor negativo indica que la distribución es platicúrtica, es decir, una distribución relativamente plana.

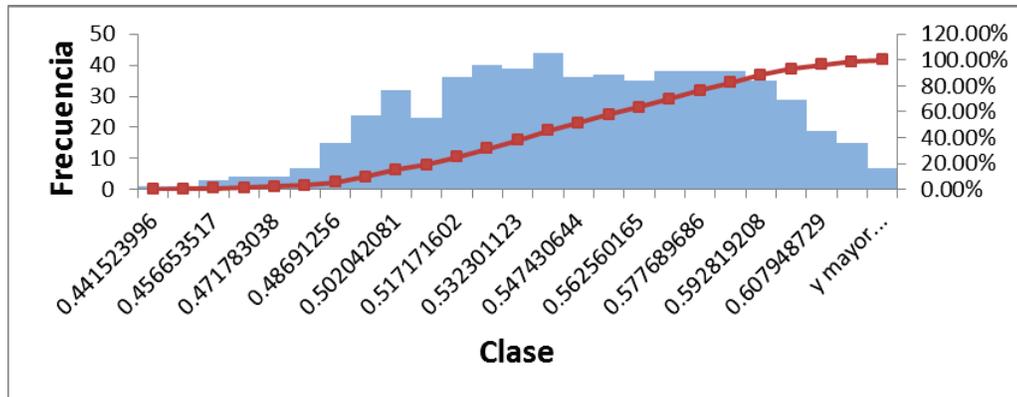


Figura 4.5 Histograma armónico 3 (corriente)

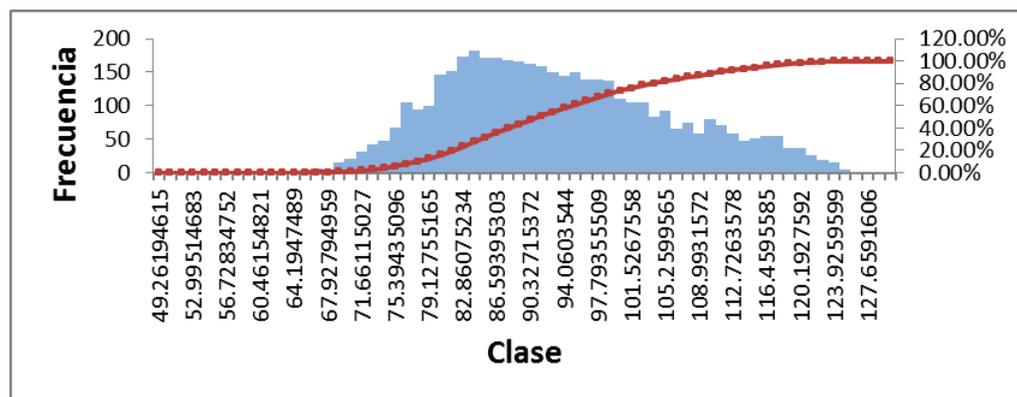


Figura 4.6 Histograma armónico 3 (voltaje)

Ahora se presentan los resultados del quinto armónico, en la Figura 4.7 se presenta el histograma de la distribución del armónico de corriente y en la Figura 4.8 el histograma de la distribución diaria del armónico de voltaje. Los valores de curtosis para estos casos son de 0,025 y de 0,585. La curtosis positiva indica que se tiene una distribución leptocúrtica, es decir, se tiene una distribución relativamente elevada.

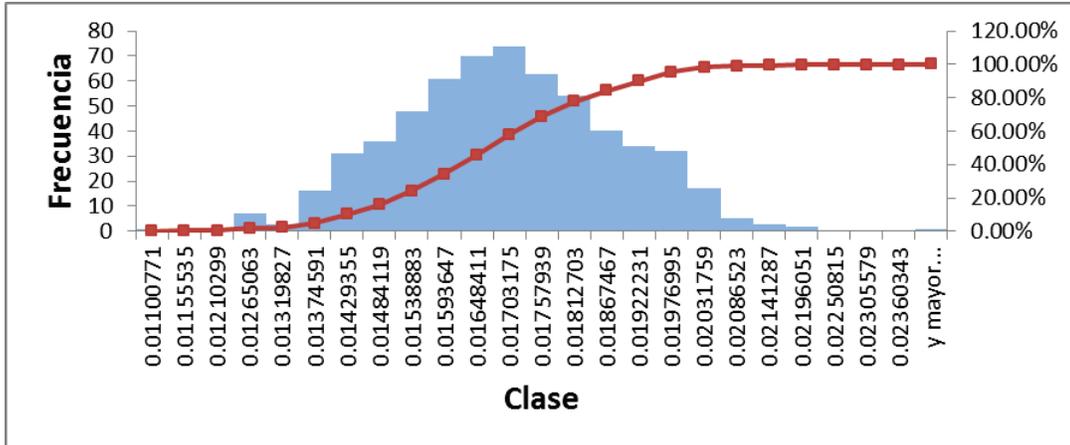


Figura 4.7 Histograma armónico 5 (corriente)

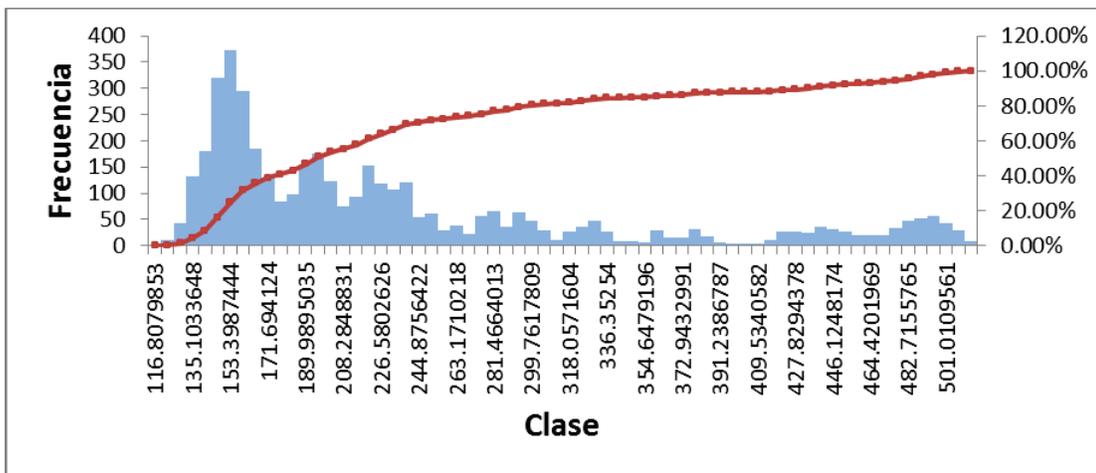


Figura 4.8 Histograma armónico 5 (voltaje)

En la curva de color rojo se muestra el porcentaje acumulado de los valores. Con el estudio anterior, se tiene una idea de cuál es el comportamiento de los armónicos; a continuación se procede con la minería de datos, para poder sacar patrones de comportamiento y encontrar las similitudes entre ellos.

4.3 DETECCIÓN DE ARMÓNICOS QUE SUPERAN LA NORMA

Como ya se ha dicho, todos los análisis se basan en [16], por lo cual el primer paso es cambiar de unidades a porcentaje; en el caso de la corriente en

porcentaje de I_c y para el voltaje en porcentaje del voltaje nominal de operación V_n de la barra. Ahora se procede a comparar los valores determinados por la norma con los valores de los datos obtenidos.

Se realiza un programa (ANEXO 3) en el software Matlab, el cual indicará si sobrepasa el valor de la norma, el mes y día que sucedió y qué armónico fue el que sobrepasó dicho valor. En la Figura 4.9, se muestra un ejemplo de cómo se muestra lo indicado antes, la PMU es Molino-AT1 y es el análisis de los armónicos de voltaje. El análisis se lo realiza para los 50 armónicos que se tienen diariamente durante uno o varios meses de análisis.

```

si supera mayo
el dia es 4
el armonico es 5
si supera agosto
el dia es 31
el armonico es 5
si supera septiembre
el dia es 7
el armonico es 5
si supera septiembre
el dia es 13
el armonico es 5
si supera septiembre
el dia es 14
el armonico es 5
si supera septiembre
el dia es 20
el armonico es 5

```

Figura 4.9 Ejemplo Salida de resultados que superan la Norma

Una vez realizado el proceso para los seis meses, las 22 PMUs y los armónicos tanto de corriente y de voltaje, se determina dónde se tienen potenciales problemas de armónicos, esto se resume en la Tabla 4.2. Dependiendo de la cantidad de días a lo largo de los seis meses en los que la norma sea superada se clasifica en poco, medio o mucho.

Tabla 4.2 PMUs con problemas de armónicos

Subestación	Posición	Voltaje			Corriente		
		Poco	Medio	Mucho	Poco	Medio	Mucho
Quevedo	Pascuales 1			X	X		
Santa Rosa	Pomasqui 1			X		X	
Salitral	ATR 138						X
Loja	Villonaco						
Milagro	San Idelfonso 1	X					

Molino	Pascuales 1						
Molino	Totoras			X			
Molino	AT1		X				
Pascuales	Molino 2			X			
Pascuales	Electroquil 3			X			
Santa Rosa	Totoras 1			X			
Santa Rosa	Totoras 2			X			
Sto. Domingo	Baba			X		X	
Sto. Domingo	Esmeraldas		X				
Totoras	Santa Rosa			X			
Zhoray	Milagro 2			X			
Montecristi	Jaramijó		X				
Pascuales	Molino 1			X			
Quevedo	ATT 138			X			X
Pomasqui	Jamondino 2			X		X	
Pomasqui	Jamondino 3			X		X	
Santa Rosa	Sto. Domingo 1			X			X

Se determina que el principal problema de armónico es el quinto, tanto para voltaje como para corriente. Pero para poder realizar la caracterización de armónicos, y usar las herramientas previamente explicadas, se procura tener más de un armónico; por este motivo se experimenta con valores menores a la norma y se decide el 10% de la norma que será el valor que deben superar los armónicos con los cuales se implementan los procesos de la metodología.

Las PMUs instaladas en Loja-Villonaco y en Molino-Pascuales no tienen problema de armónicos de acuerdo a este análisis.

4.4 CARACTERIZACIÓN SEMANAL

Ahora, con la matriz de datos de series de tiempo formada por los armónicos que superaron el valor asignado del 10% de la norma, se procede al análisis multivariante, el método completo se presenta en la sección 3.7. La forma en la que se agrupan los días de la semana varía por diferentes razones: la primera la herramienta clustering realiza distintas agrupaciones ya que los centroides varían sutilmente dependiendo de la inicialización randómica propia del algoritmo, la otra es que se debe considerar que el análisis es de seis meses así que el comportamiento de los armónicos van a variar por diferentes motivos como el cambio de patrones de consumo o la variación del despacho en forma estacional.

Los cálculos se realizan para 7392 archivos de datos, de las 22 PMUs durante el periodo de análisis considerando armónicos de corriente y voltaje. Los archivos se dividen en grupos de siete días que tiene una semana y mediante el uso de lazos sucesivos se procede a formar los clusters de toda la información. A continuación se presentan los resultados más relevantes de este proceso.

Una de las PMUs con problemas de armónicos, tanto de corriente como de voltaje, es la instalada en Pomasqui-Jamondino2. Se debe tomar en cuenta que los clusters son representados en el espacio vectorial de coordenadas principales el cual es tridimensional, por lo que las agrupaciones se pueden ver como tal o se debe mover el espacio vectorial, como se muestra en la Figura 4.10 como gira lo seleccionado en color azul, caso contrario pareciera ser que sería mejor opción que el elemento se deba colocar en otro grupo. La figura presenta los clusters formados en la primera semana del mes de agosto para armónicos de corriente.

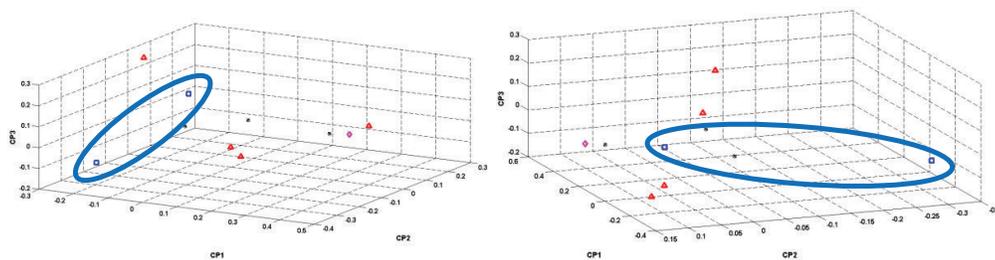


Figura 4.10 Clusters armónicos de corriente primera semana Agosto

Para la realización de la metodología, el número de armónicos que superaron el 10% de la norma fue de la mitad de armónicos que considera la norma (17 de 34). Los días se agruparon de la siguiente manera:

- Lunes
- Martes, miércoles, jueves y domingo
- Viernes y sábado

Se espera este tipo de comportamiento en la mayoría de los casos, que los días laborables tengan un comportamiento y los fines de semana otro; pero no es así como se verá más adelante. Ahora se presenta cómo se agrupan las señales de

corriente semanales de los armónicos 5 y 7, la unión se la hace por colores como se muestra en la Figura 4.11.

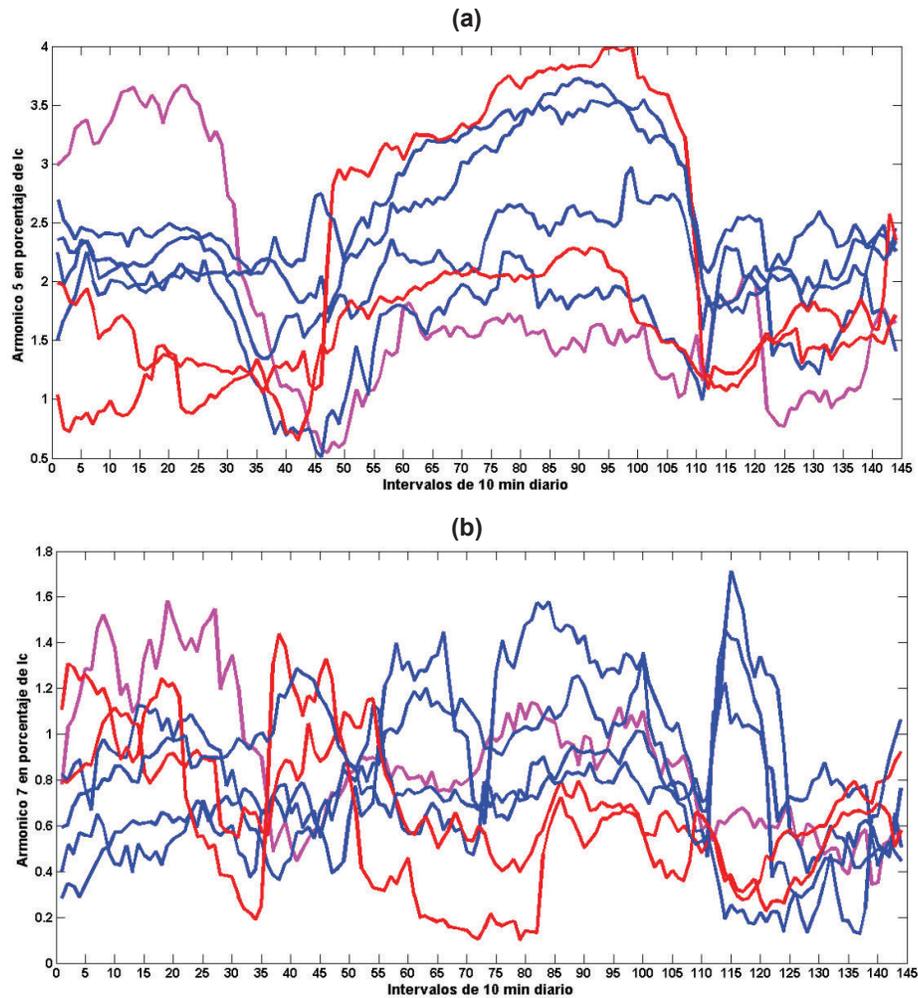


Figura 4.11 Señales de armónicos de corriente en la semana. (a) armónico 5 (b) armónico 7

La señales se unen dependiendo del tipo de comportamiento o forma que tenga la señal, no del tamaño o valor numérico, para eso en el programa se realiza una normalización de los datos, para que todos tenga el mismo origen. El lunes tiene un comportamiento singular en todos los casos, esto puede ser porque es el día de inicio de actividades y se espera una alta productividad. En la Figura 4.11 también se puede apreciar que el armónico cinco (a) sobrepasa el valor

establecido por la norma [16] de 3.5, lo que no sucede con el armónico siete (b); este problema fue detectado en la sección 4.3, pero no sucede siempre como se verá luego.

A continuación se muestran los clusters de voltaje para la misma semana. En la Figura 4.12 se pueden mirar cómo se realizan las tres agrupaciones. Se observa que no es la misma caracterización que los armónicos de corriente.

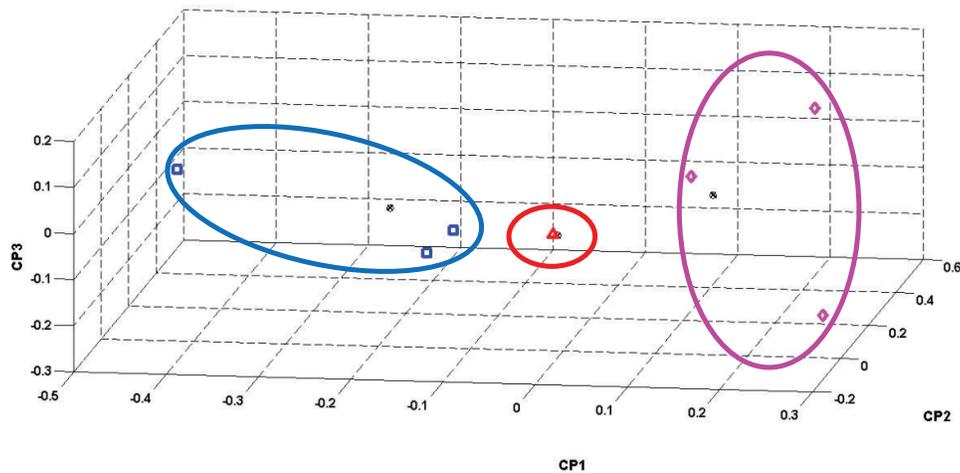


Figura 4.12 Clusters armónicos de voltaje primera semana agosto

La metodología se la aplica con cinco armónicos que superan el 10% del valor de la norma, mucho menor que los usados en la caracterización semanal de corriente. Para este caso los días se agruparon de la siguiente manera:

- Lunes, viernes y sábado
- Martes, miércoles y jueves
- Domingo

Las agrupaciones se asemejan a los clusters de corriente, es decir, días laborables y fines de semana; con la excepción del lunes el cual tiene otro comportamiento. Para voltaje se detectó que los armónicos 3, 5 y 7 son los más influyentes en casi todas las PMUs, por eso se muestra el comportamiento de estos tres tipos de armónicos en la semana de estudio.

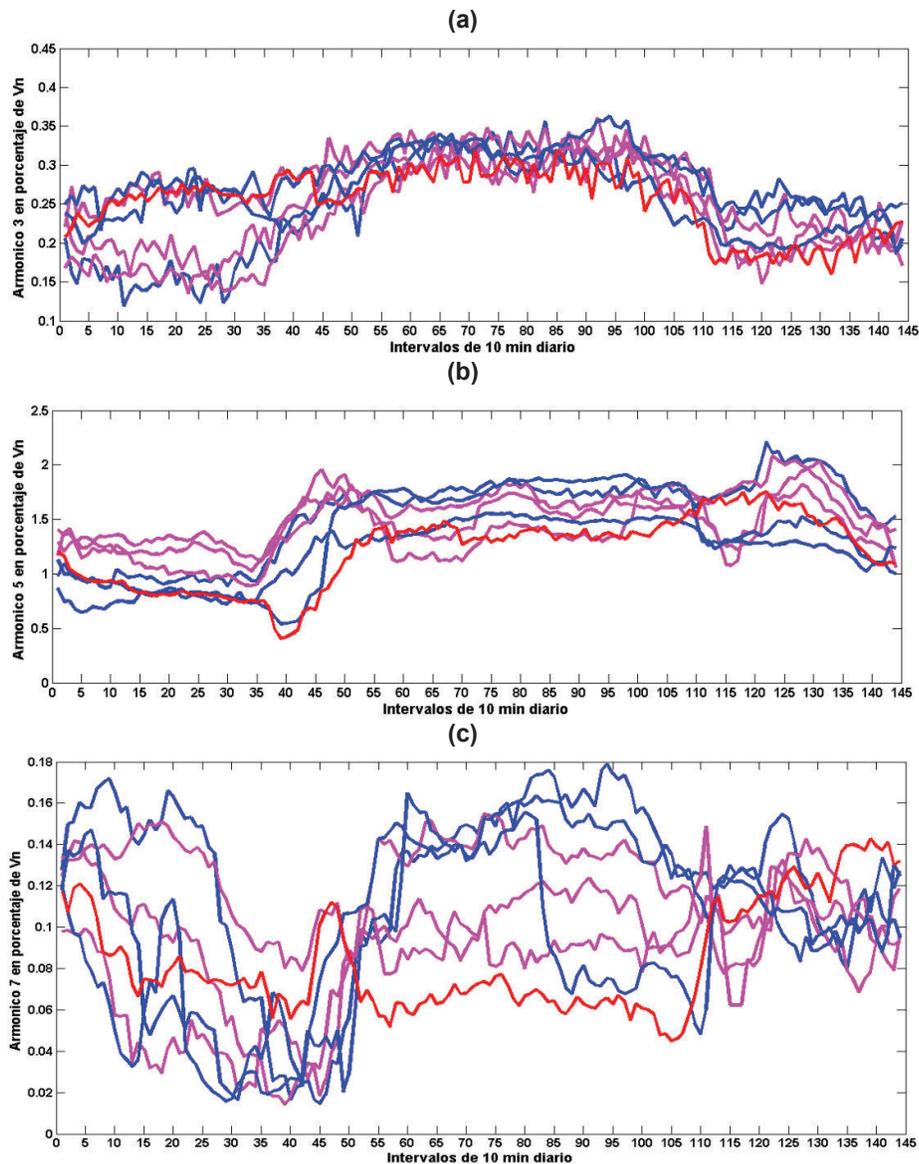


Figura 4.13 Señales de armónicos de voltaje en la semana. (a) armónico3
(b) armónico5 (c) armonico7

También se puede observar en la Figura 4.13 (b) que el armónico cinco sobrepasa el valor límite normado de 1, en todos los días de la semana.

Pero no siempre armónicos de corriente y voltaje se agrupan de distinta manera en la semana. Se considera que el mes de agosto (del análisis anterior) los estudiantes de la Sierra y Amazonía ecuatoriana se encuentran en vacaciones de verano; por esto ahora se va a considerar otra semana en la que cambien estas

condiciones. Se escoge la segunda semana de septiembre para el próximo análisis.

Se va a presentar los clusters de corriente y voltaje, junto con la forma en la que se agrupan las señales del quinto armónico (sobrepasan norma) de cada caso. Se inicia con los armónicos de corriente, en la Figura 4.14 se muestran los tres clusters que se forman. Al igual que el anterior mes, el número de armónicos que superan el 10% de la norma, para la realización de los algoritmos, es alto (20) por lo que si se considera, se podría considerar un mayor porcentaje como el 20 % o 30% de la norma; por ahora se considera el mismo valor.

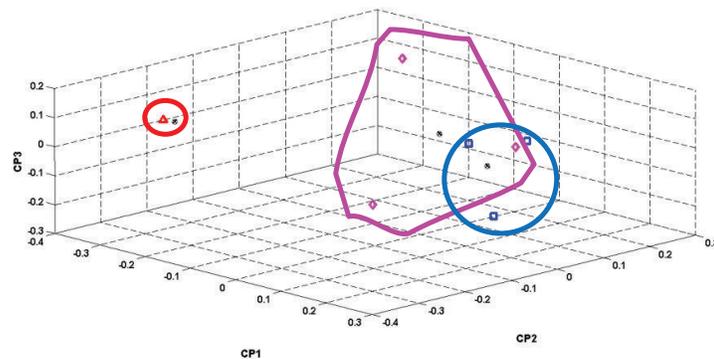


Figura 4.14 Clusters armónicos de corriente segunda semana septiembre

Las agrupaciones se forman de la siguiente manera:

- Lunes, martes y miércoles
- Jueves, viernes y sábado
- Domingo

Se continúa con el patrón de comportamiento similar los días laborables de la semana y los fines de semana. En la Figura 4.15 se muestra el comportamiento del armónico cinco en los intervalos de diez minutos diarios para los siete días, las agrupaciones se dan de acuerdo a los colores de las señales.

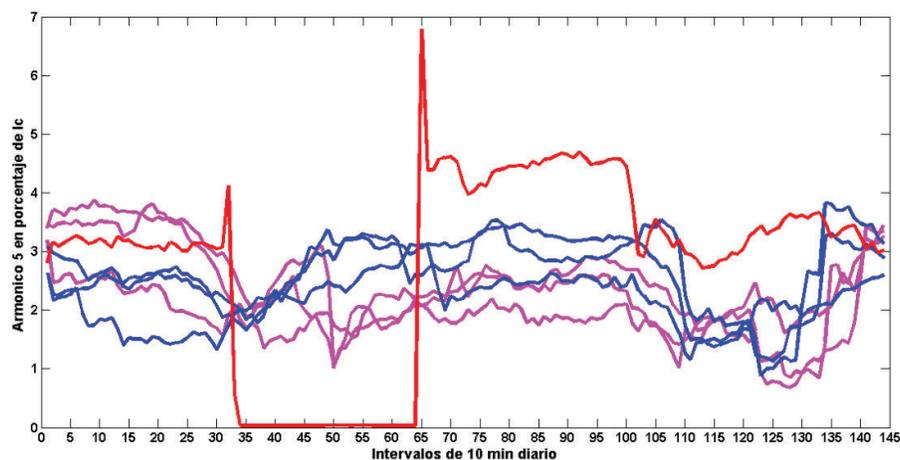


Figura 4.15 Señales de armónico 5 de corriente en la semana

Se puede observar que durante esta semana se tienen problemas de quinto armónico, además se ve que existió algún evento en el intervalo 35 de diez minutos ($350/60 = 5.8$ horas se produce el evento, aproximadamente) el cual hizo que los valores de corriente entregados al sistema sean casi cero. El evento fue una falla en el sistema colombiano (Central Termoguajira). El cambio brusco que se presenta en este período de tiempo se muestra en Figura 4.16, el día del evento es el 14 de septiembre del 2014.

5	09/14/2014 05:17:40	99.9089548	0.0395214	0.2078318	0.15675732	5.93110789	0.14823839	2.56074945	0.04696557	0.05631276
6	09/14/2014 05:18:00	99.7868735	0.04357383	0.15520895	0.15162196	5.6770919	0.16441945	2.6090345	0.04519059	0.05525862
7	09/14/2014 05:18:20	99.9897645	0.04223338	0.12101439	0.10893108	5.10749755	0.12538326	2.83306151	0.04080437	0.05788465
8	09/14/2014 05:18:40	99.5295787	0.0683455	0.1223579	0.13988517	4.74738274	0.12670851	3.00119803	0.03792077	0.04916043
9	09/14/2014 05:19:00	99.5811675	0.07576912	0.2440101	0.19145072	6.15454897	0.15817617	2.7075567	0.04583317	0.05333705
10	09/14/2014 05:19:20	99.220661	0.31916529	0.33066159	0.32040726	4.58524134	0.32257551	2.95859551	0.11899963	0.04312218
11	09/14/2014 05:19:40	99.233157	0.39127274	0.33741424	0.38567916	6.97419651	0.33432337	2.73109174	0.11568606	0.08141353
12	09/14/2014 05:20:00	98.8458197	0.2774089	0.33976142	0.4820588	8.32394168	0.38428916	2.37719235	0.11430187	0.06945678
13	09/14/2014 05:20:20	98.5086954	0.25568023	0.36233924	0.3055587	9.71007589	0.31649027	2.37711027	0.09999184	0.070542
14	09/14/2014 05:20:40	0.03315251	0.03106612	0.03676325	0.03401213	0.03497245	0.03570758	0.0286611	0.03812808	0.02844745
15	09/14/2014 05:21:00	0.03638977	0.03424454	0.03325774	0.0306103	0.03713105	0.0284001	0.03275454	0.03631168	0.0337412
16	09/14/2014 05:21:20	0.03207032	0.03231782	0.03580939	0.03324973	0.03368762	0.03615977	0.02940022	0.02874348	0.02968166
17	09/14/2014 05:21:40	0.04223185	0.03996012	0.03095671	0.03471032	0.03054619	0.03557859	0.03416472	0.0318109	0.03403646
18	09/14/2014 05:22:00	0.03579685	0.03297089	0.02993064	0.03292141	0.02983894	0.03359608	0.02841326	0.03532787	0.03516588
19	09/14/2014 05:22:20	0.03601634	0.03246352	0.03256248	0.03372734	0.026963	0.03217157	0.0362059	0.03006029	0.03274958
20	09/14/2014 05:22:40	0.04133713	0.03991659	0.03433808	0.03224522	0.03082367	0.03328803	0.0283531	0.03525734	0.02890974
21	09/14/2014 05:23:00	0.03625781	0.02982465	0.02772343	0.03601546	0.0343486	0.03458264	0.03171324	0.03083805	0.02944211
22	09/14/2014 05:23:20	0.03839447	0.03420635	0.0301837	0.03395875	0.03145692	0.03212626	0.02848037	0.03611003	0.03098091
23	09/14/2014 05:23:40	0.03603852	0.03434578	0.03577909	0.02583233	0.02919064	0.02842225	0.02859876	0.03088035	0.03081998
24	09/14/2014 05:24:00	0.037056	0.03610136	0.03318383	0.02515265	0.02895788	0.03184749	0.02899538	0.03413012	0.03049752
25	09/14/2014 05:24:20	0.03718648	0.03621342	0.03148146	0.02613343	0.03144343	0.0300024	0.03229509	0.03708131	0.02595263

Figura 4.16 Datos donde existe caída brusca corriente

Una vez mostrados los datos de armónicos de corriente, se procede con los clusters de días formados con los armónicos de voltaje. La Figura 4.17 muestra el espacio vectorial con las agrupaciones formadas.

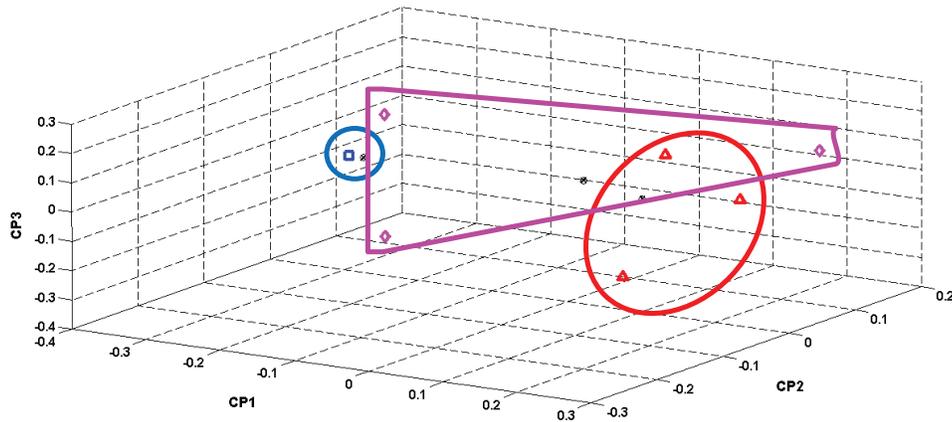


Figura 4.17 Clusters armónicos de voltaje segunda semana septiembre

En este caso los grupos son iguales que los formados con los armónicos de corriente, es decir:

- Lunes, martes y miércoles
- Jueves, viernes y sábado
- Domingo

De igual manera se presentan las señales de voltaje del armónico 5 diario durante una semana, en la Figura 4.18. También se observa que presenta problemas de armónicos al superar el valor de la norma para armónicos de voltaje del 1%.

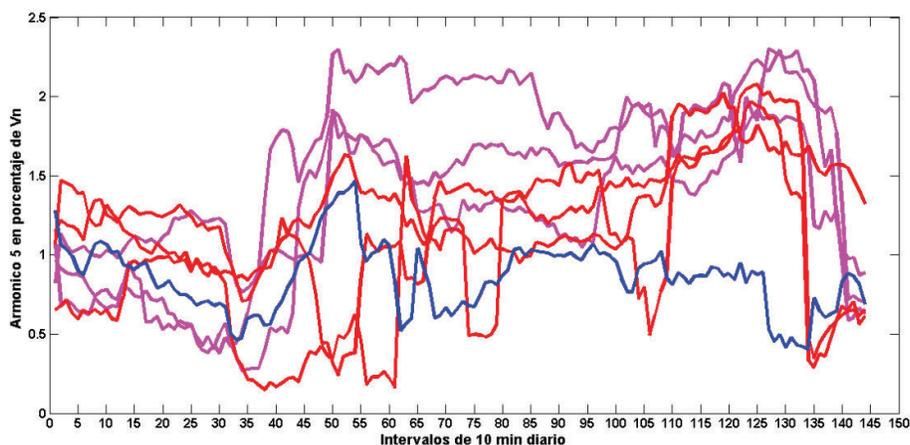


Figura 4.18 Señales de armónico 5 de voltaje en la semana

Realizado este tipo de simulaciones para los seis meses de análisis, se obtienen los resultados que se presentan en las Tabla 4.3 y Tabla 4.4, que contiene los datos de la forma en que se realizaron la agrupaciones de armónicos de corriente y voltaje respectivamente.

Tabla 4.3 Caracterización Semanal Pomasqui-Jamondino2 (armónicos de corriente)

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	2	3	2	3	1	1
	2	2	2	2	3	2	2	1
	3	3	1	1	1	1	2	2
	4	1	3	3	1	1	2	3
Junio	1	2	3	3	3	3	1	1
	2	3	1	3	3	3	2	1
	3	3	3	3	2	1	1	1
	4	3	3	3	2	1	2	2
Julio	1	3	3	2	2	2	2	1
	2	3	2	1	3	3	2	2
	3	3	1	2	2	1	2	2
	4	2	1	1	3	1	2	2
Agosto	1	3	2	2	2	1	1	2
	2	2	1	1	2	1	3	2
	3	2	1	3	3	1	1	1
	4	2	2	3	2	2	1	1
Septiembre	1	1	2	2	2	2	3	2
	2	1	1	1	3	3	3	2
	3	1	2	1	1	1	1	3
	4	3	3	1	1	2	2	1
Octubre	1	3	3	1	3	1	3	2
	2	1	2	1	2	1	3	2
	3	3	2	2	2	2	1	1
	4	2	3	3	3	3	1	3

Tabla 4.4 Caracterización Semanal Pomasqui-Jamondino2 (armónicos de voltaje)

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	1	1	1	1	2	2
	2	2	1	1	1	1	1	3
	3	1	3	2	3	1	2	2
	4	2	1	1	1	1	1	3
Junio	1	3	2	2	2	2	1	1
	2	1	2	2	2	2	2	3
	3	3	1	1	2	2	2	1
	4	1	2	1	1	2	2	3
Julio	1	3	2	1	2	1	1	1
	2	2	2	1	2	2	1	3
	3	1	3	2	2	2	3	3
	4	2	1	2	1	1	1	3
Agosto	1	1	2	2	2	1	1	3
	2	3	1	3	3	1	2	2
	3	1	2	2	2	3	2	1
	4	1	1	3	1	1	2	2
Septiembre	1	2	3	3	3	3	1	3
	2	2	2	2	1	1	1	3
	3	2	3	2	2	2	2	1
	4	3	2	1	1	1	3	1
Octubre	1	1	1	3	1	1	1	2
	2	2	2	2	3	1	1	3
	3	1	3	3	3	1	1	2
	4	2	1	1	1	2	2	3

Ahora bien, se dijo que una de las principales causas de generación de armónicos son las cargas no lineales y por ende los elementos de electrónica de potencia; esto se puede percibir en las tecnologías que usan los parques eólicos las cuales pueden ser fuentes de armónicos. En el Ecuador el parque eólico Villonaco es el único parque no convencional de mediana capacidad monitoreado por la PMU Loja-Villonaco; por eso en seguida se presentan los clusters semanales de corriente y voltaje junto con las señales del quinto armónico para cada caso, de esta manera se podrá ver si existe o no problemas de armónicos.

Se inicia con la caracterización semanal de armónicos de corriente, se considera el mes de agosto ya que durante este mes suelen ser los días más ventosos. En la Figura 4.19 se pueden ver los tres clusters de días.

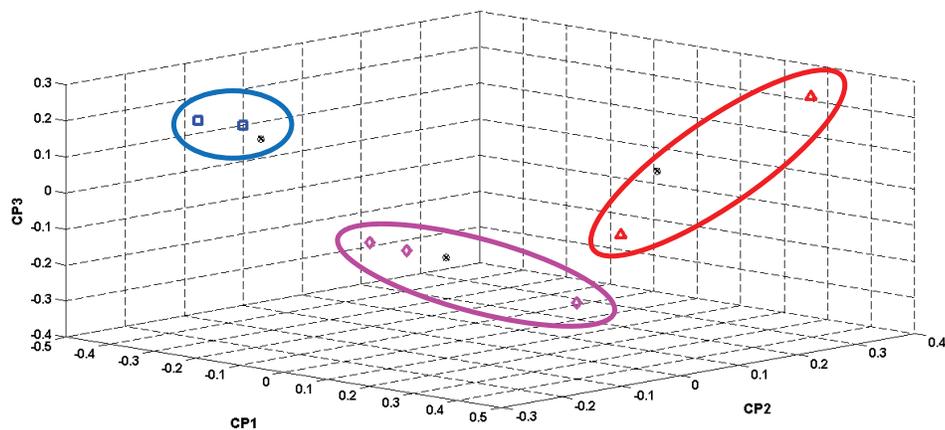


Figura 4.19 Clusters armónicos de corriente segunda semana agosto

Los grupos de días se presentan en la Tabla 4.5. Se incluye el armónico cinco, que es el que tiene problemas en otras PMUs, este se presenta en la Figura 4.20. Se observa que las señales no superan los límites normados de 7% para porcentaje de armónico de corriente.

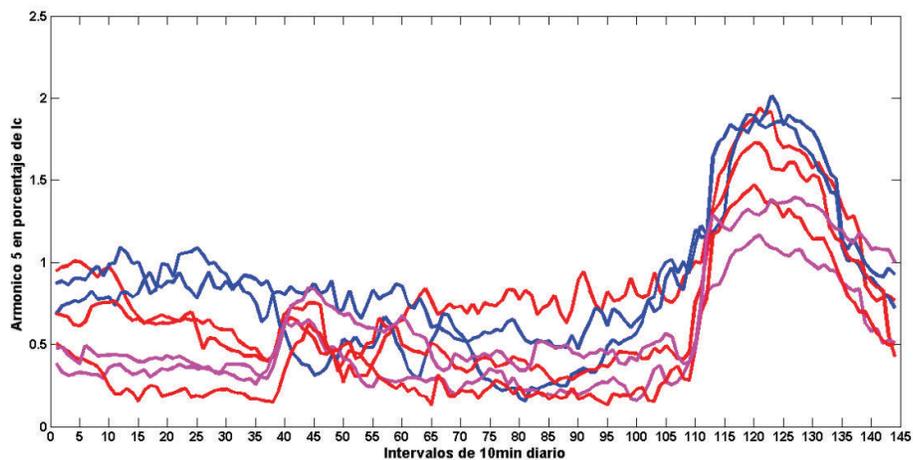


Figura 4.20 Señales de armónico 5 de corriente en la semana

A continuación, en la Figura 4.21 se presenta la manera como se agrupan los días de acuerdo al comportamiento de los armónicos de voltaje, seguido de las señales de voltaje del armónico cinco en la Figura 4.22 .

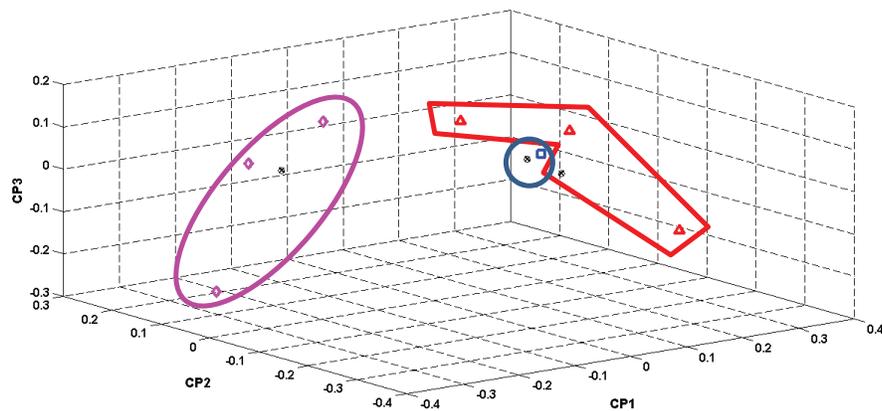


Figura 4.21 Clusters armónicos de voltaje segunda semana agosto

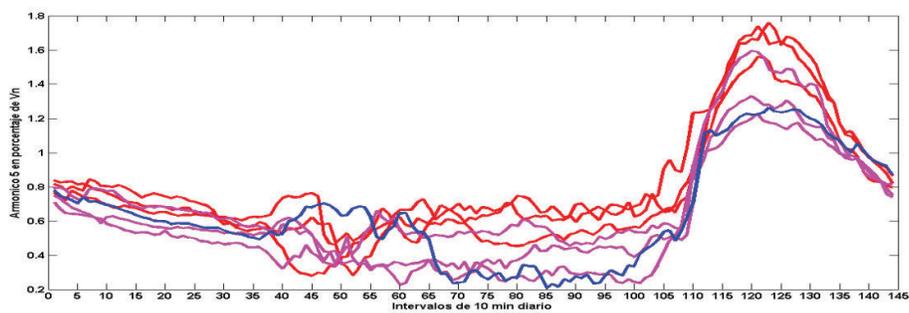


Figura 4.22 Señales de armónico 5 de voltaje en la semana

Al igual que en las señales de corriente, en este caso no se supera el valor de 3% que dice la norma. En la Tabla 4.5 se muestran los clusters de corriente y voltaje para esta semana.

Tabla 4.5 Clusters para semana 2 de agosto PMU Loja-Villonaco

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Corriente	1	2	2	1	3	1	3
Voltaje	3	3	3	1	1	1	2

Los resultados de todas las semanas de esta PMU y de las PMUs restantes se presentan en el ANEXO 4.

4.5 CARACTERIZACIÓN DIARIA

Dada la gran cantidad de días a los que se puede aplicar la metodología mostrada en 3.8 para poder obtener un patrón de comportamiento diario de los armónicos, se muestran distintos casos de estudio donde el método definido en esta tesis se aplica. En cada caso se indica la PMU de donde provienen los datos, la semana y el mes del análisis.

4.5.1 LOJA-VILLONACO, TERCERA SEMANA DE AGOSTO

Luego de aplicada la metodología propuesta se obtienen los resultados de la agrupación mediante el método jerárquico. En la Figura 4.23 se presenta el dendrograma con las agrupaciones de los intervalos de 10 minutos durante un día, para el armónico cinco de corriente. Los grupos se pueden distinguir porque están marcados con diferentes colores; este paso de selección del número de grupos depende del criterio del estadista sobre la base de los resultados de la agrupación jerárquica, en este caso se seleccionan cinco grupos.

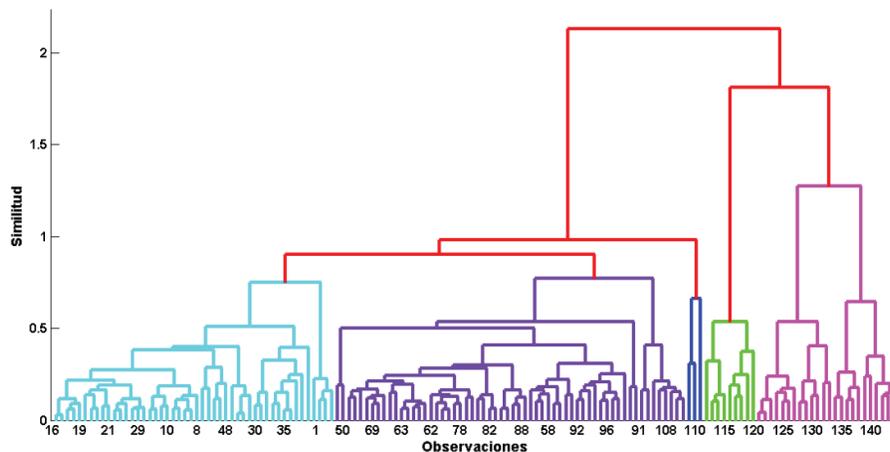


Figura 4.23 Clusters por periodos del día de armónicos de corriente

Al ser 144 valores los que tienen que ir en el eje de las abscisas, estos se sobreponen uno al otro, por esta razón, en los dendrogramas se colocan los

valores de cada cinco observaciones; pero en la Tabla 4.6 se muestran valor por valor los intervalos de diez minutos del gráfico, desde el primer valor hasta el 144. En adelante ya se asume que se toma esta consideración y únicamente se observarán valores de cada cinco observaciones.

Tabla 4.6 Valores del dendrograma diario de corriente

1	16	19	9	37	32	55	69	73	80	91	93	109	109	127	127
2	17	20	10	38	33	56	70	74	81	92	97	110	110	128	128
3	15	21	7	39	34	57	71	75	82	93	94	111	111	129	129
4	18	22	13	40	35	58	52	76	83	94	95	112	112	130	130
5	19	23	11	41	36	59	53	77	85	95	96	113	113	131	131
6	14	24	12	42	37	60	63	78	86	96	98	114	114	132	132
7	22	25	8	43	38	61	64	79	87	97	99	115	115	133	133
8	23	26	44	44	39	62	65	80	88	98	100	116	116	134	134
9	20	27	45	45	1	63	66	81	89	99	90	117	117	135	135
10	21	28	46	46	2	64	67	82	54	100	91	118	118	136	136
11	24	29	47	47	3	65	62	83	57	101	101	119	119	137	137
12	25	30	48	48	4	66	74	84	59	102	102	120	120	138	138
13	26	31	40	49	49	67	75	85	58	103	103	121	121	139	139
14	27	32	41	50	50	68	76	86	60	104	104	122	122	140	140
15	29	33	42	51	51	69	77	87	61	105	108	123	123	141	141
16	28	34	43	52	79	70	78	88	55	106	105	124	124	142	142
17	5	35	30	53	84	71	72	89	56	107	106	125	125	143	143
18	6	36	31	54	68	72	73	90	92	108	107	126	126	144	144

Para comprender mejor cómo se agrupan los periodos del día, se presenta en la Figura 4.24 la señal diaria del armónico cinco de corriente, y se señalan las agrupaciones formadas en el dendrograma.

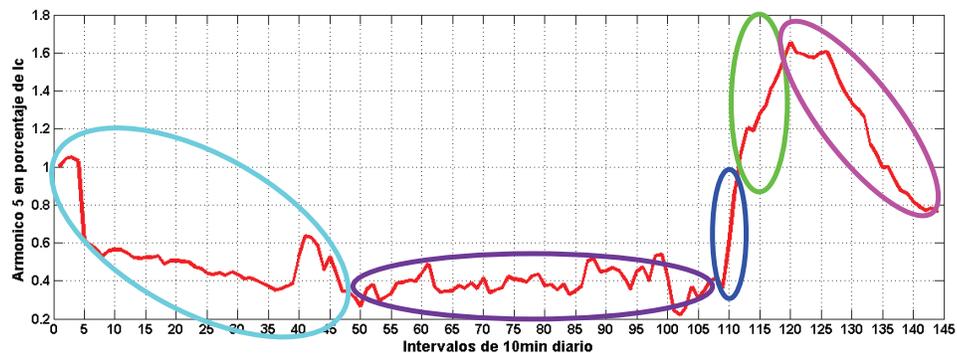


Figura 4.24 Clusters en la señal del armónico cinco de corriente

Los colores corresponden a su agrupación en el dendrograma. Los tiempos se agrupan de la siguiente manera:

Grupo 1: 1- 48 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **00:00 a 08:00** horas

Grupo 2: 49-108 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **08:10 a 18:00** horas

Grupo 3: 109-111 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **18:10 a 18:30** horas

Grupo 4: 112-120 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **18:40 a 20:00** horas

Grupo 5: 121-144 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **20:10 a 23:50** horas

Los cinco grupos formados son coherentes a lo que se esperaba obtener. El primero las horas de la madrugada donde casi no existe actividad; luego el segundo grupo el cual agrupa las horas de oficina, desde que se inician las actividades en la mañana hasta que casi se terminan; en el tercer grupo se tiene un pequeño intervalo, pero el cual se puede considerar como un pico que es desde las 18:01 horas hasta las 18:30 horas, donde obviamente va a cambiar el consumo de energía y la demanda, en la Figura 4.24 se puede ver cómo bruscamente presenta un aumento la señal de corriente; a continuación se tiene un cuarto grupo, el cual se considera un periodo de tiempo que sigue siendo un pico (como se observa en la Figura 4.24 que la señal de corriente sigue creciendo) en cuanto a la demanda de energía por el consumo a estas horas y finalmente el quinto grupo las últimas horas del día donde la demanda disminuye y de igual manera la inyección de armónicos al sistema.

Ahora se procede con el quinto armónico de voltaje, para determinar su comportamiento diario. Los clusters en forma de árbol jerárquico se pueden ver en la Figura 4.25. A primera vista se puede apreciar que la distribución es semejante

al de los armónicos de corriente, ahora bien, posteriormente se determinará si los clusters son o no los mismos.

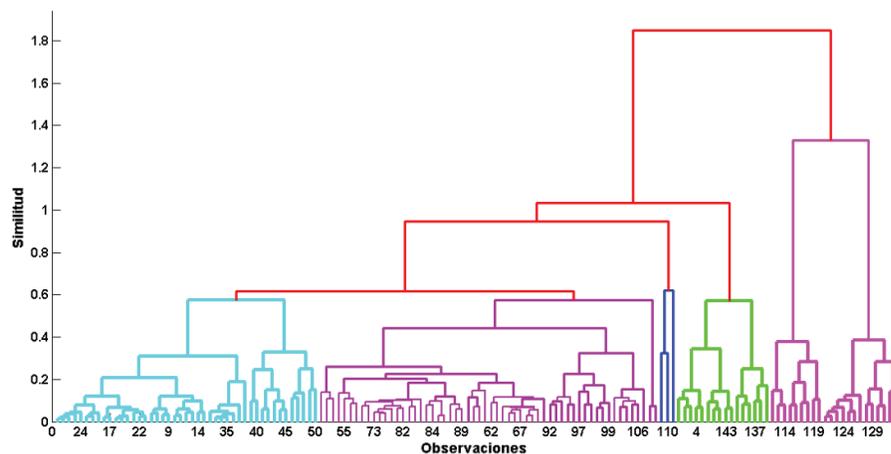


Figura 4.25 Clusters por periodos del día armónicos de voltaje

Como en el caso anterior, se procede a colocar los clusters en la señal de voltaje de un día, para ver qué períodos de tiempo tienen un patrón de comportamiento parecido. La Figura 4.26 muestra esto, de igual manera, los colores de las agrupaciones corresponden a los colores con los que se los identifica en el dendrograma.

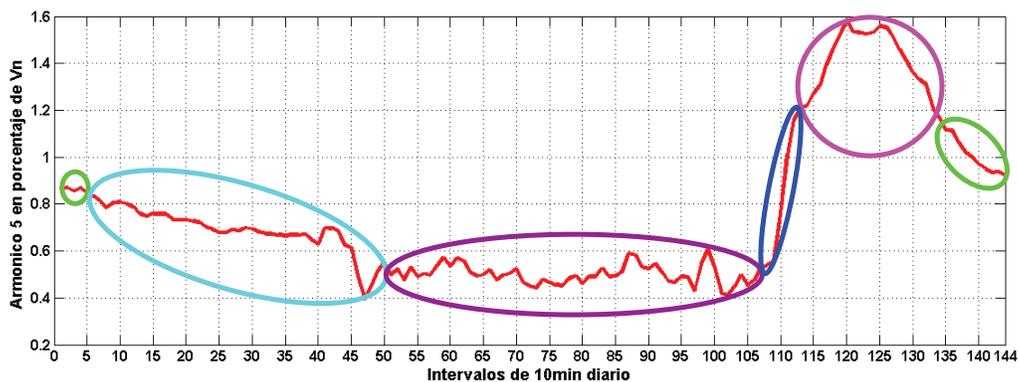


Figura 4.26 Clusters en la señal del armónico cinco de voltaje

Los intervalos de diez minutos se agrupan de la siguiente manera:

Grupo 1: 1-5 y 134-144 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **00:00 a 00:50** horas y de **22:20 a 23:50** horas.

Grupo 2: 6-50 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **01:00 a 08:20** horas

Grupo 3: 51-108 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **08:30 a 18:00** horas

Grupo 4: 109-111 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **18:10 a 18:30** horas

Grupo 5: 112-133 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **18:40 a 22:10** horas

Al igual que sucedió con el quinto armónico de corriente, aquí se presentan cinco grupos: el primero el de las horas de la madrugada, este grupo se divide en dos intervalos el de las primeras horas del día y el de las últimas; como segundo grupo se consideran también las horas de la madrugada hasta antes de las horas de oficina donde inician la mayoría de actividades comerciales, no se unen el primero y segundo grupo debido a que en el dendrograma la distancia que existe entre estos dos grupos es grande, es decir que el comportamiento tiene algún cambio significativo, por esta razón el algoritmo no los asocia. El tercer y cuarto grupos se asocian al segundo y tercer grupos del armónico de corriente, es decir, aquí se considera al tercer grupo como el de las horas laborables y al cuarto como el pico que se presenta a las seis de la tarde. Por último, el quinto grupo el de las horas de la noche hasta antes de que la mayoría de personas descansa.

En síntesis, de los resultados presentados, tanto del quinto armónico de voltaje como de corriente, se pueden evidenciar los siguientes grupos:

- Horas de la madrugada, al inicio y al final del día
- Horas laborables
- Hora pico de las seis hasta las seis y media de la tarde
- Horas pico de la noche

4.5.2 SALITRAL-ATR, PRIMERA SEMANA DE MAYO

Usando los mismos criterios del caso anterior, ahora se procede con los datos obtenidos de la PMU Salitral-ATR. Para iniciar se muestra la caracterización diaria del quinto armónico de corriente, el cual presenta problemas de sobrepasar los valores admitidos por la norma. La Figura 4.27 muestra el árbol jerárquico con las agrupaciones formadas, diferenciándose por los colores con las que se dibujan.

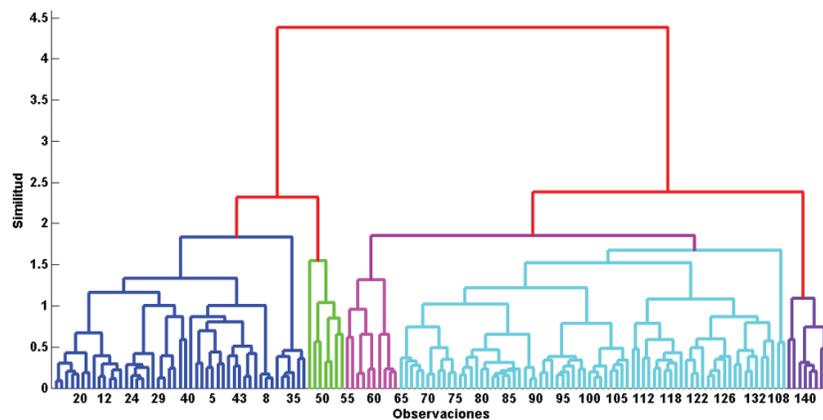


Figura 4.27 Clusters por periodos del día armónicos de corriente

Para la identificación más clara de los grupos, se muestra la Figura 4.28. Los periodos de tiempo se agrupan mediante circunferencias que llevan el mismo color que el grupo lleva en el dendrograma. En las agrupaciones no existen saltos, aunque si se tomara una cantidad de grupos mucho mayor, los intervalos de diez minutos no se agruparían sucesivamente; se pueden agrupar los primeros diez minutos con los 10 minutos de la segunda hora por tener un comportamiento parecido. Si se desea realizar pruebas con el número de clusters y tener la manera como se agrupan se puede aplicar el programa realizado que se presenta en el ANEXO 5, el número de clusters varía de acuerdo al criterio del estadista que realice el análisis.

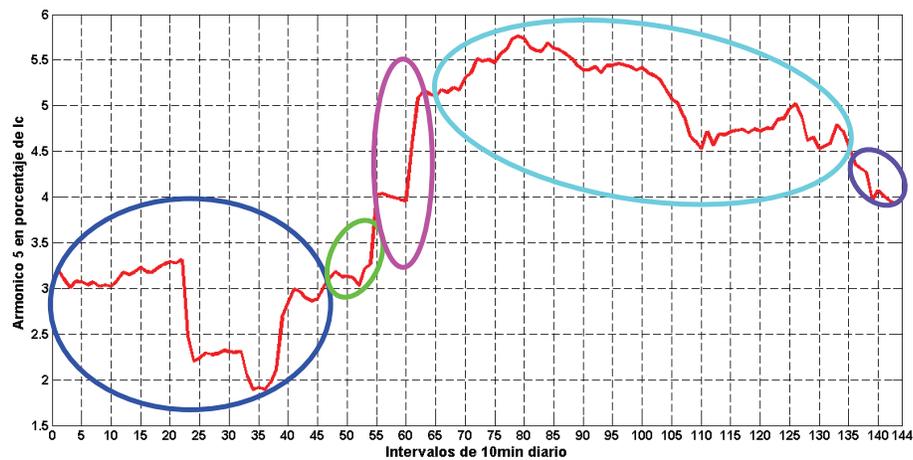


Figura 4.28 Clusters en la señal del armónico cinco de corriente

Comparando los resultados expuestos en el dendrograma con la señal de corriente mostrada, se puede decidir que el grupo de color azul, se puede dividir en tres subgrupos; pero como se verá a continuación las horas del día que se agrupan son coherentes, por lo que se deja como un solo grupo. Los intervalos del día se agrupan de la siguiente forma:

Grupo 1: 1-47 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **00:00 a 07:50** horas

Grupo 2: 48-54 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **08:00 a 09:00** horas.

Grupo 3: 55-64 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **09:10 a 10:40** horas.

Grupo 4: 65-136 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **10:50 a 22:40** horas

Grupo 5: 137-144 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **22:50 a 23:50** horas.

El primer grupo corresponde las horas de la madrugada del día hasta antes del inicio de la mayoría de actividades comerciales y escolares. El grupo dos corresponde a un pequeño pico que se forma durante una hora, la hora de entrada en las oficinas las que traen consigo un ingreso de cargas no lineales como las computadoras. Al ser una PMU ubicada en la región Costa del Ecuador, se puede inferir que el tercer grupo está formado a esas horas del día, durante las

cuales se comienzan a encender aparatos de acondicionamiento de aire, por lo que se produce el pico. En el grupo cuatro, la señal del armónico casi permanece constante durante todo el día hasta altas horas de la noche; finalizando en el quinto grupo el cual corresponde a las últimas horas del día y la demanda de energía baja al igual que la producción de armónicos.

Seguidamente se analiza la caracterización diaria del quinto armónico de voltaje de la semana en estudio. Luego de aplicar la metodología planteada, se obtiene la Figura 4.29 en la que se pueden diferenciar cinco grupos, los cuales se presentan posteriormente.

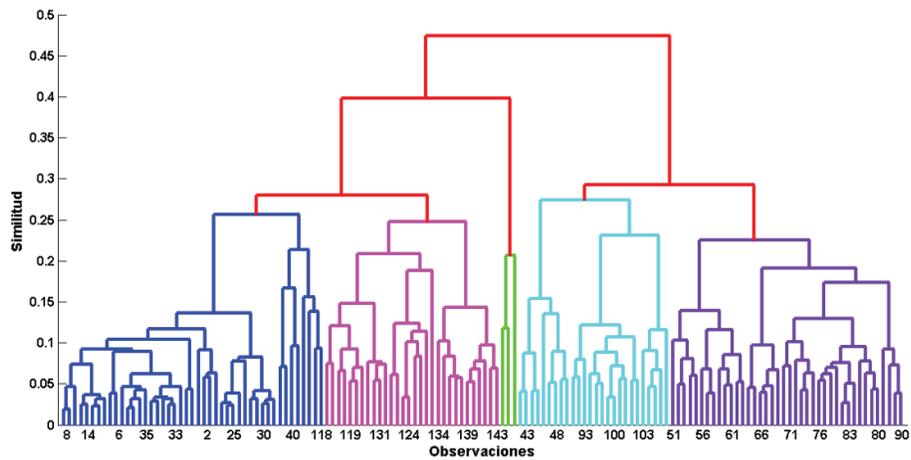


Figura 4.29 Clusters por periodos del día armónicos de voltaje

La Figura 4.30 muestra la señal del armónico durante las horas del día y las agrupaciones que se forman en base a los valores agrupados en el dendrograma.

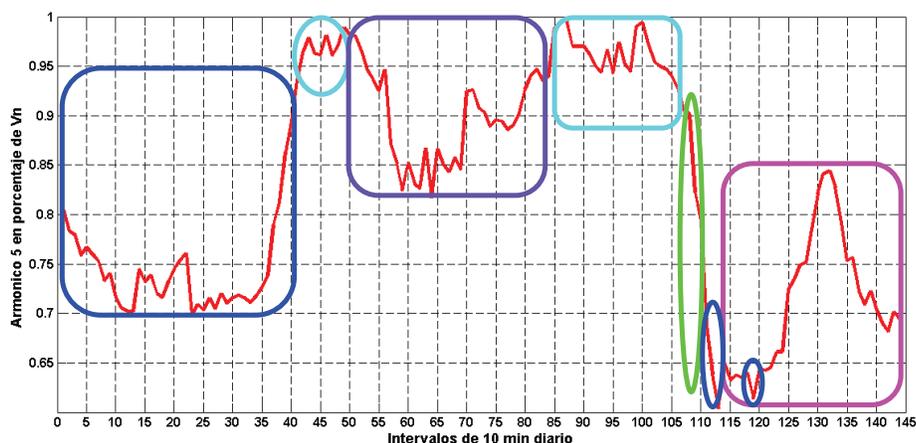


Figura 4.30 Clusters en la señal del armónico cinco de voltaje

Los intervalos del día se agrupan de la siguiente forma:

Grupo 1: 1-41, 111-113 y 118 intervalos de 10 minutos, es decir desde las **00:00 a 06:50** horas, **18:30 a 18:50** horas y **19:40** horas.

Grupo 2: 42-50 y 91-107 intervalos de diez minutos, es decir de **07:00 a 08:20** horas y de **15:10 a 17:50** horas.

Grupo 3: 51-90 intervalos de 10 minutos, es decir de **08:30 a 15:00** horas.

Grupo 4: 108-110 intervalos de 10 minutos, es decir de **18:00 a 18:20** horas.

Grupo 5: 114-144 intervalos de 10 minutos, es decir de **19:00 a 23:50**, con excepción del intervalo de las 19:40 que presenta una caída de voltaje del armónico y se ubica en el segundo grupo.

En este caso se puede mirar que el primer grupo se conforma por tres subgrupos, como se ve en la Figura 4.30 los intervalos de color azul. Se debe tomar en cuenta que el algoritmo agrupa las componentes de la matriz de acuerdo al comportamiento que tengan; por este motivo al haber una caída en el armónico de voltaje a las 19:40, se la asocia con el comportamiento de las horas de la madrugada, hasta antes del inicio de actividades. El grupo 2 también consta de

dos subgrupos de intervalos de tiempo, pero si se mira la Figura 4.30 la conducta de la señal de voltaje del armónico, es similar, por eso el algoritmo los agrupa. Al tercer grupo junto con el segundo grupo se los podría considerar como grupos de horas de oficina, que por la conducta que tuvieron en esa semana se separaron en dos grupos. El cuarto grupo, como en otros casos, se forma por los intervalos de tiempo entre las seis de la tarde y finalmente el grupo de la noche, el grupo cinco, el cual tiene un pequeño intervalo que se porta de manera distinta y pasa a formar parte del grupo 1.

4.6 CARACTERIZACIÓN MENSUAL

Si bien la caracterización semanal da la formación de clusters durante siete días, las diferentes semanas no tienen igual comportamiento. Por este motivo, se plantea realizar la caracterización mensual que permite tener una visión más amplia de la manera como se agrupan los días de la semana de acuerdo al comportamiento de los armónicos más influyentes de las 22 PMUs.

Como datos iniciales, se van a tomar los resultados de la caracterización semanal; se forman las tablas de contingencia y se aplica la metodología propuesta en 3.9 para análisis de correspondencias. Ahora bien, para tener una mejor comprensión a continuación se muestran resultados relevantes. En la sección 4.4 se trató la caracterización semanal de los datos de la PMU Pomasqui-Jamondino 2, por lo que se continúa el análisis de los datos de esta PMU para ver el comportamiento de los armónicos en los días de la semana pero durante un mes. El programa necesario para la realización de la metodología se indica en el ANEXO 6.

Luego de aplicada la metodología, la Figura 4.31 muestra la manera cómo se agrupan los días (representados por números del 1 al 7 en las observaciones) en el dendrograma del mes de septiembre, de acuerdo a los armónicos de voltaje. Este resultado puede analizarse de dos maneras como se observa: en la Figura 4.31 (a) se pueden diferenciar tres clusters, esto por los colores de los cuales son

parte cada uno, y en la Figura 4.31 (b) se forman cuatro agrupaciones. El número de grupos que se tomen depende del criterio del estadista que realice el análisis.

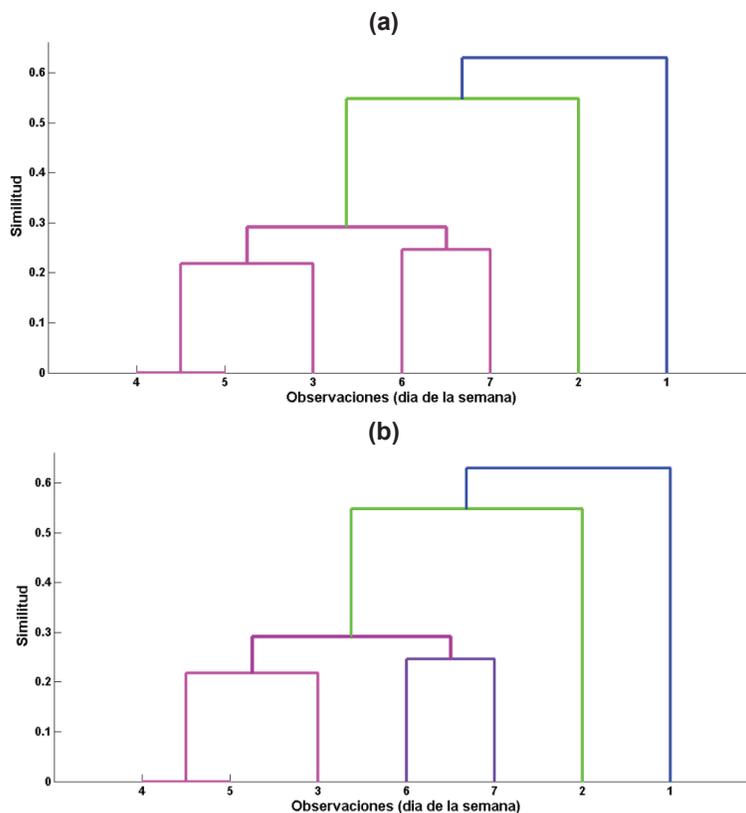


Figura 4.31 Caracterización mensual armónicos de voltaje septiembre Pomasqui-Jamondino (a) Tres clusters (b) Cuatro clusters

Los días en el mes se agrupan de la siguiente manera:

Grupo 1: lunes

Grupo2: Martes

(a) Grupo 3: miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo

(b) Grupo 3: miércoles, jueves y viernes

Grupo 4: sábado y domingo

Se puede mirar que el patrón de comportamiento no varía al que se obtuvo en 4.4, es decir, el comportamiento del día lunes es aislado de los otros días. Se

forman dos grupos principales: el de los días laborables y los fines de semana (a los que se incluye el viernes). El comportamiento del 4 y 5, es decir, de jueves y viernes, tienen una mayor similitud entre sí, la que se puede apreciar al no existir valor en el eje de similitud.

Con el propósito de mostrar el comportamiento de otras PMUs, se presentan los resultados de otros datos relevantes. Una PMU que mostró problemas de armónicos de corriente es la ubicada en Salitral-ATR, por esta razón se la toma como información relevante.

Se toma el mes de agosto, aplicando la misma metodología implementada para los armónicos de voltaje, se obtiene la caracterización mensual que se muestra en la Figura 4.32. Se detectan tres agrupaciones que se diferencian por el tipo de color del marcador.

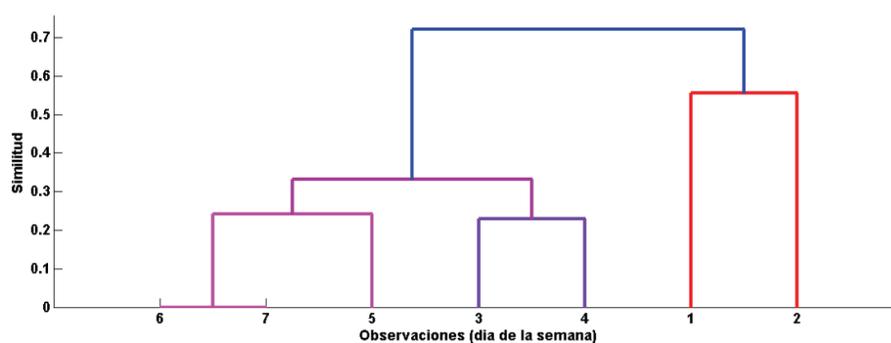


Figura 4.32 Caracterización mensual armónicos de corriente Salitral-ATR

Los tres grupos que se forman son los siguientes:

- Lunes y martes
- Miércoles y jueves
- Viernes, sábado y domingo

Es notable la gran similitud entre el comportamiento de armónicos de sábado y domingo por la forma como se encuentran unidos en el dendrograma, pero también el viernes tiene una conducta que se asemeja, no tan parecida, pero de igual manera se agrupa en este cluster de fin de semana.

Se trata de mostrar varios casos que se puedan presentar al realizar los árboles jerárquicos. Por esta razón se elige el siguiente caso: la PMU es la instalada en Quevedo-ATT, la metodología se aplicó a los armónicos de voltaje para el mes de septiembre, el resultado se muestra en la Figura 4.33. Se elige este caso debido a la forma en la que se ejecuta el dendrograma, tipo escalera, para este caso la elección del número de clusters no va a ser tan obvia. En este caso puede haber dos, tres o cuatro grupos; se eligen tres.

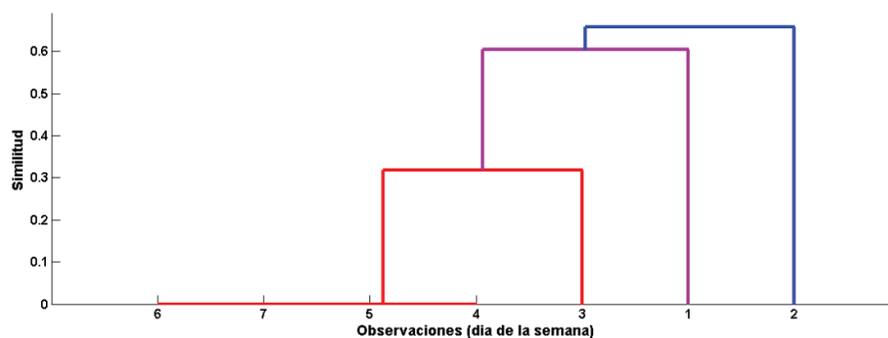


Figura 4.33 Caracterización mensual armónicos de voltaje Quevedo-ATT

Por otra parte, se tiene el caso mostrado en la Figura 4.34 que corresponde a la PMU instalada en Pascuales-Electroquil, en la cual fácilmente se observan los clusters formados.

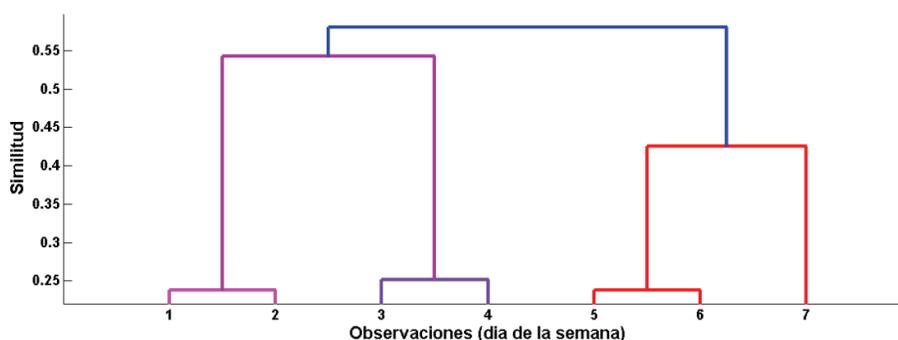


Figura 4.34 Caracterización mensual armónicos de corriente Pascuales-Electroquil

Se evidencia que existen dos grandes grupos bien definidos: los días laborales y los fines de semana, pero a los días laborables se los puede dividir en dos y tener tres clusters.

Se realiza el proceso para todos los meses de todas las PMUs; los resultados se muestran en el ANEXO 6 mediante tablas que contienen los clusters que se forman (esto mediante números), tienen los días de la semana y los seis meses analizados. En la Tabla 4.7 se presenta una visión global de los resultados obtenidos para todas las PMUs durante los meses de análisis, tomando en cuenta durante este período de tiempo, qué agrupaciones predominan; esto para los armónicos de corriente.

Tabla 4.7 Resumen caracterización mensual armónicos de corriente

Subestación	Posición	Caracterización
Loja	Villonaco	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Milagro	San Idelfonso 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Molino	AT1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Molino	Pascuales 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes • Miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo
Molino	Totoras	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Montecristi	Jaramijò	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes • Miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo
Pascuales	Electroquil 3	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Pascuales	Molino 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes, viernes y sábado • Martes, miércoles y jueves • Domingo
Pascuales	Molino 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y sábado • Martes, miércoles, jueves y viernes • Domingo
Pomasqui	Jamondino 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Pomasqui	Jamondino 3	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Quevedo	ATT 138	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes

		<ul style="list-style-type: none"> • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Quevedo	Pascuales 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y sábado • Miércoles, jueves, viernes y domingo
Salitral	ATR 138	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Santo Domingo	Baba	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santo Domingo	Esmeraldas	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Santa Rosa	Pomasqui 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Santo Domingo1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Totoras 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Totoras 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Totoras	Santa Rosa	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Zhoray	Milagro 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y domingo • Viernes y sábado

Asimismo se realiza para los armónicos de voltaje, cuyos clusters se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Resumen caracterización mensual armónicos de voltaje

Subestación	Posición	Caracterización
Loja	Villonaco	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles, jueves, viernes y sábado • Domingo
Milagro	San Idelfonso 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Molino	AT1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles, jueves, viernes y sábado • Domingo
Molino	Pascuales 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Jueves, viernes, sábado y domingo
Molino	Totoras	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves, viernes y sábado

		<ul style="list-style-type: none"> • Domingo
Montecristi	Jaramijò	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Pascuales	Electroquil 3	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Pascuales	Molino 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Pascuales	Molino 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, jueves, viernes y sábado • Miércoles y domingo
Pomasqui	Jamondino 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Pomasqui	Jamondino 3	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Quevedo	ATT 138	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Quevedo	Pascuales 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles, jueves y viernes • Sábado y domingo
Salitral	ATR 138	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes, martes y miércoles • Jueves, viernes y domingo • Sábado
Santo Domingo	Baba	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santo Domingo	Esmeraldas	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes y martes • Miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Pomasqui 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Santo Domingo1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Totoras 1	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes y miércoles • Jueves, viernes, sábado y domingo
Santa Rosa	Totoras 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo
Totoras	Santa Rosa	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes, martes y miércoles • Jueves • Viernes, sábado y domingo
Zhoray	Milagro 2	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes • Martes, miércoles y jueves • Viernes, sábado y domingo

De los resultados obtenidos se puede ver que en la mayoría de los casos, tanto en armónicos de voltaje como de corriente, la caracterización de armónicos mensual se ve marcada por tres grupo: el primero el día lunes, el cual se encuentra casi siempre solo, esto puede ser causado por la intensidad de trabajo en las industrias y comercios que se refleja en el primer día laborable de la semana; el segundo los otros días laborables, martes, miércoles, jueves; y el tercer grupo formado por viernes, sábado y domingo. El día viernes se lo puede ubicar también en el segundo grupo, es un día que con la metodología aplicada, se lo puede encontrar en los dos grupos.

4.7 CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA

Una vez conocidos los armónicos más influyentes, el comportamiento de los mismos durante un día y la manera cómo se agrupan los días de la semana de acuerdo a este comportamiento, se quiere conocer si la conducta de los armónicos se asemeja en el SNI y qué zonas forman clusters con esta consideración.

Como se explica en 3.10, la matriz de series de datos que se forma es con los armónicos tres, cinco y siete para voltaje, así como los armónicos cinco y siete para corriente de las 22 PMUs. La realización de esta caracterización es similar a la caracterización semanal, con una variante a la técnica de análisis de coordenadas principales, y es la matriz de series de datos inicial que se usa, ya que en el análisis semanal se consideran los armónicos de cada PMU por cada día, y en el análisis a realizar a continuación se consideran las señales de armónicos determinados de una semana para todas las PMU, con el propósito de establecer a las PMU como individuos a ser agrupados

La metodología mostrada en 3.10 se aplica a distintos días de los seis meses estudiados, los cuales se colocan en tablas para tratar de tener un resultado común y luego proceder a la ubicación de los grupos en el diagrama unifilar, determinando si existe o no coherencia en los resultados obtenidos.

Para la realización de los clusters geográficos se aplica el programa en el software Matlab que se muestra en el ANEXO 7. Primero se procede con los armónicos de corriente. Se pueden obtener los clusters en sistema de coordenadas principales, así como en la ventana de comandos del software indicando el nombre del vector donde se ubican los clusters. La Figura 4.35 muestra gráficamente las agrupaciones de las PMUs, diferenciándose por el tipo de marcador y el color que tienen cada uno.

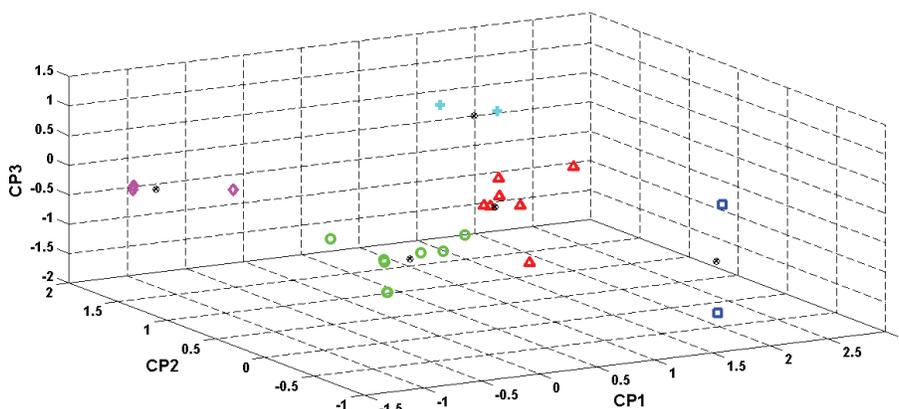


Figura 4.35 Clusters geográfico armónicos de corriente

El gráfico representa a una semana del mes de septiembre, y la Tabla 4.9 muestra, mediante números, a qué grupo pertenece cada PMU.

Tabla 4.9 Caracterización geográfica numerada armónicos de corriente

Subestación	Posición	Nº grupo
<i>Loja</i>	<i>Villonaco</i>	4
<i>Milagro</i>	<i>San Idelfonso 1</i>	4
<i>Molino</i>	<i>AT1</i>	4
<i>Molino</i>	<i>Pascuales 1</i>	2
<i>Molino</i>	<i>Totoras</i>	2
<i>Montecristi</i>	<i>Jaramijò</i>	2
<i>Pascuales</i>	<i>Electroquil 3</i>	2
<i>Pascuales</i>	<i>Molino 1</i>	4
<i>Pascuales</i>	<i>Molino 2</i>	4
<i>Pomasqui</i>	<i>Jamondino 2</i>	3
<i>Pomasqui</i>	<i>Jamondino 3</i>	3
<i>Quevedo</i>	<i>ATT 138</i>	1
<i>Quevedo</i>	<i>Pascuales 1</i>	2
<i>Salitral</i>	<i>ATR 138</i>	1
<i>Sto. Domingo</i>	<i>Baba</i>	5
<i>Sto. Domingo</i>	<i>Esmeraldas</i>	2
<i>Santa Rosa</i>	<i>Pomasqui 1</i>	3
<i>Santa Rosa</i>	<i>Santo Domingo 1</i>	5
<i>Santa Rosa</i>	<i>Totoras 1</i>	4
<i>Santa Rosa</i>	<i>Totoras 2</i>	4

<i>Totoras</i>	<i>Santa Rosa</i>	4
<i>Zhoray</i>	<i>Milagro 2</i>	2

En este caso es necesario mostrar el comportamiento de los armónicos influyentes durante la semana de análisis de las 22 PMUs; esto se puede mirar en la Figura 4.36, la parte (a) muestra las señales del quinto armónico y la parte (b) las señales del séptimo armónico. Las agrupaciones se hacen con los mismos colores de la Figura 4.35, por eso cada señal representa un marcador en el eje de coordenadas. El máximo valor en el eje x es de 1008, debido a que la matriz de datos que se utiliza tiene por datos los siete días de la semana, y a cada día le corresponden 144 valores que son los intervalos de diez minutos.

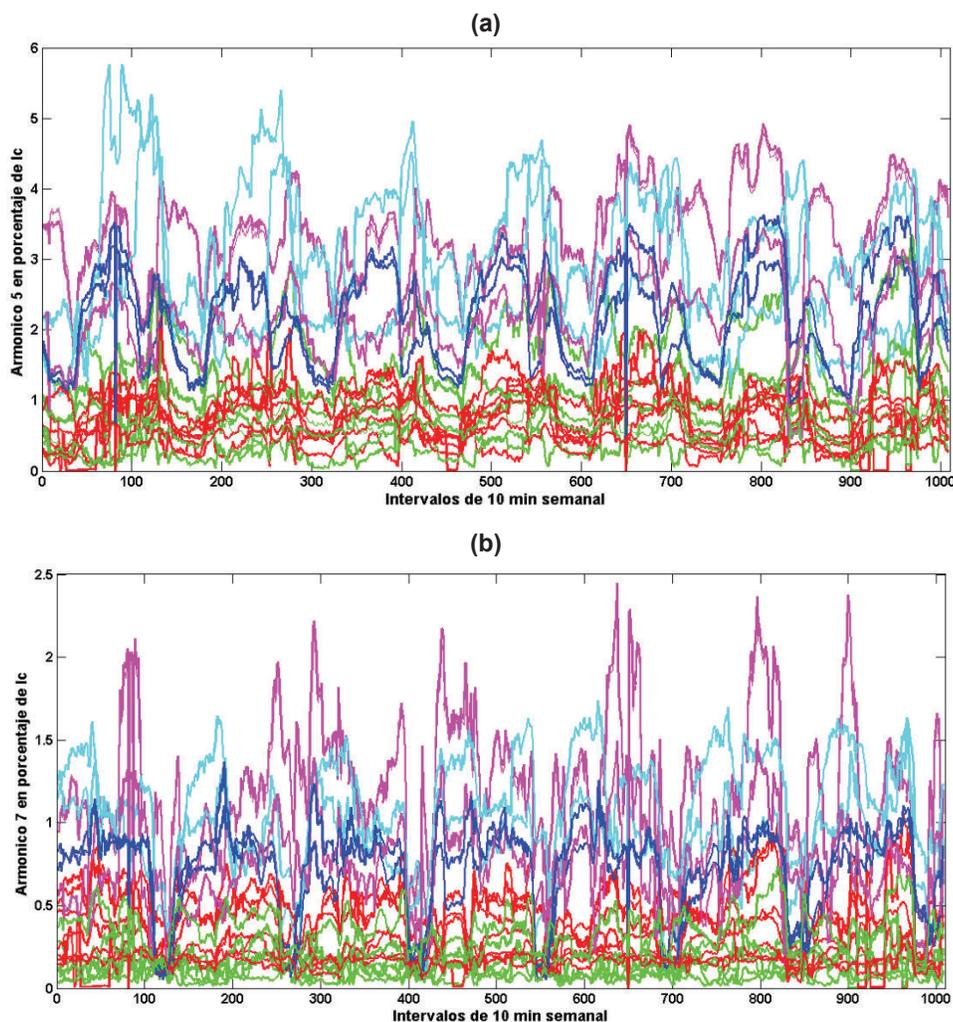


Figura 4.36 Señales de armónicos de corriente de cada PMU en la semana (a) armónico5
(b) armónico7

Se aprecia en la gráfica anterior, cómo las señales se agrupan de acuerdo al tipo de comportamiento que tienen en el período de tiempo analizado. Posteriormente se dijo que el procedimiento se lo realiza para los seis meses y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.10. En la columna final se tienen los grupos formados, se diferencian por los colores y por la numeración que tienen. En el caso de Totoras-Santa Rosa se la puede ubicar en dos grupos como se observa; las PMUs de Quevedo-ATT y Salitral-ATR no tienen una conectividad eléctrica, pero el comportamiento armónico es similar, por lo que se lo puede incluir al grupo 3 (color verde).

Tabla 4.10 Caracterización geográfica armónicos de corriente

Subestación	Posición	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	FINAL
<i>Loja</i>	<i>Villonaco</i>	4	2	4	3	4	1	4
<i>Milagro</i>	<i>San</i>	3	1	3	3	4	3	4
<i>Molino</i>	<i>AT1</i>	3	1	4	2	4	4	4
<i>Molino</i>	<i>Pascuales 1</i>	3	1	3	1	2	3	3
<i>Molino</i>	<i>Totoras</i>	4	1	5	2	2	1	3
<i>Montecristi</i>	<i>Jaramijó</i>	5	1	3	2	2	3	3
<i>Pascuales</i>	<i>Electroquil 3</i>	4	1	5	1	2	3	3
<i>Pascuales</i>	<i>Molino 1</i>	3	2	4	3	4	4	4
<i>Pascuales</i>	<i>Molino 2</i>	3	2	4	3	4	4	4
<i>Pomasqui</i>	<i>Jamondino</i>	2	5	1	5	3	5	5
<i>Pomasqui</i>	<i>Jamondino</i>	2	5	1	5	3	5	5
<i>Quevedo</i>	<i>ATT 138</i>	1	3	2	1	1	1	1
<i>Quevedo</i>	<i>Pascuales 1</i>	3	2	4	1	2	3	3
<i>Salitral</i>	<i>ATR 138</i>	1	3	2	4	1	2	1
<i>Sto.</i>	<i>Baba</i>	5	4	3	1	5	2	5
<i>Sto.</i>	<i>Esmeraldas</i>	5	1	3	2	2	3	3
<i>Santa Rosa</i>	<i>Pomasqui 1</i>	4	5	3	2	3	2	5
<i>Santa Rosa</i>	<i>Sto.</i>	1	4	3	1	5	2	5
<i>Santa Rosa</i>	<i>Totoras 1</i>	5	2	5	2	4	1	2
<i>Santa Rosa</i>	<i>Totoras 2</i>	5	2	5	2	4	1	2
<i>Totoras</i>	<i>Santa Rosa</i>	5	1	3	2	4	3	2 ó 3
<i>Zhoray</i>	<i>Milagro 2</i>	3	1	4	2	2	3	3

Para identificar de mejor manera los clusters y las zonas, se tiene la Figura 4.37; las agrupaciones tienen el mismo color que tienen en la Tabla 4.10.

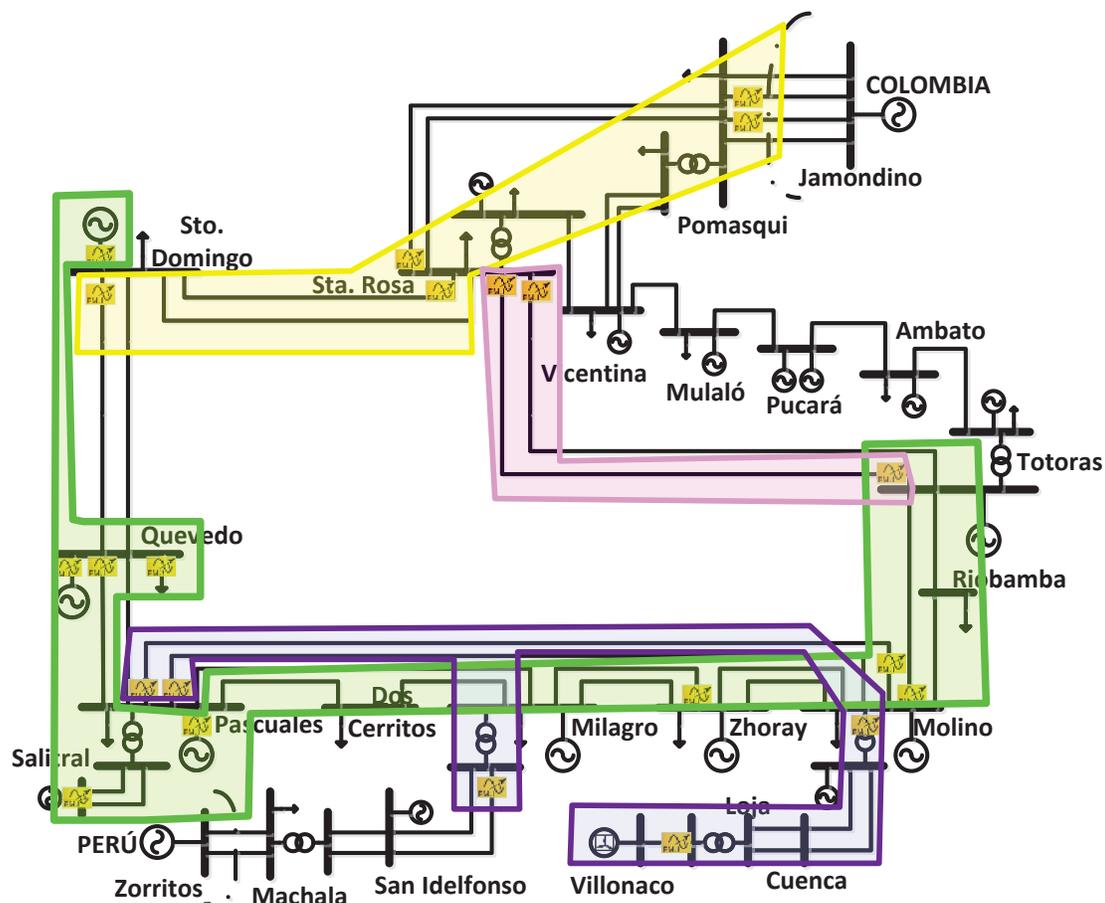


Figura 4.37 PMUs agrupadas por áreas en base a armónicos de corriente

Como se observa existe coherencia entre áreas al igual que conectividad eléctrica, definiendo cuatro zonas geográficas con características de comportamiento armónico similares.

De igual manera se procede con los armónicos de voltaje; inicialmente se muestran los clusters en el sistema de las tres primeras coordenadas principales (Figura 4.38), seguido de la Tabla 4.11 con los grupos diferenciados por el número que tengan.

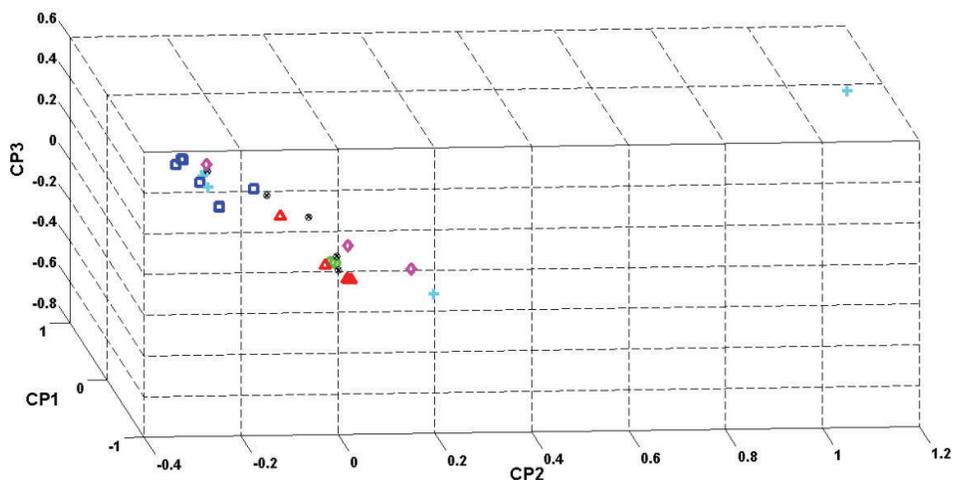


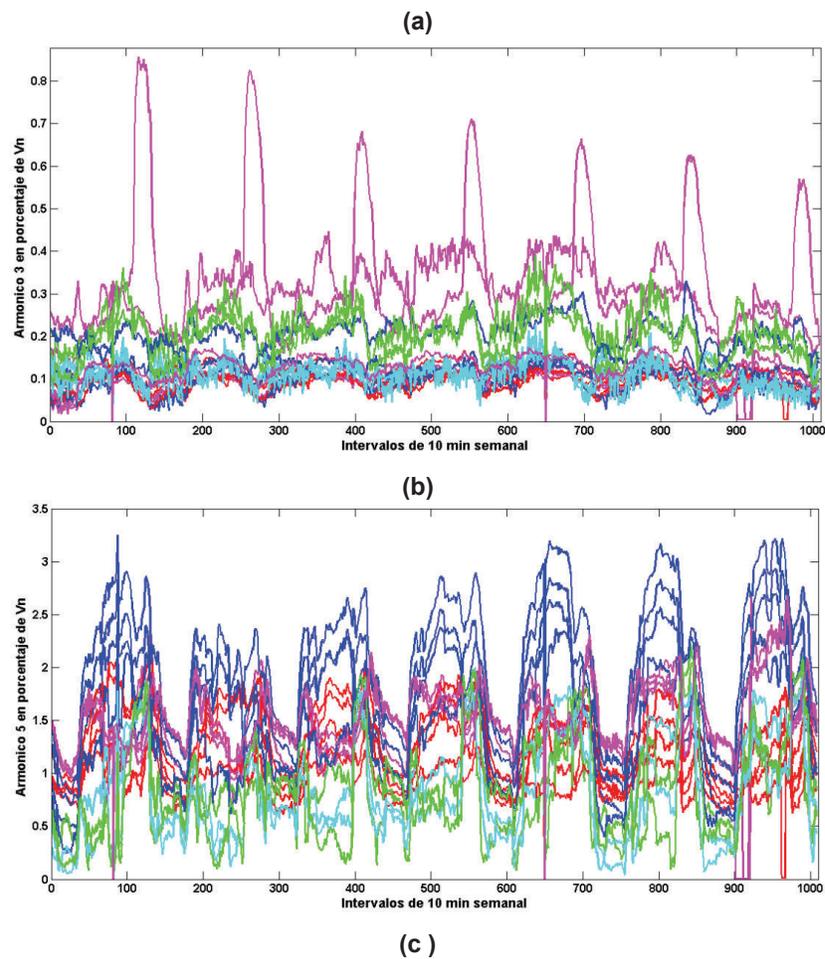
Figura 4.38 Clusters geográfico armónicos de voltaje

Se puede notar en color cian al extremo derecho un dato alejado de los demás de su grupo, pero posteriormente se verá que en la forma de las señales si se agrupa con señales semejantes a él.

Tabla 4.11 Caracterización geográfica numerada armónicos de voltaje

Subestación	Posición	Nº grupo
<i>Loja</i>	<i>Villonaco</i>	5
<i>Milagro</i>	<i>San Idelfonso 1</i>	1
<i>Molino</i>	<i>AT1</i>	5
<i>Molino</i>	<i>Pascuales 1</i>	5
<i>Molino</i>	<i>Totoras</i>	5
<i>Montecristi</i>	<i>Jaramijò</i>	3
<i>Pascuales</i>	<i>Electroquil 3</i>	1
<i>Pascuales</i>	<i>Molino 1</i>	1
<i>Pascuales</i>	<i>Molino 2</i>	1
<i>Pomasqui</i>	<i>Jamondino 2</i>	1
<i>Pomasqui</i>	<i>Jamondino 3</i>	1
<i>Quevedo</i>	<i>ATT 138</i>	3
<i>Quevedo</i>	<i>Pascuales 1</i>	3
<i>Salitral</i>	<i>ATR 138</i>	1
<i>Sto. Domingo</i>	<i>Baba</i>	4
<i>Sto. Domingo</i>	<i>Esmeraldas</i>	4
<i>Santa Rosa</i>	<i>Pomasqui 1</i>	2
<i>Santa Rosa</i>	<i>Santo Domingo 1</i>	2
<i>Santa Rosa</i>	<i>Totoras 1</i>	2
<i>Santa Rosa</i>	<i>Totoras 2</i>	2
<i>Totoras</i>	<i>Santa Rosa</i>	2
<i>Zhoray</i>	<i>Milagro 2</i>	5

De igual manera, se muestra en la Figura 4.39 el comportamiento semanal de los armónicos de voltaje relevantes de cada PMU. Las señales no varían demasiado su comportamiento, como era el caso de las señales de corriente en las cuales era más fácil distinguir cuáles señales se deberían agrupar. También se puede ver las señales de color cian, que en el eje de coordenadas se veían demasiado alejadas, pero se observa que las señales sí siguen un patrón de comportamiento parecido.



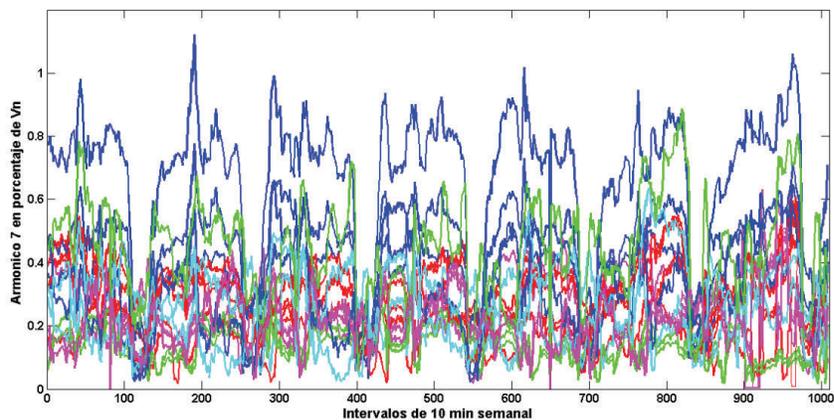


Figura 4.39 Señales de armónicos de corriente de cada PMU en la semana (a) armónico3

(b) armónico5 (c) armonico7

Pero es necesario conocer el comportamiento de varios meses para poder determinar un patrón de comportamiento para los armónicos de voltaje que se están analizando, por lo que en la Tabla 4.12 se muestran los resultados de las caracterizaciones geográficas de cada mes y la caracterización final.

Tabla 4.12 Caracterización geográfica armónicos de voltaje

Subestación	Posición	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	FINAL
Loja	Villonaco	1	3	1	4	5	5	5
Milagro	San Idelfonso	1	3	1	1	1	3	3
Molino	AT1	5	3	1	4	5	5	5
Molino	Pascuales 1	5	3	1	4	5	5	5
Molino	Totoras	5	3	1	4	5	5	5
Montecristi	Jaramijó	3	5	2	1	3	1	1
Pascuales	Electroquil 3	1	2	4	5	1	3	3
Pascuales	Molino 1	1	2	4	5	1	3	3
Pascuales	Molino 2	1	2	4	5	1	3	3
Pomasqui	Jamondino 2	2	1	5	2	1	4	4
Pomasqui	Jamondino 3	2	1	5	2	1	4	4
Quevedo	ATT 138	3	5	2	5	3	1	1
Quevedo	Pascuales 1	3	5	2	5	3	1	1
Salitral	ATR 138	1	3	4	2	1	3	3
Sto. Domingo	Baba	4	4	3	1	4	2	2
Sto. Domingo	Esmeraldas	4	4	3	1	4	2	2
Santa Rosa	Pomasqui 1	2	1	5	3	2	4	4
Santa Rosa	Sto. Domingo 1	2	1	5	3	2	4	4
Santa Rosa	Totoras 1	2	1	5	3	2	4	4
Santa Rosa	Totoras 2	2	1	5	3	2	4	4
Totoras	Santa Rosa	2	1	5	4	2	4	4
Zhoray	Milagro 2	5	3	1	4	5	5	5

Se tienen cinco clusters, pero por la conectividad eléctrica se pueden agrupar los dos grupos pequeños formados por: a) Santo Domingo-Baba, Santo Domingo-Esmeraldas, b) Quevedo-ATT, Quevedo-Pascuales y Montecristi-Jaramijó. Las zonas se pueden distinguir en la Figura 4.40.

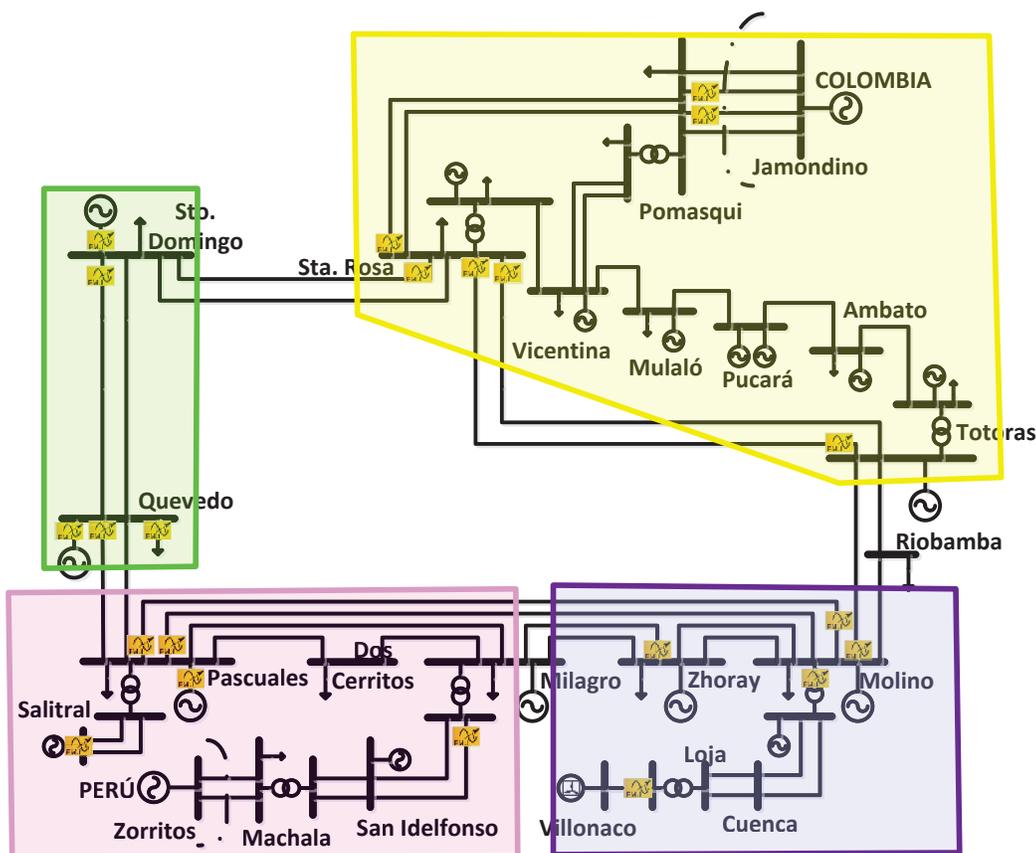


Figura 4.40 PMUs agrupadas por áreas en base a armónicos de voltaje

A diferencia de los clusters de armónicos de corriente, en este caso se identifican cuatro zonas geográficas bien definidas, que se indican en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Zonas de la Caracterización Geográfica

Zona Geográfica	Nombre	Subestaciones
Zona 1	Norte	Pomasqui, Santa Rosa, Totoras
Zona 2	Occidental	Sto. Domingo, Quevedo, Montecristi

Zona 3	Sur-Occidental	Milagro, Pascuales, Salitral
Zona 4	Sur-Oriental	Molino, Zhoray, Loja

Con los análisis realizados, ha sido posible caracterizar, por un lado los armónicos problema y que pueden llegar a presentar problemas en el SNI, por otro lado los días de la semana en los que los armónicos presentan características similares, de igual manera la zona geográfica en la que la característica armónica presenta similitudes, el comportamiento durante el día de un determinado armónico y finalmente la caracterización mensual del comportamiento armónico. Estos resultados servirán para posteriormente determinar cuáles son las principales fuentes de armónicos del SNI.

4.8 ANÁLISIS DE REPORTE DE WAPROTECTOR

Como se puede ver en 0, el software WAProtector tiene la capacidad de entregar datos de varios periodos de tiempo en lo que se refiere a armónicos. Es posible acceder a datos de cada segundo, de cada 10 minutos y de cada 24 horas. Además se puede descargar un reporte PQM, el cual tiene todos los valores de armónicos de corriente y voltaje de las 22 PMUs instaladas en el SNI para las 24 horas. Como objetivo se ha planteado determinar la manera cómo el software obtiene los valores que muestra al descargar los datos o el reporte.

Como primer paso se descargan datos de cada uno de los casos a examinar, se cambia el tipo de archivo de .CSV a .xlsx lo que permite trabajar cada armónico en una columna distinta. Una vez listos los archivos, se procede a realizar cálculos para determinar qué hace el software. Se parte con el archivo de un dato por segundo durante diez minutos; se deben tomar en cuenta las unidades con las que se descargan los datos, por ejemplo amperios o magnitud promedio (MagAVR).

Se determina que la magnitud promedio está en porcentaje del valor de corriente seteado por el administrador del PDC (UNIFUSION), un valor de 181.8 Amperios. Ahora se cambian los valores del archivo de diez minutos cada segundo a MagAVR, como se indica en (4.1) donde na es el número del orden del armónico; se calcula el valor mínimo, máximo y promedio de cada armónico. Los valores obtenidos se comparan con el valor de ese intervalo de diez minutos, descargado mediante la opción una muestra cada 10 minutos, y se determina que este valor es el **valor promedio**.

$$\begin{bmatrix} H_{na_00:00} \\ H_{na_00:01} \\ H_{na_00:02} \\ \vdots \\ H_{na_09:59} \end{bmatrix} \times \frac{100\%}{181.8}; \quad na = 2, 3, 4, \dots, 50 \quad (4.1)$$

Lo mismo sucede con el valor que resulta de descargar de la opción una muestra cada 24 horas, es el valor promedio de los datos en MagAVR de cada segundo durante un día.

El valor que falta conocer es el dado por el reporte PQM, y se determina que este número es el promedio de los valores descargados de la opción cada diez minutos durante un día, redondeado a dos decimales. La Tabla 4.14 muestra los resultados obtenidos en cada caso.

Tabla 4.14 Análisis datos WAProtector

	H2 (%)	H3 (%)	H4 (%)	H5 (%)	H6 (%)
Datos por seg de 10 min					
Mínimo	0,0630	0,2429	0,0287	0,4659	0,0049
Máximo	0,1201	0,3427	0,0425	0,5194	0,0118
Promedio (10min)	0,0877	0,3001	0,0352	0,4947	0,0081
Promedio (24 h)	0,0614	0,2106	0,0255	0,3700	0,0079
Datos por 10 min					
Valor diez min.	0,0817	0,3017	0,0377	0,5098	0,0080
Promedio	0,0405	0,1299	0,0185	0,3529	0,0066
Dato por 24horas					
Valor un día	0,0609	0,2159	0,0253	0,3709	0,0079
Dato Reporte PQM					
Valor reporte	0,04	0,13	0,02	0,35	0,01

De los análisis realizados se ha podido concluir que el aplicativo de WAProtector, dependiendo del intervalo que se escoja de análisis (10 min o 24 h) lo que hace es determinar el valor promedio de las diferentes componentes armónicas durante ese periodo.

Sin embargo, luego de analizado el comportamiento diario de los armónicos (caracterización diaria), se ha podido determinar que los diferentes armónicos presentan un comportamiento distinto durante los diferentes periodos del día. Esto se resalta en los resultados mostrados en 4.5, donde se terminaron 5 grupos diferentes de periodos de tiempo durante el día. Bajo estos resultados, realizar un solo promedio de los valores de todo el día resulta inadecuado. Esto, puesto que los armónicos se comportan de forma diferente en los diferentes periodos del día. Lo adecuado, si se desea disponer de un valor referencial diario, sería realizar promedios (u otro tipo de indicador estadístico), al menos para cada uno de los 5 grupos que se han determinado en el presente trabajo.

CAPÍTULO VI

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. El empleo de dispositivos tecnológicos modernos, como los sistemas de monitoreo de área extendida (WAMS), ofrece una nueva perspectiva para el análisis de la calidad de energía de un SEP. Bajo este enfoque, el reto de la ingeniería eléctrica se vislumbra en cómo estructurar los análisis de gran cantidad de datos registrados en tiempo real. En este sentido, la aplicación de técnicas de minería de datos promete ser la alternativa más viable. Sobre esta premisa, el estudio realizado en el presente trabajo permitió determinar que una adecuada aplicación de técnicas de análisis multivariante permite determinar patrones de comportamiento de armónicos y viabiliza su caracterización ya sea periódica o geográfica.
2. Existen diversas perturbaciones en un sistema eléctrico de potencia lo que generan problemas de calidad de energía. Entre los principales se encuentran la inyección de armónicos en la red, lo que trae consigo varios problemas; por esta razón existen normas que regulan este problema, y se exige a las empresas que se coloque equipos para mitigación de armónicos.
3. El presente trabajo propone una nueva metodología de análisis multivariante con el propósito de caracterizar el comportamiento de armónicos en el SNI. El propósito de la metodología es caracterizar los armónicos dependiendo del período en el cual los armónicos influyen en el sistema (tomando en consideración los límites establecidos en la normativa vigente), así como de la zona geográfica de incidencia del armónico. Con este propósito, se ha usado la técnica de coordenadas

principales (variante de componentes principales) en combinación con un algoritmo de análisis de conglomerados basado en el c-means difuso o en clustering jerárquico.

4. Del análisis realizado, se puede determinar que el principal problema en el SNI es el del quinto armónico, principalmente de voltaje, ya que en la mayoría de PMUs los valores de este armónico sobrepasan el valor determinado por norma. A diferencia de lo que se esperaba, los datos proporcionados por la PMU ubicada en Loja-Villonaco muestran que en esta posición no existen problemas de armónicos de voltaje ni de corriente.
5. Según datos del Instituto Nacional de Preinversión, en el Ecuador existen tres empresas acereras las cuales usan hornos de arco para procesar el acero, NOVACERO, ANDEC y ADELCA. Estas acereras pueden estar ingresando armónicos en la red, de acuerdo a la ubicación de estas y comparando con las PMUs que presentan datos de problemas de armónicos, se determina que estas PMUs son las ubicadas en las subestaciones Santa Rosa (ADELCA y NOVACERO) y Pascuales (ANDEC y NOVACERO). La PMU ubicada en Santa Rosa-Santo Domingo junto con la de Quevedo-ATT 138, presentan problemas casi a diario de armónicos tanto de voltaje como de corriente; la empresa ADELCA tiene su planta ubicada en la vía a Santo Domingo, por lo que puede ser una de las causas para que la primera PMU mencionada esté entregando datos que superan el valor determinado por norma.
6. Adicionalmente, la incidencia de armónicos en Santa Rosa (Quito) y Salitral (Guayaquil) podría denotar la masiva introducción de cargas no lineales en residencias, comercios e industrias. Hoy en día un altísimo porcentaje de las cargas son no lineales (equipos electrónicos, electrodomésticos, iluminación) lo que podría estar causando una alta incidencia de armónicos en el sistema. De ser así, se estaría desmitificando el paradigma tradicional que asumía que los armónicos son un problema de

la Distribución. De hecho, se ha podido demostrar que, con el ingreso de los nuevos tipos de consumo, este es un problema que se estaría irradiando incluso a niveles de transmisión y generación.

7. De los resultados obtenidos, también se puede concluir que la interconexión con Colombia también está generando problemas de armónicos, tanto de corriente como de voltaje, esto se concluye por los datos arrojados de las PMUs ubicadas en Pomasqui-Jamondino. En este sentido, la generación de armónicos del Sistema Colombiano estaría irradiándose hasta el Sistema Ecuatoriano.
8. Los resultados muestran un buen desempeño de la metodología planteada en la determinación de los días de la semana con características de comportamiento de armónicos similares. En la mayoría de casos se presentan tres grupos. El primer grupo es de un solo día, el lunes, esto se puede deber a que es el inicio de la mayoría de actividades tanto comerciales como industriales y laborales en general. El segundo grupo lo conforman el resto de días laborables: martes, miércoles, jueves y en algunos casos viernes; este último se encuentra dividido entre el segundo y tercer grupo el cual lo forman los días del fin de semana. Pero no siempre se sigue este patrón de comportamiento, en algunos casos se pueden unir días entre semana con alguno del fin de semana. Esto va a depender no sólo del comportamiento de los días en cuanto a armónicos, sino también depende del comportamiento del sistema, es decir si existe o no alguna falla que impida tener datos en las PMUs o se dé presencia de outliers.
9. De los análisis realizados, se ha logrado caracterizar los armónicos por zona geográfica en la que la característica armónica presenta similitudes. En este sentido, se ha dividido el SNI en 4 áreas geográficas dependientes de la característica de los armónicos. Este resultado podrá ser utilizado para futuros trabajos como por ejemplo la definición de cuatro

fuentes de generación de armónicos a ser implementadas en bases de datos de simulación como la de PowerFactory.

10. En la caracterización geográfica de armónicos de corriente, un cluster une las PMUs ubicada en Salitral-ATR y Quevedo-ATT 138, las cuales no se encuentran eléctricamente unidas, pero de acuerdo a los resultados, en las dos ubicaciones existen problemas de armónicos de corriente casi a diario, lo que explicaría que el algoritmo las haya unido.
11. El comportamiento armónico durante un día, a menudo se divide en cinco grupos: las horas de la madrugada, la hora de inicio de actividades, las horas de oficina, la hora pico de las seis de la tarde y las horas de la noche (hasta antes de acostarse, que se considera como horas de la madrugada).
12. Los resultados presentados en los reportes del WAProtector reflejan un resultado general de la afectación o no de los armónicos, ya que el comportamiento en los periodos del día no son iguales, por lo que no se está realizando un buen proceso al calcular la media de los datos diarios. No se pueden mezclar datos de horas pico con datos a horas que no existe gran consumo de energía, al realizar la media se pierde la información de problemas de armónicos.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Del análisis realizado en este trabajo, se ha podido determinar que, a diferencia de lo concebido de forma convencional, el problema de armónicos en los sistemas de potencia modernos presenta una importante implicancia, por lo que debe ser considerado en los estudios eléctricos. Adicionalmente, no solo es un problema a nivel de Distribución sino que hoy en día se irradia incluso a los sistemas de Transmisión y Generación.

En este sentido, se recomienda que periódicamente se realicen estudios de armónicos basados en mediciones y que incluso se empiecen a diseñar procesos relacionados con estudios eléctricos de comportamiento de armónicos no solo en Distribución sino también en Transmisión.

2. Respecto de los procedimientos operativos de análisis de la información del sistema WAMS de CENACE, se recomienda descargar los datos de manera ordenada, debido a la ingente cantidad de éstos, y usar nombres que contengan números sucesivos; para que el momento de usar los programas sea fácil localizarlos y los lazos sucesivos puedan ejecutarse.
3. Es de gran ayuda elegir una tasa de muestreo adecuada, según el análisis que se quiera realizar y el periodo de tiempo que se va a estudiar; si es un análisis estadístico, se debe perder la menor cantidad de datos, para que los resultados reflejen el comportamiento verdadero. Pero se debe tomar en cuenta que si se toma una tasa de muestreo demasiado pequeña, el espacio que va a usar en el lugar donde se almacene es demasiado grande, y el tiempo que dura la descarga de igual manera.
4. Si se va a realizar un estudio de varios meses, es aconsejable averiguar previamente el tiempo en que los datos que se van a necesitar, se almacenan en la base de datos, caso contrario se perderá información si se cumple el plazo y se eliminan estos valores.
5. Sobre la base de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se ha determinado que existen zonas del SNI que efectivamente tienen incidencia de armónicas. En este sentido, se recomienda realizar estudios de armónicos en el SNI como parte de los estudios que se realizan previo a la entrega de permisos de operación a los actores del sistema e incluso en las etapas de planeamiento de la operación.
6. Asimismo, se recomienda estructurar una base de datos en PowerFactory que viabilice la ejecución de estudios de flujos de armónicos. Esta base de

datos permitirá realizar los estudios necesarios para analizar la incorporación de equipamiento que podría introducir armónicos tales como los futuros proyectos eólicos y fotovoltaicos o los FACTS que entrarían en operación en 2016. A este respecto, los resultados de caracterización geográfica podrían ser utilizados para definir cuatro fuentes de generación de armónicos a ser implementadas en la base de datos mencionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Chattopadhyay, M. Mitra and S. Sengupta, "Electric Power Quality", Springer Science & Business Media, 28/3/2011.
- [2] M. Alzamora, "Programa Digital para el Análisis de Propagación de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniería Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional, feb. 1995.
- [3] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, "Plan Maestro de Electrificación 2013-2022".
- [4] V. J. Gosbell, T. J. Browne and S. Perera, "Harmonic allocation using IEC/TR 61000-3-6 at the distribution/transmission interface," Harmonics and Quality of Power, 2008. ICHQP 2008. 13th International Conference on.
- [5] F. Forniels, "Armónicos: Efectos, Diagnóstico y Soluciones", XV Jornadas de Conferencias de Ingeniería Electrónica del Campus de Terrassa, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- [6] A. Domijan, G.T. Heydt, A.P.S. Meliopoulos, S.S. Venkata and S. West, "Directions of research on electric power quality", Power Delivery, IEEE Transactions on (Volume:8 , Issue: 1).
- [7] Universidad Nacional de Mar del Plata, "Medición de la Calidad de la Energía", disponible en:
http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/archivos/medicion_calidad_energia.pdf.
- [8] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc., Copyright 1994.
- [9] Operador Nacional de Electricidad CENACE, Dirección de Planificación 2014.
- [10] Operador Nacional de Electricidad CENACE, "Informe Anual 2013".
- [11] Mandato Constituyente N°15
- [12] Regulación Complementaria No. 1 para la Aplicación del Mandato Constituyente No. 15 (Regulación No. CONELEC 013/08).
- [13] Regulación Complementaria No. 2 para la Aplicación del Mandato Constituyente No. 15 (Regulación No. CONELEC 004/09).
- [14] E. Albornoz, "El Nuevo Sector Eléctrico Ecuatoriano" Diciembre 2013, disponible en: <http://www.energia.gob.ec/wp->

[content/uploads/downloads/2013/12/Presentacion-Nuevo-Modelo-del-Sector-Ele%CC%81ctrico1.pptx](#)

- [15] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, “Buen Vivir Plan Nacional 2013-2017”.
- [16] Regulación No CONELEC 003/08 sobre la “Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado” Res. 033/08; 28 de febrero del 2008.
- [17] G. Salazar, “Curso de Calidad de la Energía”, Escuela Politécnica Nacional, 2012-B.
- [18] Norma IEC: Electromagnetic compatibility (EMC). Environment. Classification of electromagnetic environments. Basic EMC publication. IEC 1000-2-5 (1995).
- [19] Norma IEEE: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE 1159 (1995).
- [20] P. Ribeiro, C. Duque, P. da Silveira, A. Cerqueira, “Power Systems Signal Processing for Smart Grids”, John Wiley and Sons Ltd., 2014.
- [21] Norma IEEE: Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE 519-1992.
- [22] Norma IEC: Electromagnetic compatibility (EMC), IEC 61000-2-1.
- [23] M. Brugnoli, A. Jurado, “Una Evaluación de Flicker e Interarmónicas provocados por cargas periódicas y alineales”, Grupo “Energía y Ambiente”, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Disponible en: <http://www.aedie.org/11chlie-papers/122-Brugnoli.pdf>
- [24] Larsson, A.; “Flicker and slow voltage variations from wind power. In Proceedings of International Conference Harmonics and Quality of Power”, Las Vegas, pp. 270-275 (1996).
- [25] A. Rash, “Harmonics-what are they, how to measure them and how to solve the problem (in connection with standards IEEE 1159-1995 and IEEE 519-1992)”, Nineteenth Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, 1996.

- [26] “Los armónicos y calidad de la energía eléctrica” Revisado el 26 de marzo del 2013. Disponible en:
http://www.rtrenergia.es/rtr/ficheros/armonicos_2012.pdf
- [27] A. Phadke, and J. Thorp, Synchronized Phasor Measurements and Their Applications, Virginia Polytechnic Institute and State University, Springer Science + Business Media, 2008, ISBN 978-0-387-76535-8.
- [28] F. Andrade, K. Kampouropoulos, J. Cusidó y L. Romeral, “Estudio de Microgrids con interfaces de convertidores de DC/AC”, Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación, Universidad Politécnica de Catalunya BarcelonaTech, Julio 2011.
- [29] C. Juárez, and D. Colomé, “Tendencias en la Supervisión en Tiempo Real de la Estabilidad de Pequeña Señal de Sistemas de Potencia”, XIII ERIAC, Puerto Iguazú, Argentina, mayo de 2009.
- [30] J. Cepeda, “Evaluación de la Vulnerabilidad del Sistema Eléctrico de Potencia en Tiempo Real usando Tecnología de Medición Sincrofásorial”, Tesis de Grado para obtener el título de Doctor en Ingeniería Eléctrica, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, Diciembre 2013, ISBN: 978-987-33-4328-5.
- [31] A. De La Torre, “Análisis técnico de la implementación de un sistema de monitoreo de área extendida (WAMS) en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador”, Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Septiembre 2013.
- [32] C. Lozano, F. Castro y S. Ramírez, “Unidad de Medición Fasorial (PMU)”, Revista El Hombre y la Máquina N°38, Enero- Abril 2012.
- [33] J. Ramírez, “Desarrollo de software dirigido a la evaluación de las características de las Unidades de Medición Fasorial como dispositivos de medición y monitoreo y sus potenciales aplicaciones en sistemas eléctricos de potencia”, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas 2012.
- [34] R. Cimadevilla, “Fundamentos de la Medición de Sincrofasores”. XIII ERIAC, Puerto Iguazú, Argentina 2009.

- [35] Savulescu S. C., et al. (2009). "Real-Time Stability Assessment in Modern Power System Control Centers", IEEE Press Series on Power Engineering, Mohamed E. El-Hawary, Series Editor, a John Wiley & Sons, Inc..
- [36] Manual de WAProtector V 2.0.0. Power System Wide Area Monitoring, Protection and Control.
- [37] IEEE Power Engineering Society (2011). "IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems", IEEE Std. C37.118.1-2011.
- [38] J. Cepeda, P. Verdugo, "Determinación de los Límites de Estabilidad Estática de Ángulo del Sistema Nacional Interconectado", Revista Técnica Energía edición N-10, Corporación CENACE, Enero 2014.
- [39] D. Peña, "Análisis de Datos Multivariantes", 23 de enero de 2002.
- [40] J. Rojo, "Análisis Descriptivo y Exploratorio de Datos", Laboratorio de Estadística, Instituto de Economía y Geografía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid Junio 2006.
- [41] R. Baragona, F. Battaglia, "Outliers Detection in Multivariate Time Series by Independent Component Analysis", Neural Computation Vol. 19, Julio 2007.
- [42] J. Grainger, W. Stevenson, "Análisis Sistemas de Potencia", McGraw Hill 1996.
- [43] D. Gómez, "Análisis de Contingencias Eléctricas en Centros Comerciales", Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2010.
- [44] Manual del Usuario DlgSILENT PowerFactory, Version 14.1, Gromaringen, Alemania, Mayo 2011.
- [45] J. Cepeda, R. Aguilar, "Análisis Técnico – Comercial del Colapso Nacional del 1 De Marzo De 2003", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniería Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional, oct. 2005.
- [46] DIN VDE 0102: 1990-01, Calculating the short-circuit currents in threephase a.c. systems.
- [47] "Análisis de Fallas Simétricas y Asimétricas", Curso de Posgrado "Análisis de Funcionamiento de Sistemas Eléctricos", Instituto de Energía Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Juan, abril 2008.
- [48] C. Cuadras, "Nuevos Métodos de Análisis Multivariante", CMC Editions, Barcelona, España, Febrero 2007.

ANEXOS

ANEXO 1: MACROS EXCEL

MACRO SUCESIVA

Esta macro sirve para poder abrir varios archivos, los hace uno por uno. Primero busca la dirección del archivo, los abre teniendo en cuenta que tienen formato .CSV; luego cambia de formato a .xlsx y lo guarda. A este nuevo archivo le aplica la macro REDUCCION que se indica posteriormente y finalmente cierra el archivo dando paso al siguiente.

```

Sub macrored()
'
' macrored Macro
'
For i = 1 To 9

    ChDir "DIRECCIÓN DEL ARCHIVO" & i & ""
    Workbooks.Open ("DIRECCIÓN DEL ARCHIVO" & i & "\" & i & "[2014-09-0" & i &...
    "05-00-00-000][0].CSV")
    ActiveWorkbook.SaveAs FileFormat:=51
    ActiveWorkbook.SaveAs i
    ChDir "NUEVA DIRECCIÓN DEL ARCHIVO"
    Application.Run "REDUCCION.xlsm!REDUCCION"
    Workbooks(i & ".xlsx").Close SaveChanges:=True
Next

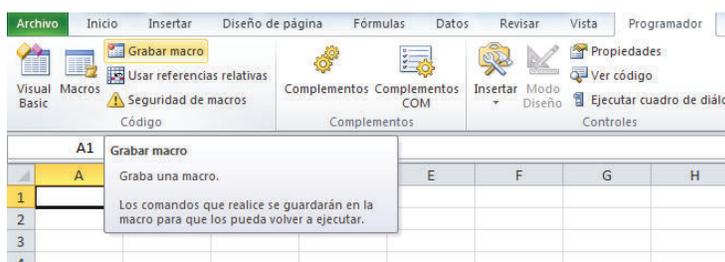
For j = 10 To 31

    ChDir "DIRECCIÓN DEL ARCHIVO" & j & ""
    Workbooks.Open ("DIRECCIÓN DEL ARCHIVO" & j & "\" & j & "[2014-09-" & j & "
    05-00-00-000][0].CSV")
    ActiveWorkbook.SaveAs FileFormat:=51
    ActiveWorkbook.SaveAs j
    ChDir " NUEVA DIRECCIÓN DEL ARCHIVO "
    Application.Run "REDUCCION.xlsm!REDUCCION"
    Workbooks(j & ".xlsx").Close SaveChanges:=True
Next
End Sub

```

Se usan dos lazos for, debido al nombre con el que se descargan los archivos (primero el nombre dado, seguido de la fecha que se está descargando, como lo que se ve en negrita) al pasar de 09 a 10, existe el cero que evita se haga un solo lazo sucesivo.

A continuación se presenta la macro REDUCCION, la cual se la realizo con la grabadora de macros. Esta herramienta se encuentra en la pestaña Programador como se ve en la **FIGURA**, una vez seleccionada esta opción los pasos que se realicen se graban en la macro que puede ser usada en otra hoja de cálculo y repetir el proceso realizado.



En la macro REDUCCION, lo que se realiza es seleccionar todos los datos que se encuentran en una columna, y se los divide en varias columnas para que cada valor ocupe una celda diferente. Luego se seleccionan las columnas que no se necesitan para el análisis y se las elimina.

```

Sub REDUCCION()
'
' REDUCCION Macro
'
Range("A1:A17283").Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("A1"), DataType:=xlDelimited, _
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=False, _
    Semicolon:=True, Comma:=False, Space:=False, Other:=False, FieldInfo _
:=Array(Array(1, 2), Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1), _
Array(7, 1), Array(8, 1), Array(9, 1), Array(10, 1), Array(11, 1), Array(12, 1), ...
Array(92, 1), Array(93, 1), Array(94, 1), Array(95, 1), Array(96, 1), Array(97, 1), Array( _
98, 1), Array(99, 1), Array(100, 1), Array(101, 1), Array(102, 1)), _
    TrailingMinusNumbers:=True
Columns("C:C").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("D:D").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("E:E").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
...
Columns("AX:AX").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("AY:AY").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("AZ:AZ").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("A:A").ColumnWidth = 17.57
End

```

Sub

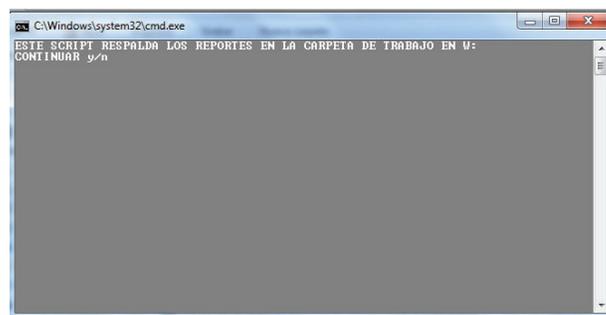
ANEXO 2: PROGRAMACIÓN MS-DOS

El siguiente programa sirve para sacar los archivos de Excel de una carpeta a otra. En este trabajo, este script sirve para poder tener todos los archivos en la misma ubicación y que sea más fácil aplicar lazos sucesivos al programar en Matlab.

```
@echo off
color 8F
:Menu
cls
echo ESTE SCRIPT SACAR LOS ARCHIVOS DE UNA CARPETA A OTRA:
echo CONTINUAR y/n
echo.
set /p var=
if %var%==y goto :ejecutar
if %var%==Y goto :ejecutar
if %var%==n goto exit
if %var%==N goto exit
if %var% GTR 3 echo Error
goto :Menu
:ejecutar
FOR %%a IN (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9) DO FOR %%b IN (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9) DO IF EXIST "DIRECCION DEL ARCHIVO\%%a\%%a.xlsx" MOVE DIRECCION DEL ARCHIVO\%%a\%%a.xlsx "NUEVA DIRECCIÓN"
FOR %%a IN (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9) DO FOR %%b IN (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9) DO IF EXIST " DIRECCION DEL ARCHIVO \%%a\%%b\%%a\%%b.xlsx" MOVE DIRECCION DEL ARCHIVO\%%a\%%b\%%a\%%b.xlsx " NUEVA DIRECCIÓN "
PAUSE
```

Al ejecutar el script se despliega una ventana parecida a la que se muestra en la

Figura:



Posteriormente aparece la opción de elegir si se quiere o no realizar el procedimiento, mediante las opciones “y” (si) o “n” (no).

ANEXO 3: PROGRAMA DETECCIÓN ARMÓNICOS

Ahora se presentan los programas que sirven para detectar si existe o no problemas de armónicos, basándose en la norma [16]. Si superan los valores se considera que supera la norma. En el programa existen variables que pueden cambiar, como la DIRECCION DEL ARCHIVO y el MES, dependiendo de los datos que se deseen analizar.

CORRIENTE

```
clear,clc;
dim=4;           %numero del mes donde inicia el analisis

for imn=1:4     %para abrir los archivos cada semana en un mes (4semanas)

    mm=dim+7*(imn-1); %calcula el dia de inicio de la semana de acuerdo
                    %al que se ponga primero en el mes
    nn=dim+6+7*(imn-1);%final de la semana
    krn=1;       %auxiliar para inicializar el primer dia del mes
                %que se ponga

for k=mm:nn

    name=sprintf('%s%d','DIRECCION DEL ARCHIVO',k, '.xlsx');
    a=xlsread(name);
    tma=size(a);
    porcentaje=a/2.3018706; %se transforma de kA a A multiplicando por
                            %mil y se divide para 100 para porcentaje,
                            %debe estar en porcentaje de Ic de acuerdo a
                            %la PMU
    aux=1:30:4350;         %artificio
    auxdia=zeros(144,50);
    medias=zeros(144,50);

for t=1:144
    adiezmin=porcentaje(aux(t):aux(t+1)-1,:); %para tomar los valores de
                                                %la matriz obtenida de los 10 min

    b=isnan(adiezmin);
    c=sum(b,2);
    ind=c>0;
    adiezmin(ind,:)=[];
    tamañoadm=size(adiezmin);
    n=tamañoadm(1);
    inormaimpares=[3.5 1.75 1.25 0.5]; %valores determinados por la norma
    inormapares=[3.5*0.25 1.75*0.25 1.25*0.25 0.5*0.25];
    IN=zeros(n,50); %creacion de la matriz norma
    IN(:,2:2:10)=inormapares(1);
    IN(:,12:2:16)=inormapares(2);
    IN(:,18:2:22)=inormapares(3);
    IN(:,24:2:34)=inormapares(4);
    IN(:,3:2:9)=inormaimpares(1);
```

```

IN(:,11:2:15)=inormaimpares(2);
IN(:,17:2:21)=inormaimpares(3);
IN(:,23:2:33)=inormaimpares(4);
matr=zeros(tamanoadm);
comp=adiezmin>IN; %compara el valor de la norma con los datos dados
auxdia(t,:)=sum(comp)/size(comp,1)*100;
medias(t,:)=mean(adiezmin);
baux=isnan(auxdia);
caux=sum(baux,2);
indaux=caux>0;
auxdia(indaux,:)=[];
bm=isnan(medias);
cm=sum(bm,2);
indm=cm>0;
medias(indm,:)=[];
end
krn=krn+1;

    exporcen=sort(auxdia);
    for kjc=2:34
        exam=exporcen(124,kjc);
if exam==100
    disp('si supera MES')
    fprintf('el dia es %.0f\n',k)
fprintf('el armonico es %.0f\n',kjc)
else
end
        end
    end
end
end

```

VOLTAJE

Para los armónicos de voltaje la programación es parecida, pero hay ciertos cambios que se deben considerar:

El primer punto a considerar es que en este caso al cambiar los datos a porcentaje, son en base al voltaje nominal.

```
porcentaje=a/1380*sqrt(3);
```

El siguiente punto es que para los armónicos de voltaje se tienen otros límites por lo que se coloca de la siguiente manera:

```

n=tamanoadm(1);           %hasta este punto la programación es similar

vnorma=1.5;
VN=zeros(n,50);         %creacion de la matriz norma
VN(:,2:34)=vnorma;
matr=zeros(tamanoadm);
comp=adiezmin>VN;      %de aquí en adelante la programación
                       %continua igual

```

```
auxdia(t,:) = sum(comp) / size(comp, 1) * 100; ...
```

ANEXO 4: CARACTERIZACIÓN SEMANAL

ANEXO 4.1 PROGRAMA

Los primeros pasos de esta programación, siguen la misma secuencia que la programación anterior, es decir se inicia abriendo los archivos uno por uno, se coloca un vector con los valores de la norma y se comparan con los datos obtenidos en porcentaje del voltaje o corriente, según sea el caso. La diferencia está en que a los valores de la norma se los multiplica por 0.1 para poder tener los valores que superan el 10% de la norma. También se hace uso de distintas variables auxiliares para almacenar los resultados que vayan apareciendo.

CORRIENTE

```
clear,clc;
auxdm=1:144:1152;
matriz=zeros(1008,50); %siete dias, 7*144de diez min almacena una matriz
                        %tras otra de siete dias
total=zeros(1008,50);
armutiles=zeros(4,10);
totaldos=zeros(144,7);
mediasem=0;
dim=4;                %numero del día del mes donde inicia el analisis
for imn=1:4           %para abrir los archivos cada semana en un mes
    mm=dim+7*(imn-1); % calcula el dia de inicio de la semana de acuerdo
                    %al que se ponga primero en el mes
    nn=dim+6+7*(imn-1);%final de la semana
    krn=1;            %auxiliar para inicializar el primer dia del mes
for k=mm:nn
    name=sprintf('%s%d', 'DIRECCIONEDEL ARCHIVO',k, '.xlsx');
    a=xlsread(name);
    tma=size(a);
    porcentaje=a/0.8974865; %se transforma de kA a A multiplicando por
                            %mil y se divide para 100 para porcentaje
                            %artificio
aux=1:30:4350;
auxdia=zeros(144,50);
medias=zeros(144,50);
for t=1:144
    adiezmin=porcentaje(aux(t):aux(t+1)-1,:); %para tomar los valores de
                                                %la matriz obtenida de los 10 min
    b=isnan(adiezmin);
    c=sum(b,2);
    ind=c>0;
    adiezmin(ind,:)=[];
    tamañoadm=size(adiezmin);
    n=tamañoadm(1);
    inormaimpares=[7*0.10 3.5*0.10 2.5*0.10 1*0.10];
    inormapares=[7*0.25*0.1 3.5*0.25*0.1 2.5*0.25*0.1 1*0.25*0.1];
```

```

IN=zeros(n,50); %creacion de la matriz norma
IN(:,2:2:10)=inormapares(1);
IN(:,12:2:16)=inormapares(2);
IN(:,18:2:22)=inormapares(3);
IN(:,24:2:34)=inormapares(4);
IN(:,3:2:9)=inormaimpares(1);
IN(:,11:2:15)=inormaimpares(2);
IN(:,17:2:21)=inormaimpares(3);
IN(:,23:2:33)=inormaimpares(4);
matr=zeros(tamanoadm);
comp=adiezmin>IN;
auxdia(t,:)=sum(comp)/size(comp,1)*100;
medias(t,:)=mean(adiezmin);
baux=isnan(auxdia);
caux=sum(baux,2);
indaux=caux>0;
auxdia(indaux,:)=[];
bm=isnan(medias);
cm=sum(bm,2);
indm=cm>0;
medias(indm,:)=[];
end
matriz(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=auxdia;
total(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=medias;
time(1+(krn-1)*144:144*krn,1)=t';
krn=krn+1;
end
tpercen=sort(matriz);
%%
% Determinacion de los armónicos que sobrepasan la norma consecuentemente
x=0;
jk=1:4;
for i=2:34
    for kj=1:jk
        if tpercen(1000+1000*(kj-1),i)>=60
            x(i)=i;
        else
            end
        end
    end
end
%crear una matriz de armonicos utiles o mas influyentes semanales en un
%mes
rte=find(x);
tamarmu=size(rte);
ter=tamarmu(2);
armutiles(imn,1:ter)=rte;

%%
for jq=1:ter
    harmx=zeros(144,7);
    for hi=1:7
        harmx(:,hi)=total(1+(hi-1)*144:144*hi,rte(jq));
    end
end
totaldos(1+(jq-1)*144:144*jq,:)=harmx;

eval(['H',num2str(rte(jq)),'_',num2str(imn),'=harmx;'])

%Aqui inicia el análisis multivariante, Coordenadas Principales
tiempo=1/6:1/6:24;

```

```

datx=harmx;
Medatx=mean(datx,2);
[ln, kn]=size(datx);
for j=1:kn
    Dat1X(:,j)=datx(:,j)-datx(1,j)*ones(ln,1)-Medatx;
end
data_a = Dat1X;
clear Dat1X
for j=1:size(data_a,1)
    for q=1:size(data_a,2)
        for r=1:size(data_a,2)
            Xij_a(q,r,j)=(data_a(j,q)-data_a(j,r))^2;
            if j>1
                Dt=tiempo(j)-tiempo(j-1);
                Yij_a(q,r,j-1)=(Xij_a(q,r,j)+Xij_a(q,r,j-1))/2*Dt;
            end
        end
    end
end
D1=sqrt(sum(Yij_a,3));
Pp=eye(size(data_a,2))-1/size(data_a,2)*ones(size(data_a,2));
Q_a=-1/2*Pp*D1*Pp;
[Vector, Autov] = svd(Q_a);
Coord_a=[Vector(:,1)*sqrt(Autov(1,1)) Vector(:,2)*sqrt(Autov(2,2))
Vector(:,3)*sqrt(Autov(3,3))];
X_datos(:,1+3*(jq-1):3+3*(jq-1))=Coord_a;
end

%%
%Algoritmo fuzzy FCM
ncluster=3;
[center1, U1, obj_fcn1] = fcm(X_datos, ncluster, [2;100;1e-5;0]);
maxU1 = max(U1);
for i_uclust=1:1:size(U1,1)
    maxclust=find(U1(i_uclust,:) == maxU1)';
    eval(['index', num2str(i_uclust), '=maxclust', ';']);
end
index=zeros(size(U1,2),1);
for i_graf=1:1:size(U1,2)
    for i_graf1=1:1:size(U1,1)
        eval(['dumm_chk', '=index', num2str(i_graf1), ';']);
        for i_graf2=1:1:length(dumm_chk)
            index(dumm_chk(i_graf2))=i_graf1;
        end
    end
end
end

%%
% Ahora se procede a dibujar los clusters en el plano de componentes
%principales
figure
ptsymb = {'bs', 'r^', 'md', 'go', 'c+'};
for i = 1:5
    clust = find(index==i);
    plot3(X_datos(clust,1), X_datos(clust,2), X_datos(clust,3), ptsymb{i});
    hold on
end
plot3(center1(:,1), center1(:,2), center1(:,3), 'ko');
plot3(center1(:,1), center1(:,2), center1(:,3), 'kx');
hold off
grid on

```

end

Para los armónicos de voltaje el procedimiento es el mismo, lo que cambia son las variables y los valores de la norma, los que se consideran para los armónicos de voltaje.

VOLTAJE

```
clear,clc;
disp('SEPTIEMBRE')
auxdm=1:144:1152;
matriz=zeros(1008,50); %siete dias, 7*144de diez min almacena una matriz
tras otra de siete dias
total=zeros(1008,50);
time=zeros(1008,1);
armutiles=zeros(4,10);
totaldos=zeros(144,7);
mediasem=0;
dim=4; %numero del mes donde inicia el analisis
for imn=1:4 %para abrir los archivos cada semana en un mes (4semanas)
    mm=dim+7*(imn-1);% calcula el dia de inicio de la semana de acuerdo
al que se pone primero en el mes, ejm 4 mayo-11mayo
    nn=dim+6+7*(imn-1); %final de la semana
    krn=1; %auxiliar para inicializar el primer dia dfel mes que se ponga
for k=mm:nn

name=sprintf('%s%d','E:\TESIS_SOL\LOJA_VILL_69\cadaseg\CV\HARM\AGOSTO\',k
, '.xlsx');
    a=xlsread(name);
    w=20/3600; %creacion de columna tiempo se elijio cada 20segundos, en
segundos
    auxtempo=[0:w:24]';% son 24h un dia
    tma=size(a);
    porcentaje=a/690*sqrt(3); %se transforma de kA a A multiplicando por
mil y se divide para 100 para porcentaje
    aux=1:30:4350; %artificio
    auxdia=zeros(144,50);
    medias=zeros(144,50);
for t=1:144
    adiezmin=porcentaje(aux(t):aux(t+1)-1,:); %para tomar los valores de
la matriz obtenida de los 10 min
    b=isnan(adiezmin);
    c=sum(b,2);
    ind=c>0;
    adiezmin(ind,:)=[];
    auxtempo(ind,:)=[];%%%%%%%%*****revisar
    tamanoadm=size(adiezmin);
    n=tamanoadm(1);
    vnorma=1*0.1;
    VN=zeros(n,50); %creacion de la matriz norma
    VN(:,2:34)=vnorma;
    matr=zeros(tamanoadm);
    comp=adiezmin>VN;
    auxdia(t,:)=sum(comp)/size(comp,1)*100;
    medias(t,:)=mean(adiezmin);
    baux=isnan(auxdia);
```

```

    caux=sum(baux,2);
    indaux=caux>0;
    auxdia(indaux,:)=[];
    bm=isnan(medias);
    cm=sum(bm,2);
    indm=cm>0;
    medias(indm,:)=[];
end
matriz(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=auxdia;
total(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=medias;
time(1+(krn-1)*144:144*krn,1)=t';
krn=krn+1;
end
tpercen=sort(matriz);

x=0;
jk=1:4;
for i=2:34
    for kj=1:jk
        if tpercen(1000+1000*(kj-1),i)>=60
            x(i)=i;
        else
            end
        end
    end
end
%crear una matriz de armonicos utiles semanales en un mes para pder
%comparar
rte=find(x);
tamarmu=size(rte);
ter=tamarmu(2);
armutiles(imn,1:ter)=rte;

```

ANEXO 4: CARACTERIZACIÓN SEMANAL

ANEXO 4.2 TABLAS

LOJA-VILLONACO

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	2	3	1	2	2
	2	1	1	2	3	3	3	1
	3	3	3	2	2	2	1	3
	4	2	2	2	1	3	1	3
Junio	1	1	3	2	2	3	1	1
	2	2	1	3	3	1	3	3
	3	1	2	2	2	3	3	2
	4	1	3	3	1	3	2	1
Julio	1	2	2	1	2	1	3	2
	2	2	3	3	3	1	1	3
	3	1	3	2	3	2	2	1
	4	2	2	2	2	3	1	1
Agosto	1	3	1	1	3	3	2	3
	2	1	2	2	1	3	1	3
	3	3	1	1	1	2	3	2
	4	1	2	3	1	1	1	1
Septiembre	1	3	2	3	2	2	2	1
	2	2	2	2	2	1	3	3
	3	3	3	3	2	2	3	1
	4	2	2	2	1	1	1	3
Octubre	1	3	1	3	3	2	1	3
	2	1	2	3	1	2	2	2
	3	3	3	3	3	1	2	3
	4	1	1	3	3	1	2	3

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	2	2	2	3	2	3
	2	3	1	2	2	2	2	2
	3	3	2	1	2	1	1	3
	4	3	1	3	3	2	3	2
Junio	1	1	2	2	2	2	1	3
	2	1	3	3	1	1	1	2
	3	3	2	2	2	2	2	1
	4	3	2	2	3	2	2	1
Julio	1	3	3	3	3	2	1	3
	2	2	3	3	1	3	1	3
	3	1	1	3	3	3	2	1
	4	1	1	2	2	1	3	1
Agosto	1	3	3	3	1	1	2	1
	2	3	3	3	1	1	1	2
	3	1	1	1	1	2	1	3
	4	3	2	1	3	3	3	3
Septiembre	1	3	3	1	3	3	1	2
	2	1	3	3	1	1	2	2
	3	3	1	3	1	1	2	2
	4	1	1	1	3	1	3	2
Octubre	1	3	2	3	3	1	2	3
	2	1	1	2	2	3	3	3
	3	3	3	1	2	2	3	3
	4	2	1	2	2	3	1	2

MILAGRO-SAN IDELFONSO

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	3	1	2	3	2	2
	2	1	2	2	1	2	3	2
	3	1	1	3	3	1	3	2
	4	1	2	2	2	2	3	2
Junio	1	1	3	3	1	1	2	2
	2	2	1	3	1	3	3	1
	3	1	2	2	2	2	1	3
	4	1	1	2	3	1	1	1
Julio	1	3	1	2	2	2	3	3
	2	2	2	2	3	3	3	1
	3	1	3	3	3	2	2	3
	4	1	3	1	1	3	3	2
Agosto	1	3	3	3	2	2	1	1
	2	2	3	3	1	2	1	1
	3	2	2	1	2	3	1	1
	4	2	2	1	1	1	3	3
Septiembre	1	2	2	2	3	2	2	1
	2	3	2	2	1	1	1	1
	3	3	2	2	3	2	1	1
	4	1	3	3	3	2	2	2
Octubre	1	2	2	3	3	3	3	1
	2	3	3	2	1	2	3	3
	3	1	2	2	1	1	2	3
	4	1	3	2	2	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	3	3	3	3	2
	2	2	1	1	2	1	3	2
	3	2	2	1	1	2	1	3
	4	2	2	3	3	3	1	2
Junio	1	2	1	2	2	1	1	3
	2	2	1	2	2	3	3	3
	3	1	2	2	2	2	2	3
	4	3	1	3	2	3	3	1
Julio	1	1	3	1	1	1	1	2
	2	1	2	2	1	2	1	3
	3	3	1	1	1	1	1	2
	4	2	2	2	2	1	1	3
Agosto	1	2	3	3	2	2	1	1
	2	2	3	3	2	2	2	1
	3	2	2	1	1	1	2	3
	4	3	3	3	1	1	1	2
Septiembre	1	2	2	3	3	2	3	1
	2	2	1	1	3	1	3	3
	3	1	3	3	3	3	1	2
	4	1	2	3	3	1	1	1
Octubre	1	2	2	3	3	3	1	1
	2	2	2	1	1	1	1	3
	3	3	3	1	1	1	2	1
	4	3	3	3	3	3	2	1

MOLINO-AT1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	2	1	2	1	3	1
	2	2	1	3	1	2	1	1
	3	3	1	1	1	3	1	2
	4	1	2	2	2	3	3	3
Junio	1	2	3	3	2	3	1	3
	2	1	1	2	1	2	3	2
	3	1	3	3	3	3	2	3
	4	2	2	3	1	2	2	2
Julio	1	3	1	1	1	3	3	2
	2	2	1	3	3	2	3	3
	3	1	3	2	3	2	3	2
	4	3	2	2	2	1	1	1
Agosto	1	1	3	2	1	1	2	2
	2	2	3	3	3	3	1	2
	3	2	2	1	2	3	1	2
	4	2	2	2	1	1	3	3
Septiembre	1	3	3	3	2	3	2	1
	2	1	1	1	3	3	2	3
	3	3	2	3	2	2	1	1
	4	1	3	3	2	3	2	2
Octubre	1	3	2	2	2	2	2	1
	2	3	3	1	1	1	2	3
	3	1	2	2	2	3	2	3
	4	1	1	1	2	3	1	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	2	2	2	2	3	1
	2	1	1	1	1	2	1	3
	3	3	2	2	2	3	3	1
	4	1	3	3	2	3	2	2
Junio	1	2	2	2	3	3	1	1
	2	1	3	1	2	2	1	2
	3	3	2	2	2	2	2	1
	4	1	1	2	3	1	1	1
Julio	1	2	2	1	2	1	1	3
	2	3	2	3	3	2	3	1
	3	1	3	3	3	3	3	2
	4	3	3	3	3	2	2	1
Agosto	1	3	3	1	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	3	3	1
	3	3	3	2	2	1	2	2
	4	2	2	2	1	1	3	2
Septiembre	1	3	2	2	2	2	3	1
	2	3	1	1	3	3	3	2
	3	2	1	2	1	2	3	3
	4	1	1	1	1	3	2	2
Octubre	1	2	2	3	3	2	2	1
	2	3	3	2	2	1	2	3
	3	3	3	2	2	3	3	1
	4	1	1	1	3	1	1	2

MOLINO- PASCUALES

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	3	1	3	2	1
	2	2	2	3	3	3	2	1
	3	2	1	2	2	2	2	3
	4	1	2	1	1	2	3	2
Junio	1	1	2	3	3	3	3	3
	2	2	1	2	2	2	3	1
	3	3	2	1	1	1	1	1
	4	1	2	3	1	2	2	2
Julio	1	2	1	1	1	1	3	1
	2	1	3	1	3	3	3	2
	3	3	3	3	3	1	3	2
	4	3	1	1	1	2	2	2
Agosto	1	1	1	1	3	3	3	2
	2	2	3	1	3	1	3	1
	3	1	1	1	3	2	1	1
	4	1	1	2	2	2	3	3
Septiembre	1	2	2	1	1	1	2	3
	2	2	1	2	2	2	3	1
	3	3	1	2	2	2	1	1
	4	1	1	1	1	2	2	3
Octubre	1	3	2	3	2	3	2	1
	2	3	3	2	2	3	3	1
	3	2	2	3	3	2	2	1
	4	1	1	1	2	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	1	2	1	2	3
	2	3	3	2	2	3	1	1
	3	2	1	1	2	2	3	1
	4	1	2	2	3	2	3	3
Junio	1	3	3	3	2	2	1	1
	2	2	1	2	1	2	3	1
	3	2	3	1	3	1	1	1
	4	2	1	3	2	1	1	1
Julio	1	2	2	1	1	2	3	3
	2	1	1	2	2	1	2	3
	3	1	1	1	3	3	1	2
	4	3	2	2	2	1	1	1
Agosto	1	2	2	2	1	1	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	1
	3	3	3	1	1	2	1	3
	4	2	2	2	1	1	3	2
Septiembre	1	3	2	2	2	3	3	1
	2	3	1	1	1	2	3	3
	3	3	2	1	2	2	1	1
	4	3	3	3	3	2	1	1
Octubre	1	3	1	3	3	1	1	2
	2	1	1	2	2	3	3	1
	3	2	2	1	2	2	3	3
	4	3	3	3	1	3	3	2

MOLINO- TOTORAS

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	1	2	1	3	3
	2	2	3	3	3	2	3	1
	3	3	3	1	1	3	2	1
	4	3	2	2	2	2	1	1
Junio	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	3	2	3	2	2	1	3
	3	2	3	3	3	1	1	1
	4	3	3	2	1	3	3	3
Julio	1	1	2	2	2	1	2	3
	2	3	1	3	2	2	3	2
	3	3	3	3	1	1	2	3
	4	1	3	3	3	2	2	1
Agosto	1	2	3	3	2	2	3	1
	2	1	1	2	2	1	2	3
	3	3	1	1	1	2	1	3
	4	1	1	1	3	3	3	2
Septiembre	1	2	2	1	1	2	2	3
	2	1	1	1	3	3	2	2
	3	1	1	1	2	2	2	3
	4	2	2	1	1	2	2	3
Octubre	1	2	3	3	1	2	2	2
	2	3	3	3	1	3	2	1
	3	3	1	3	3	1	2	2
	4	3	2	1	2	1	1	3

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	2	2	2	2	3	3
	2	1	1	1	1	2	3	3
	3	2	1	1	1	2	1	3
	4	3	3	3	2	3	1	2
Junio	1	3	3	3	2	2	1	1
	2	3	2	3	1	3	3	1
	3	3	1	1	1	1	1	2
	4	1	1	2	3	1	1	1
Julio	1	3	3	1	1	3	2	2
	2	3	1	2	2	3	2	3
	3	2	1	1	3	3	1	1
	4	1	3	3	1	2	2	1
Agosto	1	3	3	3	2	2	1	1
	2	3	3	3	3	2	2	1
	3	3	3	2	2	1	2	3
	4	3	3	3	2	2	2	1
Septiembre	1	1	3	3	3	1	1	2
	2	3	1	1	1	1	3	2
	3	2	1	2	1	1	3	3
	4	2	2	2	2	3	3	1
Octubre	1	2	2	3	3	2	2	1
	2	3	3	2	2	1	1	3
	3	1	1	3	1	3	1	2
	4	2	2	2	1	2	2	3

MONTECRISTI- JARAMIJÓ

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	3	1	1	1	1
	2	1	2	1	2	1	3	2
	3	3	3	1	1	2	2	1
	4	2	1	1	3	1	3	3
Junio	1	1	3	3	1	1	2	3
	2	1	3	1	1	1	3	2
	3	1	3	2	2	2	3	3
	4	1	1	3	2	1	1	1
Julio	1	3	2	2	2	2	1	1
	2	3	1	1	2	2	1	1
	3	1	1	1	1	1	3	2
	4	1	3	2	2	2	2	1
Agosto	1	2	3	2	2	2	1	2
	2	3	1	1	3	3	3	2
	3	2	2	1	1	3	1	1
	4	1	2	1	2	2	2	3
Septiembre	1	3	1	3	2	3	2	3
	2	3	2	1	1	2	2	1
	3	2	3	2	1	1	1	2
	4	1	1	2	1	3	1	1
Octubre	1	3	1	3	2	2	2	1
	2	2	1	1	1	1	2	3
	3	3	1	2	1	1	2	1
	4	2	1	3	1	3	3	2

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	1	1	2	1	2	2
	2	3	3	3	3	2	2	1
	3	3	3	1	1	3	2	2
	4	1	3	3	3	3	1	2
Junio	1	3	1	1	1	3	2	3
	2	3	3	3	2	2	3	1
	3	3	1	2	2	2	1	2
	4	2	2	2	1	1	1	3
Julio	1	1	2	2	2	2	2	3
	2	3	1	1	1	3	3	2
	3	2	3	2	3	2	2	1
	4	2	3	3	3	3	2	1
Agosto	1	2	1	3	2	1	3	3
	2	1	2	2	1	1	1	3
	3	1	1	2	2	3	2	1
	4	1	3	1	3	1	1	2
Septiembre	1	3	1	1	3	1	2	2
	2	3	3	2	2	3	2	1
	3	2	2	2	3	3	3	1
	4	2	2	2	2	1	3	3
Octubre	1	1	3	1	2	2	1	1
	2	3	3	1	1	1	3	2
	3	3	2	2	1	2	1	2
	4	2	1	3	3	1	1	2

PASCUALES-ELECTROQUIL 3

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	2	1	1
	2	2	3	3	3	2	1	2
	3	2	3	3	3	1	1	1
	4	1	3	3	2	1	2	2
Junio	1	2	1	2	1	2	3	3
	2	1	2	2	1	2	3	3
	3	1	2	3	2	2	3	3
	4	3	3	2	3	3	1	1
Julio	1	1	1	1	2	2	1	3
	2	2	3	3	2	1	3	2
	3	1	1	1	2	3	2	2
	4	1	3	3	3	1	2	2
Agosto	1	2	2	1	1	2	3	3
	2	3	2	3	3	2	2	1
	3	2	3	2	2	2	1	1
	4	3	3	2	3	3	1	1
Septiembre	1	1	1	2	2	3	1	3
	2	2	2	3	3	2	3	1
	3	1	1	1	1	1	2	3
	4	1	3	3	2	2	2	2
Octubre	1	2	2	1	1	1	3	3
	2	3	1	2	2	1	1	1
	3	2	1	2	1	2	3	3
	4	1	1	3	1	3	3	2

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	1	1	3	1	2	2
	2	3	1	3	3	3	2	2
	3	3	1	2	3	2	1	3
	4	2	2	3	3	2	2	1
Junio	1	3	3	3	2	3	1	2
	2	3	2	3	1	3	3	2
	3	3	1	2	2	2	2	2
	4	1	1	2	1	1	1	3
Julio	1	1	1	3	3	3	2	3
	2	1	1	1	3	2	3	1
	3	2	3	3	3	1	3	2
	4	1	2	2	2	3	3	3
Agosto	1	3	1	1	1	1	1	2
	2	1	3	2	2	3	3	3
	3	1	1	1	2	3	2	2
	4	1	1	3	3	3	2	3
Septiembre	1	2	2	1	1	1	1	3
	2	1	3	3	1	1	2	1
	3	1	1	3	1	1	2	3
	4	3	3	3	3	2	1	1
Octubre	1	2	2	2	1	2	1	3
	2	1	1	3	3	1	2	3
	3	1	1	1	1	1	3	2
	4	1	2	1	1	2	2	3

PASCUALES- MOLINO1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	3	3	3	1	2
	2	2	2	2	2	1	2	3
	3	1	1	1	2	2	2	3
	4	3	2	1	3	3	3	3
Junio	1	2	1	2	2	1	3	3
	2	1	3	1	3	1	2	3
	3	3	1	1	1	2	2	2
	4	3	3	2	1	3	3	3
Julio	1	2	2	3	3	2	2	1
	2	1	2	3	3	2	3	3
	3	3	3	1	1	2	3	1
	4	3	1	1	3	2	2	3
Agosto	1	2	2	2	1	1	3	3
	2	1	3	1	1	2	2	2
	3	2	2	2	2	3	3	1
	4	1	1	1	2	2	2	3
Septiembre	1	1	3	3	3	1	1	2
	2	3	2	2	3	3	3	1
	3	2	3	2	3	2	1	1
	4	3	3	3	3	1	1	2
Octubre	1	2	2	1	1	2	2	3
	2	1	1	3	3	1	2	2
	3	1	1	3	3	1	2	3
	4	3	2	3	3	3	3	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	2	2	2	1	3	3
	2	1	1	1	1	2	2	3
	3	3	1	1	3	1	2	2
	4	1	1	3	3	1	2	1
Junio	1	2	1	2	3	2	2	3
	2	1	2	1	1	1	3	2
	3	3	1	2	2	2	1	1
	4	1	1	3	2	1	1	1
Julio	1	1	1	3	3	3	1	2
	2	2	2	2	3	1	3	2
	3	3	1	1	1	2	1	3
	4	2	3	3	3	1	3	3
Agosto	1	3	1	1	1	1	2	2
	2	1	2	2	3	2	3	1
	3	2	2	2	2	1	2	3
	4	1	1	3	3	3	2	3
Septiembre	1	3	3	1	1	1	3	2
	2	3	2	2	1	1	1	3
	3	2	3	2	1	1	1	2
	4	3	2	3	3	2	3	1
Octubre	1	1	1	1	3	2	3	3
	2	1	2	1	1	2	2	3
	3	3	1	1	1	1	1	2
	4	3	2	3	2	2	2	1

PASCUALES- MOLINO2

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	3	1	3	1	2
	2	3	3	3	3	1	3	2
	3	2	2	3	3	2	2	1
	4	1	2	1	2	2	1	3
Junio	1	2	1	2	2	1	3	3
	2	3	1	3	1	3	2	1
	3	2	3	1	1	1	1	2
	4	3	2	3	1	3	3	3
Julio	1	3	3	2	2	3	3	1
	2	3	1	3	3	1	3	2
	3	3	3	1	1	2	3	1
	4	1	3	3	1	2	2	1
Agosto	1	1	1	3	2	2	2	2
	2	3	1	3	1	1	1	2
	3	2	2	2	2	1	1	3
	4	2	2	2	1	1	1	3
Septiembre	1	1	2	2	2	1	1	3
	2	1	3	3	1	1	1	2
	3	1	3	1	3	1	2	2
	4	1	1	1	1	3	2	2
Octubre	1	2	2	3	3	3	2	1
	2	3	3	2	2	1	1	3
	3	1	1	3	3	1	1	2
	4	3	1	3	3	3	3	2

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	1	2	2
	2	2	2	2	2	3	3	1
	3	3	1	1	3	1	2	2
	4	1	1	3	3	1	2	1
Junio	1	3	2	3	3	3	2	1
	2	2	3	2	2	2	1	3
	3	2	1	3	3	3	3	3
	4	3	3	1	2	3	3	3
Julio	1	1	2	2	2	2	2	3
	2	1	1	1	2	1	1	3
	3	3	3	3	3	1	3	2
	4	1	3	3	3	2	2	2
Agosto	1	2	2	3	2	2	1	1
	2	2	2	2	1	2	1	3
	3	2	2	2	3	1	2	2
	4	2	2	3	3	3	1	3
Septiembre	1	3	3	2	2	2	3	1
	2	3	1	1	1	1	2	3
	3	2	1	2	1	1	3	2
	4	3	1	1	1	2	1	1
Octubre	1	2	2	2	1	3	1	1
	2	3	2	3	3	2	2	1
	3	1	1	1	1	1	2	3
	4	2	1	2	1	1	1	3

POMASQUI- JAMONDINO 3

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	1	1	3	2	2
	2	1	1	1	2	1	1	3
	3	1	1	1	2	1	3	2
	4	3	2	1	1	1	2	2
Junio	1	1	2	2	2	2	3	3
	2	1	1	1	1	1	2	3
	3	2	2	2	1	3	2	2
	4	1	1	1	2	2	2	3
Julio	1	3	3	1	1	1	2	1
	2	2	1	1	2	2	1	3
	3	2	1	3	3	1	3	3
	4	3	2	2	1	2	3	3
Agosto	1	2	1	1	1	3	3	1
	2	1	3	2	1	3	2	1
	3	1	1	2	2	3	2	1
	4	3	3	1	1	3	2	2
Septiembre	1	2	3	3	3	3	1	3
	2	1	1	1	3	3	3	2
	3	2	1	2	2	2	2	3
	4	2	2	3	3	2	1	3
Octubre	1	1	1	2	1	2	3	3
	2	1	2	1	2	1	3	2
	3	3	3	3	3	2	1	1
	4	2	1	1	1	1	2	3

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	3	1
	2	3	2	2	2	3	1	1
	3	3	2	2	2	3	1	1
	4	3	1	1	1	1	1	2
Junio	1	3	2	2	2	2	1	1
	2	1	1	3	3	3	3	2
	3	2	2	2	3	1	2	2
	4	2	3	2	2	3	3	1
Julio	1	2	1	3	1	3	3	3
	2	2	3	3	3	3	1	1
	3	1	1	2	2	3	1	1
	4	1	1	3	1	1	1	2
Agosto	1	1	3	3	3	1	1	2
	2	3	2	3	3	2	3	1
	3	3	1	1	1	2	1	3
	4	2	2	3	2	2	1	1
Septiembre	1	3	3	3	3	3	2	1
	2	1	1	2	3	3	2	3
	3	3	2	3	3	3	3	1
	4	1	3	2	2	2	1	2
Octubre	1	2	2	1	2	2	2	3
	2	2	2	1	3	2	2	3
	3	2	3	3	3	2	2	1
	4	2	1	1	1	2	2	3

QUEVEDO- ATT 138

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	1	2	1	1	3
	2	1	1	1	1	2	2	3
	3	3	1	1	1	1	2	1
	4	2	2	2	2	1	1	3
Junio	1	3	1	1	3	1	2	2
	2	2	2	2	1	1	3	3
	3	3	2	1	1	1	2	2
	4	1	1	2	3	1	2	2
Julio	1	1	2	2	2	2	2	3
	2	3	3	3	3	2	1	1
	3	3	3	3	3	1	3	2
	4	1	2	2	2	3	3	3
Agosto	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	1	1	3	3	1	1	2
	3	1	1	3	1	2	3	1
	4	2	1	1	1	1	3	3
Septiembre	1	1	2	2	2	1	3	3
	2	1	1	1	1	3	2	2
	3	1	1	2	2	2	3	3
	4	1	2	2	2	3	1	1
Octubre	1	2	1	2	2	2	3	3
	2	1	1	1	1	3	3	2
	3	2	1	1	1	1	3	3
	4	1	3	3	3	3	2	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	1	1	1	1	2	2
	2	3	3	3	3	3	2	1
	3	2	2	3	3	1	2	3
	4	3	1	1	1	1	3	2
Junio	1	3	1	1	3	1	2	2
	2	3	3	2	2	2	3	1
	3	1	2	3	1	1	3	2
	4	2	2	3	1	2	2	2
Julio	1	1	2	2	2	2	2	3
	2	3	3	1	1	2	3	3
	3	3	3	3	3	1	3	2
	4	3	3	3	3	3	2	1
Agosto	1	3	3	1	3	1	2	2
	2	2	2	2	3	2	3	1
	3	2	2	3	3	1	3	2
	4	3	2	3	2	2	2	1
Septiembre	1	2	2	3	3	3	3	1
	2	1	3	2	2	2	2	1
	3	1	1	1	2	2	1	2
	4	2	1	1	2	2	3	3
Octubre	1	3	3	2	1	1	3	3
	2	1	2	1	2	1	1	3
	3	3	3	1	2	3	2	1
	4	1	3	2	3	2	2	1

QUEVEDO- PASCUALES 1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	1	1	2	1	3	3
	2	2	2	2	1	1	2	3
	3	3	2	3	3	2	3	1
	4	3	3	1	1	3	3	2
Junio	1	3	2	2	1	2	2	1
	2	3	1	2	2	2	2	1
	3	3	1	1	2	2	1	2
	4	1	3	1	3	2	2	1
Julio	1	3	1	3	3	3	1	2
	2	2	3	3	1	2	2	3
	3	2	3	2	3	3	3	1
	4	3	3	1	3	1	1	2
Agosto	1	1	3	1	3	1	2	2
	2	2	2	1	2	2	2	3
	3	2	2	3	3	1	3	2
	4	2	2	3	3	3	1	1
Septiembre	1	2	2	3	3	3	2	1
	2	2	1	2	3	1	3	1
	3	3	1	1	2	2	2	3
	4	2	2	1	1	1	3	3
Octubre	1	2	1	1	2	2	3	2
	2	2	2	3	3	3	1	2
	3	3	2	3	3	3	3	1
	4	3	3	2	2	2	2	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	1	3	1	3	3
	2	3	1	3	3	3	1	2
	3	1	1	3	3	1	1	2
	4	1	3	3	3	3	2	1
Junio	1	1	3	3	2	3	2	2
	2	3	3	1	3	3	3	2
	3	2	3	1	1	1	1	3
	4	1	3	1	3	2	2	2
Julio	1	3	2	2	2	2	1	1
	2	1	2	3	3	1	2	2
	3	1	1	1	1	2	1	3
	4	1	3	1	3	3	3	2
Agosto	1	2	2	3	2	3	1	1
	2	2	1	1	3	2	3	1
	3	2	2	1	1	3	1	2
	4	1	3	1	3	3	3	2
Septiembre	1	3	3	1	1	3	1	2
	2	2	3	3	3	1	3	2
	3	1	1	1	3	3	1	2
	4	3	3	3	3	2	1	1
Octubre	1	2	2	2	3	3	1	2
	2	2	1	1	1	1	2	3
	3	1	3	2	2	3	2	2
	4	3	3	3	3	3	2	1

SALITRAL- ATR 138

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	2	2	2	1	2	3
	2	3	3	1	3	2	1	3
	3	1	1	3	2	2	2	1
	4	1	1	2	2	1	1	3
Junio	1	2	2	1	1	1	3	3
	2	1	2	3	2	1	3	1
	3	1	1	1	3	2	2	2
	4	1	2	3	1	2	2	2
Julio	1	1	2	2	2	2	2	3
	2	1	2	2	1	2	3	2
	3	1	1	2	2	3	2	1
	4	3	2	1	3	3	2	1
Agosto	1	3	3	2	2	2	1	1
	2	1	2	3	3	2	2	2
	3	3	3	2	2	1	2	2
	4	3	2	1	3	2	1	1
Septiembre	1	1	1	3	3	3	2	2
	2	3	3	3	1	3	2	2
	3	2	2	1	2	2	3	3
	4	2	2	3	3	1	1	1
Octubre	1	2	2	2	1	2	3	1
	2	2	2	1	1	1	3	1
	3	2	2	2	2	2	1	3
	4	1	1	2	2	2	3	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	2	2	2	2	3	1
	2	2	2	2	2	3	2	1
	3	1	1	3	2	2	2	1
	4	2	1	2	2	1	3	1
Junio	1	2	3	1	1	1	2	2
	2	3	2	1	1	3	3	2
	3	3	3	3	2	1	1	1
	4	3	2	1	3	2	2	2
Julio	1	1	2	1	1	1	3	3
	2	1	1	2	3	2	1	2
	3	3	3	3	3	1	3	2
	4	3	2	2	2	1	1	2
Agosto	1	2	3	3	1	3	1	1
	2	1	1	1	1	3	2	3
	3	3	3	2	2	1	2	2
	4	1	1	1	3	3	1	2
Septiembre	1	1	1	1	1	1	3	2
	2	1	3	3	1	1	2	1
	3	2	1	1	1	1	3	2
	4	2	2	2	2	1	3	3
Octubre	1	2	2	2	1	3	1	1
	2	1	1	2	3	2	1	2
	3	2	2	2	2	2	3	1
	4	2	2	1	1	2	3	1

STO. DOMINGO- BABA**Armónicos de Corriente**

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	1	3	1	2	2
	2	3	3	2	2	3	3	1
	3	1	1	3	2	1	2	2
	4	3	2	2	3	2	1	1
Junio	1	1	1	3	1	2	2	2
	2	3	3	2	3	3	3	1
	3	1	3	2	3	3	3	3
	4	3	3	1	2	3	3	3
Julio	1	3	1	1	2	1	3	1
	2	3	1	1	1	1	3	2
	3	1	1	2	3	2	1	3
	4	2	3	2	3	2	2	1
Agosto	1	2	3	2	2	2	1	1
	2	2	2	2	1	2	1	3
	3	1	1	3	3	3	3	2
	4	1	1	2	2	2	1	3
Septiembre	1	2	3	3	3	3	1	3
	2	1	2	2	1	1	1	3
	3	1	3	3	3	3	2	1
	4	2	2	3	3	2	1	1
Octubre	1	1	1	1	1	2	3	3
	2	3	1	1	1	1	2	3
	3	3	2	1	2	2	3	3
	4	3	1	1	2	2	1	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	1	1
	2	2	3	3	3	2	3	1
	3	3	3	1	1	3	1	2
	4	1	2	2	2	2	3	1
Junio	1	1	1	2	1	1	3	3
	2	3	3	1	3	3	1	2
	3	3	1	1	2	2	2	1
	4	1	1	3	2	1	1	1
Julio	1	1	3	3	3	3	2	2
	2	2	1	1	1	2	1	3
	3	3	3	2	1	2	3	1
	4	1	1	1	2	2	3	3
Agosto	1	1	3	3	3	3	2	2
	2	2	2	1	1	2	3	2
	3	1	3	2	2	2	2	3
	4	3	3	3	2	2	3	1
Septiembre	1	3	3	2	3	3	2	1
	2	1	1	1	2	3	2	2
	3	1	1	1	3	3	3	2
	4	2	1	1	2	3	3	3
Octubre	1	2	3	3	1	1	2	2
	2	3	3	3	2	1	1	3
	3	3	3	2	2	3	1	1
	4	3	1	1	3	3	3	2

STO. DOMINGO- ESMERALDAS

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	3	2	3	2	2	1
	2	2	1	3	3	2	3	2
	3	2	2	1	1	2	1	1
	4	3	2	2	3	1	1	3
Junio	1	2	2	3	1	1	1	2
	2	2	1	3	2	2	1	1
	3	2	2	2	3	3	1	3
	4	3	3	3	1	3	2	2
Julio	1	2	1	1	1	3	1	2
	2	2	3	1	3	3	3	2
	3	2	2	2	2	3	2	1
	4	3	2	2	1	3	3	3
Agosto	1	1	1	2	3	3	3	3
	2	2	2	2	2	2	1	3
	3	2	1	3	1	1	1	1
	4	2	3	3	2	2	3	1
Septiembre	1	2	2	3	3	1	2	3
	2	1	1	1	2	2	2	3
	3	1	1	1	2	3	2	1
	4	2	3	3	3	2	2	1
Octubre	1	3	2	3	3	1	1	1
	2	3	3	1	2	2	2	3
	3	2	1	2	1	2	2	3
	4	1	3	2	2	2	1	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	3	3	3	1	1
	3	3	3	1	1	3	1	2
	4	1	2	2	2	2	3	1
Junio	1	2	2	3	2	2	1	1
	2	2	2	2	3	3	1	1
	3	1	3	3	2	2	2	2
	4	1	1	2	3	1	2	2
Julio	1	1	3	3	3	1	2	3
	2	3	3	1	1	3	1	2
	3	3	3	3	3	2	3	1
	4	1	1	1	3	3	2	3
Agosto	1	2	1	2	2	3	3	1
	2	1	1	1	1	1	3	2
	3	3	3	2	1	1	1	3
	4	3	3	2	2	3	3	1
Septiembre	1	1	1	3	3	1	3	2
	2	1	1	1	2	2	3	3
	3	1	1	1	2	2	2	3
	4	1	3	3	1	2	2	2
Octubre	1	1	3	3	2	2	1	1
	2	1	1	1	3	2	2	1
	3	1	1	3	2	1	2	1
	4	1	2	2	2	2	2	3

STA. ROSA- POMASQUI 1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	2	2	2	1	1	1
	2	2	2	2	3	1	3	2
	3	3	2	2	2	1	1	1
	4	1	1	1	1	2	2	3
Junio	1	2	3	3	1	3	1	1
	2	2	2	1	2	1	1	3
	3	3	2	2	2	1	1	1
	4	1	2	1	1	2	2	3
Julio	1	3	3	2	3	2	1	2
	2	2	2	2	1	1	2	3
	3	2	2	3	3	1	3	2
	4	3	2	2	1	2	3	3
Agosto	1	2	1	2	1	3	1	1
	2	3	2	1	2	1	1	2
	3	1	1	2	2	3	3	3
	4	1	1	1	1	2	2	3
Septiembre	1	2	2	2	1	1	3	1
	2	2	1	3	3	3	2	2
	3	3	2	3	3	3	3	1
	4	2	1	1	1	3	2	2
Octubre	1	1	1	3	1	1	2	2
	2	2	2	3	1	3	3	2
	3	3	3	3	3	2	1	1
	4	1	1	3	3	3	2	2

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	1	2	1	2	3	3
	2	2	1	1	1	2	1	3
	3	1	1	2	1	2	3	3
	4	2	1	2	2	1	1	3
Junio	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	1	1	2	1	2	2	3
	3	2	3	3	1	1	1	3
	4	1	1	1	1	3	2	2
Julio	1	2	3	1	3	1	1	3
	2	2	2	3	1	1	3	3
	3	3	3	3	2	2	1	1
	4	3	3	3	3	1	1	2
Agosto	1	2	1	1	1	2	2	3
	2	1	2	1	3	2	3	3
	3	2	3	1	1	1	1	3
	4	2	1	2	2	1	1	3
Septiembre	1	2	3	3	3	3	1	3
	2	1	2	2	3	2	3	3
	3	2	3	2	2	2	2	1
	4	2	1	1	1	3	3	3
Octubre	1	1	2	2	3	3	1	1
	2	1	1	2	3	2	2	1
	3	1	3	3	3	2	2	2
	4	2	3	3	2	2	3	1

STA. ROSA- STO. DOMINGO 1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	1	2	2	2	2	3
	2	1	1	2	2	1	1	3
	3	3	3	2	1	1	2	3
	4	1	3	3	2	3	1	1
Junio	1	2	3	3	3	3	1	1
	2	3	1	2	2	2	1	3
	3	1	3	2	2	2	3	3
	4	1	2	3	1	2	2	1
Julio	1	3	1	2	2	3	2	3
	2	3	1	3	3	2	3	3
	3	3	2	3	3	1	2	2
	4	2	3	3	3	3	1	2
Agosto	1	3	1	1	3	1	2	2
	2	1	2	2	1	2	1	3
	3	1	1	2	2	3	3	3
	4	2	2	1	1	1	3	3
Septiembre	1	2	3	2	2	3	1	1
	2	1	2	1	1	1	1	3
	3	3	2	1	3	3	1	1
	4	1	1	2	2	1	3	3
Octubre	1	1	3	2	2	2	3	3
	2	3	3	2	2	2	1	3
	3	3	3	3	2	2	1	1
	4	3	3	3	3	3	2	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	2	2	2	1	1
	2	3	2	2	2	3	2	1
	3	1	1	2	2	1	2	3
	4	3	1	1	1	1	2	1
Junio	1	3	2	2	2	2	1	1
	2	2	2	2	2	2	3	1
	3	3	1	1	2	2	2	1
	4	1	1	1	1	2	3	3
Julio	1	2	1	3	1	3	3	1
	2	1	1	2	1	1	2	3
	3	2	2	2	1	1	3	3
	4	1	1	1	1	2	2	3
Agosto	1	1	2	2	2	1	1	3
	2	1	2	1	3	2	3	3
	3	1	2	3	3	3	3	2
	4	1	2	1	1	2	2	3
Septiembre	1	3	1	1	1	1	2	1
	2	2	2	2	1	3	1	1
	3	3	1	3	3	3	3	2
	4	1	2	2	2	3	3	3
Octubre	1	2	3	3	1	1	2	2
	2	3	3	2	3	1	1	3
	3	3	2	2	2	1	1	1
	4	3	2	2	1	2	2	3

STA. ROSA- TOTORAS 1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	3	2	3	2	2
	2	3	3	3	3	2	3	1
	3	3	3	3	3	1	1	2
	4	1	3	3	3	1	2	2
Junio	1	2	2	2	1	2	3	3
	2	2	1	2	1	1	3	2
	3	3	1	1	1	2	1	2
	4	1	1	1	2	3	3	3
Julio	1	1	2	2	3	3	2	2
	2	3	3	3	2	2	1	1
	3	1	3	1	1	1	2	3
	4	1	2	2	3	2	2	1
Agosto	1	3	3	2	2	2	3	1
	2	2	3	1	1	3	2	2
	3	1	1	2	2	2	1	3
	4	3	1	1	3	3	1	2
Septiembre	1	2	3	3	3	3	1	2
	2	2	3	2	3	3	2	1
	3	3	2	2	2	2	3	1
	4	3	2	2	2	2	1	1
Octubre	1	3	2	3	2	2	3	1
	2	1	1	2	2	1	3	2
	3	3	2	3	3	2	1	1
	4	2	1	3	3	3	3	2

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	1	1	1	2	2
	2	3	2	2	2	3	2	1
	3	2	1	1	3	1	2	2
	4	1	2	2	1	1	3	2
Junio	1	1	3	3	3	3	2	2
	2	3	3	2	3	2	2	1
	3	3	2	2	1	1	1	2
	4	3	3	3	3	1	1	2
Julio	1	1	3	1	3	1	2	3
	2	2	2	3	1	1	3	3
	3	2	1	2	2	3	1	1
	4	1	1	1	1	1	3	2
Agosto	1	1	3	3	3	1	1	2
	2	2	3	2	1	3	1	1
	3	2	2	1	1	3	1	2
	4	2	1	2	2	1	1	3
Septiembre	1	3	1	1	1	1	1	2
	2	3	3	3	1	1	1	2
	3	1	2	1	1	1	1	3
	4	3	2	2	2	1	1	1
Octubre	1	3	2	2	1	1	3	3
	2	1	1	2	3	2	2	1
	3	1	2	2	2	3	3	3
	4	1	1	3	1	1	3	2

STA. ROSA- TOTORAS 2

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	2	1	2	1	1
	2	3	3	2	3	2	1	3
	3	2	3	3	3	2	1	3
	4	1	3	3	3	1	2	2
Junio	1	3	3	1	3	3	2	2
	2	3	2	3	2	2	1	3
	3	2	3	3	3	1	3	1
	4	2	2	2	3	1	1	1
Julio	1	2	1	1	3	3	3	2
	2	1	1	1	3	3	1	2
	3	1	2	1	3	3	3	2
	4	2	1	3	3	1	1	2
Agosto	1	3	3	1	1	1	3	2
	2	3	1	2	2	1	3	3
	3	3	3	1	1	1	3	2
	4	2	3	1	2	2	3	3
Septiembre	1	1	2	2	2	2	3	1
	2	3	2	3	2	2	3	1
	3	2	3	3	3	3	2	1
	4	3	2	2	2	2	1	1
Octubre	1	2	3	2	3	3	2	1
	2	2	2	2	2	2	3	1
	3	1	3	1	1	3	2	2
	4	3	2	2	2	1	1	2

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	2	3	3	3	1	1
	2	2	3	3	3	2	3	1
	3	3	3	1	1	3	1	2
	4	3	1	1	1	1	2	1
Junio	1	1	3	3	3	3	2	2
	2	2	3	2	2	2	1	1
	3	3	1	1	2	2	2	1
	4	2	2	2	2	1	1	3
Julio	1	3	2	1	2	1	1	2
	2	3	3	1	2	2	1	1
	3	3	3	3	2	2	1	1
	4	2	1	1	1	3	3	3
Agosto	1	1	2	2	2	3	3	2
	2	2	1	1	1	3	3	1
	3	3	3	3	1	3	1	2
	4	1	3	2	1	1	3	3
Septiembre	1	2	1	1	1	1	1	3
	2	1	1	1	3	2	3	3
	3	1	2	1	1	1	1	3
	4	1	3	3	3	3	1	1
Octubre	1	3	2	2	1	1	3	3
	2	2	2	3	1	3	3	2
	3	2	3	3	3	1	1	1
	4	2	3	3	2	2	3	1

TOTORAS- STA. ROSA 1

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	1	1	1	3	3
	2	3	2	2	2	1	3	3
	3	3	3	3	3	3	2	1
	4	1	2	3	3	2	1	1
Junio	1	3	2	2	1	1	1	1
	2	3	1	1	1	1	2	1
	3	3	1	1	1	2	2	2
	4	3	3	3	1	1	3	2
Julio	1	3	2	2	1	2	2	2
	2	2	2	1	1	2	2	3
	3	3	3	1	3	1	3	2
	4	2	2	3	2	3	1	2
Agosto	1	1	1	1	2	2	3	3
	2	1	2	1	1	1	3	3
	3	2	2	3	3	1	2	3
	4	3	3	1	2	2	1	1
Septiembre	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	3	1	1	3	2	2	2
	3	2	2	2	2	3	3	1
	4	3	3	1	1	3	2	2
Octubre	1	1	1	1	3	3	3	2
	2	2	2	1	1	3	3	2
	3	2	2	1	1	2	3	3
	4	1	3	3	3	2	3	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	3	2	3	2	2
	2	3	1	1	1	3	1	2
	3	3	3	2	2	3	3	1
	4	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	1	1	3	1	1	2	3
	3	2	3	1	3	3	3	3
	4	3	3	1	3	2	2	2
Julio	1	3	1	1	1	3	1	2
	2	2	2	1	3	3	1	3
	3	2	2	2	3	3	2	1
	4	2	1	1	1	3	3	2
Agosto	1	1	2	2	1	1	3	2
	2	3	1	3	3	1	3	2
	3	3	3	3	2	2	2	1
	4	3	3	3	3	3	2	1
Septiembre	1	3	2	2	2	3	2	1
	2	3	3	3	2	1	2	2
	3	3	3	3	2	2	2	1
	4	3	3	3	3	2	2	1
Octubre	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	1	1	1	3	3	3	2
	3	2	2	2	3	2	1	3
	4	3	1	1	1	2	2	2

ZHORAY- MILAGRO

Armónicos de Corriente

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	2	2	2	1	1
	2	2	1	1	2	1	3	1
	3	3	3	1	1	3	2	3
	4	3	1	3	3	3	2	1
Junio	1	2	3	2	1	1	2	2
	2	1	3	1	1	2	2	1
	3	2	3	3	1	3	1	3
	4	3	1	1	1	1	1	2
Julio	1	2	1	3	1	3	3	2
	2	3	3	3	1	3	3	2
	3	2	2	2	2	1	3	3
	4	1	2	2	2	3	3	2
Agosto	1	3	2	2	3	3	1	1
	2	2	1	1	3	3	3	1
	3	3	3	1	2	1	1	1
	4	1	1	2	2	2	3	3
Septiembre	1	2	2	1	1	1	1	3
	2	3	2	2	2	1	1	1
	3	2	3	3	2	3	1	1
	4	1	1	1	1	2	3	3
Octubre	1	2	2	3	3	3	3	1
	2	1	1	2	3	2	2	1
	3	3	3	3	3	2	1	1
	4	3	2	3	2	2	2	1

Armónicos de Voltaje

Mes	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	3	1	1	1	2	2
	2	1	1	1	1	2	1	3
	3	2	1	1	1	2	1	3
	4	2	3	3	3	3	1	1
Junio	1	2	2	2	1	1	3	3
	2	1	3	1	2	1	1	2
	3	2	2	2	1	3	2	2
	4	1	2	2	2	2	2	3
Julio	1	2	2	1	2	3	3	3
	2	2	3	2	2	1	2	1
	3	3	2	3	3	3	1	1
	4	3	1	1	1	2	2	1
Agosto	1	1	1	1	2	2	3	3
	2	2	1	2	2	3	3	3
	3	1	1	1	3	2	3	1
	4	2	2	2	1	1	1	3
Septiembre	1	1	3	3	3	1	3	2
	2	2	3	3	2	2	2	1
	3	3	2	3	2	2	1	1
	4	2	2	2	2	3	1	1
Octubre	1	3	2	3	3	2	2	1
	2	1	1	2	2	1	3	1
	3	1	1	2	2	2	1	3
	4	3	3	3	2	3	1	1

ANEXO 5: CARACTERIZACIÓN DIARIA

El siguiente programa usa una matriz de datos de series de tiempo, la cual se obtiene del análisis semanal; de dicho análisis se toman los datos semanales del comportamiento de ese armónico, el programa que realiza la caracterización semanal tiene la capacidad de almacenar los armónicos influyentes de la semana en forma de matriz. La principal herramienta de este programa es el dendrograma, pero para realizarlo se sigue un par de pasos previos, y para obtener los resultados del mismo de igual manera se aplican los algoritmos que permiten realizar el cluster jerárquico.

```
X=pdist(H5_3); %como ejemplo se toma el armonico 5 de la
               %tercera semana de un mes determinado y se
               %calcula las distancias
tree = linkage(X,'average'); % se calcula el cluster jerárquico
dendrogram(tree,0) %este comando permite realizar el
                  %dendrograma y lo grafica

NC=4; %Aqui se coloca el n?mero de clusters que se
      %desea obtener

A=size(X,1);
B=size(tree,1);
MM=max(tree);

Index=zeros(A+B-1,1);

for jj=1:NC-1
    if jj==1
        aux=min(tree(end,1:2));
        aux2=A+B-1;
        Index(aux2)=1;
        Index(aux)=2;
    end

    aux=min(tree(end-jj+1,1:2));
    Index(aux)=jj+1;
end

for jj=1:NC
    aux=find(Index==jj);

    for pp=1:length(aux)
        if aux(pp)>A
            a=tree(aux(pp)-A,1);
            b=tree(aux(pp)-A,2);

            if Index(a)==0
```

```

        Index(a)=jj;
end

if Index(b)==0
    Index(b)=jj;
end
end
end

for nn=A+B-1:-1:A+1
    aux=find(Index==jj);
    for pp=1:length(aux)
        if aux(pp)>A
            a=tree(aux(pp)-A,1);
            b=tree(aux(pp)-A,2);

            if Index(a)==0
                Index(a)=jj;
            end

            if Index(b)==0
                Index(b)=jj;
            end
        end
    end

end

Indice=Index(1:A);
end

```

La variable `Indice` contiene los índices de los clusters, es decir la respuesta del dendrograma.

ANEXO 6: CARACTERIZACIÓN MENSUAL

ANEXO 6.1 PROGRAMA

Para la realización de este programa se debe seguir un procedimiento previo, que ya se explicó en 3.9, es decir con los resultados del análisis semanal, se realizan tablas de contingencia, tanto para corriente como para voltaje, luego sí se puede aplicar el siguiente código.

```
clear, clc;
name=sprintf('%s%d', 'DIRECCION DEL ARCHIVO\NOMBRE DEL ARCHIVO.xlsx');
Tb1aa=xlsread(name);           %corriente a
Tb1ab=xlsread(name,2);        %voltaje b

for i=1:6
    mm=1+7*(i-1);
    nn=1+6+7*(i-1);

    Tab1aa=Tb1aa(mm:nn,:);
    Tab1ab=Tb1ab(mm:nn,:);

    aa=sum(Tab1aa);
    ba=sum(Tab1aa,2);
    ab=sum(Tab1ab);
    bb=sum(Tab1ab,2);

    %Se calculan las matrices de frecuencia relativa para corriente y voltaje

    Fa=Tab1aa/28;
    Fb=Tab1ab/28;

    %Se calculan las matrices de frecuencia relativa de filas

    Dfa = 1/sum(ba)*diag(ba);
    Dfb = 1/sum(bb)*diag(bb);

    %Se calculan las matrices de frecuencia relativa de columnas

    Dca = 1/sum(aa)*diag(aa);
    Dcb = 1/sum(ab)*diag(ab);

    %Se calculan las matrices de datos Z

    Za = sqrt(inv(Dfa))*Fa*sqrt(inv(Dca));
    Zb = sqrt(inv(Dfb))*Fb*sqrt(inv(Dcb));

    [Va, Da] = eig(Za'*Za);
    [Vb, Db] = eig(Zb'*Zb);

    Yaa=Za*Va(:,1:2);
```

```
Yab=Zb*Vb(:,1:2);

%Con la matriz Y de componentes, se usa la herramienta dendrograma la
cual
%realiza la agrupación

figure
dd=pdist(Yaa);
tree = linkage(dd, 'average');
dendrogram(tree,0)

figure
ddb=pdist(Yab);
treeb = linkage(ddb, 'average');
dendrogram(treeb,0)
end
```

ANEXO 6: CARACTERIZACIÓN MENSUAL

ANEXO 6.2 TABLAS

LOJA-VILLONACO

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	1	2	2	2	1
Junio	1	2	3	3	2	3	3
Julio	1	2	2	2	3	3	2
Agosto	1	2	2	1	3	3	3
Septiembre	1	1	1	2	2	2	3
Octubre	1	2	3	1	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	2	3
Junio	1	2	2	2	2	2	3
Julio	1	1	2	2	2	3	1
Agosto	1	1	1	2	2	1	3
Septiembre	1	1	1	1	1	2	2
Octubre	1	2	2	2	3	2	1

MILAGRO- SAN IDELFONSO

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	2	2	1	2	2
Junio	1	2	2	3	3	3	3
Julio	1	2	3	3	3	3	3
Agosto	1	1	2	3	3	3	3
Septiembre	1	2	2	3	3	3	3
Octubre	1	2	3	4	4	3	4

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3

Junio	1	2	1	1	1	1	3
Julio	1	2	2	2	2	2	3
Agosto	1	2	2	3	3	3	3
Septiembre	1	2	3	3	2	3	3
Octubre	1	1	1	1	1	2	2

MOLINO-AT1

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	2	3	3	3
Junio	1	2	2	2	2	3	2
Julio	1	2	3	2	3	3	3
Agosto	1	3	2	2	2	4	2
Septiembre	1	2	1	3	2	3	3
Octubre	1	2	2	2	3	2	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	1	3
Junio	1	2	2	3	2	2	3
Julio	1	1	2	1	2	2	3
Agosto	1	1	1	2	2	2	2
Septiembre	1	2	2	2	1	1	3
Octubre	1	1	2	2	1	1	3

MOLINO-PASCUALES

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	1	3	3	3
Junio	1	2	3	3	3	3	3
Julio	1	2	2	2	3	3	3
Agosto	1	1	2	3	2	2	2
Septiembre	1	2	3	3	3	3	3
Octubre	1	1	1	2	1	1	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	3	2	3	3
Junio	1	2	4	3	3	3	3
Julio	1	1	2	2	3	3	4
Agosto	1	1	1	2	3	3	3
Septiembre	1	2	2	2	3	3	3
Octubre	1	2	3	3	2	2	3

MOLINO-TOTORAS**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	2	2	2	3	3
Julio	1	2	2	3	3	3	3
Agosto	1	2	2	2	3	2	3
Septiembre	1	1	2	2	3	3	3
Octubre	1	2	3	3	3	4	4

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	2	3	2	2	3
Julio	1	2	3	3	3	3	3
Agosto	1	1	1	2	3	2	3
Septiembre	1	2	2	2	2	1	3
Octubre	1	1	2	2	2	2	3

MONTECRISTI- JARAMIJÓ**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	3
Junio	1	2	3	3	1	2	2
Julio	1	2	3	3	3	3	3
Agosto	1	2	3	3	3	3	4
Septiembre	1	2	1	3	3	3	1
Octubre	1	2	3	2	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	2	3	3	2	3
Julio	1	2	2	2	2	1	3
Agosto	1	2	4	4	4	3	3
Septiembre	1	1	1	1	2	3	2
Octubre	1	2	3	1	2	2	2

PASCUALES-ELECTROQUIL 3**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	1	3	3
Junio	1	2	3	2	2	3	3
Julio	1	1	1	2	2	2	2
Agosto	1	2	1	1	2	3	3
Septiembre	1	1	2	2	3	3	3
Octubre	1	2	3	3	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	1	3	3	3
Junio	1	2	3	3	3	3	4
Julio	1	2	2	2	3	3	3
Agosto	1	1	2	2	3	3	2
Septiembre	1	1	2	1	1	3	3
Octubre	1	1	1	2	1	3	3

PASCUALES- MOLINO1**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	1	3
Junio	1	2	3	3	3	4	3
Julio	1	2	2	2	3	2	2
Agosto	1	1	1	1	2	2	2

Septiembre	1	2	2	1	1	1	3
Octubre	1	1	2	2	1	1	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	1	1	1	2	2
Julio	1	2	2	2	3	2	2
Agosto	1	2	2	3	2	3	3
Septiembre	1	2	1	3	3	3	3
Octubre	1	2	1	2	2	2	3

PASCUALES- MOLINO2

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	1	3
Junio	1	2	1	1	1	3	1
Julio	1	2	3	1	3	1	3
Agosto	1	1	1	2	2	2	3
Septiembre	1	2	2	2	1	1	3
Octubre	1	1	2	2	2	2	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	3	3	3	4	4
Julio	1	2	2	2	2	2	3
Agosto	1	1	3	2	2	2	2
Septiembre	1	2	3	2	3	3	3
Octubre	1	2	1	2	2	2	3

POMASQUI- JAMONDINO 2

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	3
Junio	1	1	1	2	2	2	2

Julio	1	2	3	3	2	3	3
Agosto	1	2	2	2	2	3	2
Septiembre	1	2	2	3	3	3	3
Octubre	1	2	2	2	2	3	2

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	2	3
Junio	1	2	2	2	2	3	3
Julio	1	2	3	3	3	3	3
Agosto	1	2	2	2	2	2	3
Septiembre	1	2	3	3	3	4	4
Octubre	1	2	2	2	1	1	3

POMASQUI- JAMONDINO 3

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	4	3	3	3
Junio	1	1	1	2	3	3	3
Julio	1	2	2	3	2	3	3
Agosto	1	2	3	2	2	3	2
Septiembre	1	2	2	2	2	3	3
Octubre	1	1	2	1	2	2	2

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	2	3	3	3	3	3
Julio	1	2	3	2	2	2	2
Agosto	1	2	2	2	2	2	3
Septiembre	1	1	1	2	2	1	2
Octubre	1	2	2	2	1	1	3

QUEVEDO- ATT 138

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
---------	-------	--------	-----------	--------	---------	--------	---------

Mayo	1	1	1	2	2	2	3
Junio	1	2	3	2	3	3	3
Julio	1	1	1	1	2	2	3
Agosto	1	2	2	2	2	3	3
Septiembre	1	2	2	2	3	3	3
Octubre	1	2	3	2	2	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	2	3
Junio	1	2	3	3	3	3	3
Julio	1	1	2	2	2	2	3
Agosto	1	1	2	3	3	3	2
Septiembre	1	3	2	2	2	2	2
Octubre	1	2	3	2	3	3	3

QUEVEDO- PASCUALES 1

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	3	2	1	3
Junio	1	2	3	3	3	3	3
Julio	1	2	2	2	2	2	3
Agosto	1	1	2	3	3	3	4
Septiembre	1	2	3	3	3	2	2
Octubre	1	2	3	3	3	2	2

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	3	2	3	3
Junio	1	2	3	3	3	3	3
Julio	1	2	2	2	2	2	3
Agosto	1	2	3	3	3	3	3
Septiembre	1	1	2	2	3	2	3
Octubre	1	2	2	2	2	3	3

SALITRAL- ATR 138

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	1	2	2	3	2	1
Junio	1	2	3	3	3	3	3
Julio	1	2	3	3	3	3	3
Agosto	1	1	2	2	3	3	3
Septiembre	1	1	2	2	2	3	3
Octubre	1	1	2	2	2	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	3	4	4	2	4	4
Junio	1	2	3	3	4	4	4
Julio	1	1	1	1	2	1	2
Agosto	1	1	1	2	2	2	2
Septiembre	1	2	2	2	2	3	3
Octubre	1	1	2	2	2	3	2

STO. DOMINGO- BABA

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	3	2	3	3
Junio	1	1	2	3	3	3	3
Julio	1	2	2	2	2	1	3
Agosto	1	1	2	2	2	2	3
Septiembre	1	2	2	3	3	3	3
Octubre	1	2	3	3	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	1	2	3	3	3	3
Julio	1	2	2	2	2	2	3
Agosto	1	2	3	3	3	3	3
Septiembre	1	1	1	2	2	2	2
Octubre	1	2	2	3	3	3	3

STO. DOMINGO- ESMERALDAS

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	1	1	3	1
Junio	1	1	2	2	2	3	3
Julio	1	2	2	2	3	2	3
Agosto	1	2	2	2	2	3	3
Septiembre	1	1	1	3	2	1	2
Octubre	1	2	3	3	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	2	3	3
Junio	1	1	2	3	3	3	3
Julio	1	1	2	2	3	3	3
Agosto	1	1	1	1	2	2	2
Septiembre	1	1	1	2	2	2	3
Octubre	1	2	2	3	3	3	1

STA. ROSA- POMASQUI 1**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	3	3
Junio	1	2	2	2	2	3	3
Julio	1	1	2	3	1	3	1
Agosto	1	2	3	2	3	3	2
Septiembre	1	2	3	3	4	3	3
Octubre	1	1	2	3	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	2	3
Junio	1	2	2	2	3	3	3
Julio	1	1	1	2	2	3	3
Agosto	1	2	3	3	3	3	4
Septiembre	1	2	2	2	2	3	3
Octubre	1	2	2	3	3	3	3

STA. ROSA- STO. DOMINGO 1

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	3	3
Junio	1	2	2	2	2	3	3
Julio	1	1	2	3	3	1	1
Agosto	1	2	3	2	3	3	2
Septiembre	1	2	3	3	4	3	3
Octubre	1	1	2	3	3	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	3
Junio	1	2	2	2	2	3	3
Julio	1	1	2	1	2	2	2
Agosto	1	2	3	3	3	3	4
Septiembre	1	2	2	2	3	3	3
Octubre	1	2	2	3	3	3	1

STA. ROSA- TOTORAS 1**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	3	3
Junio	1	1	1	2	2	2	2
Julio	1	2	2	3	3	3	3
Agosto	1	1	2	2	2	1	2
Septiembre	1	2	2	2	2	3	3
Octubre	1	2	3	3	2	3	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	3	3	3	3
Junio	1	2	2	2	3	3	3
Julio	1	1	1	1	2	2	2
Agosto	1	2	3	3	3	3	4
Septiembre	1	2	2	2	3	3	4
Octubre	1	2	2	3	3	3	3

STA. ROSA- TOTORAS 2

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	2	4	4	3
Junio	1	1	2	2	3	3	3
Julio	1	2	3	3	3	3	3
Agosto	1	1	2	2	3	1	3
Septiembre	1	2	2	2	2	3	3
Octubre	1	1	1	1	1	2	2

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	3
Junio	1	2	2	2	2	3	3
Julio	1	1	2	2	3	3	2
Agosto	1	2	2	2	3	3	2
Septiembre	1	2	2	2	3	3	4
Octubre	1	2	2	3	3	3	3

TOTORAS- STA. ROSA 1**Armónicos de Corriente**

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	3
Junio	1	2	3	2	3	2	2
Julio	1	1	2	3	2	3	3
Agosto	1	1	1	2	2	2	2
Septiembre	1	2	2	2	2	3	3
Octubre	1	1	2	2	3	2	3

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	3	3	3	3	4
Junio	1	2	3	2	2	3	3
Julio	1	2	2	2	3	3	3
Agosto	1	1	1	1	1	2	2
Septiembre	1	1	1	2	2	2	3
Octubre	1	1	1	2	3	3	2

ZHORAY- MILAGRO

Armónicos de Corriente

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	1	1	1	3	2
Junio	1	2	3	4	4	4	4
Julio	1	2	2	2	3	3	2
Agosto	1	1	2	3	3	3	3
Septiembre	1	2	2	2	3	3	3
Octubre	1	1	1	1	2	2	2

Armónicos de Voltaje

Mes/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mayo	1	2	2	2	3	3	4
Junio	1	1	1	2	2	2	2
Julio	1	2	1	1	3	3	3
Agosto	1	1	1	2	3	3	3
Septiembre	1	2	2	2	3	3	4
Octubre	1	1	2	2	1	2	2

ANEXO 7: CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA

Este programa necesita cargar archivos de todas las PMUs del comportamiento de los armónicos de una semana (ejemplo primera semana de septiembre), por lo que el tiempo que se demora en ejecutar es relativamente grande; aquí se colocan las dos primeras PMUs y la última. Luego de cargar los archivos, el procedimiento y la programación es similar a la de la caracterización semanal. A continuación se muestra el programa para los armónicos 5 y 7 de corriente; para los armónicos de voltaje (3, 5 y 7 que se usan en este trabajo) el procedimiento es similar, adicionalmente se le añade otra variable auxiliar totalh3 para el armónicos 3 y en el análisis multivariante se debe considerar este incremento de variable teniendo tres matrices para empezar el proceso (dat1, dat2 y dat3).

```
clear,clc;
total=zeros(1008,50);
totalh5=zeros(1008,22);
totalh7=zeros(1008,22);

%PMU 1
krn=1;
for k=1:7
    name=sprintf('%s%d','E:\LOJA_VILL_69\CI\SEPTIEMBRE\',k, '.xlsx');
    a=xlsread(name);
    tma=size(a);
    porcentaje=a/0.8974865;
    aux=1:30:4350;
    auxdia=zeros(144,50);
    medias=zeros(144,50);

    for t=1:144
        adiezmin=porcentaje(aux(t):aux(t+1)-1,:); %artificio
        b=isnan(adiezmin);
        c=sum(b,2);
        ind=c>0;
        adiezmin(ind,:)=[];
        medias(t,:)=mean(adiezmin);
        bm=isnan(medias);
        cm=sum(bm,2);
        indm=cm>0;
        medias(indm,:)=[];
    end
    total(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=medias;
    krn=krn+1;
end
totalh5(:,1)=total(:,5);
totalh7(:,1)=total(:,7);

%PMU 2
krn=1;
```

```

for k=1:7
    name=sprintf('%s%d', 'E:\MILA_SIDE1_138\CI\SEPTIEMBRE\', k, '.xlsx');
    a=xlsread(name);
    tma=size(a);
    porcentaje=a/2.3018706;
    aux=1:30:4350;
    auxdia=zeros(144,50);
    medias=zeros(144,50);

    for t=1:144
        adiezmin=porcentaje(aux(t):aux(t+1)-1,:);
        b=isnan(adiezmin);
        c=sum(b,2);
        ind=c>0;
        adiezmin(ind,:)=[];
        medias(t,:)=mean(adiezmin);
        bm=isnan(medias);
        cm=sum(bm,2);
        indm=cm>0;
        medias(indm,:)=[];
    end
    total(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=medias;
    krn=krn+1;
end
totalh5(:,2)=total(:,5);
totalh7(:,2)=total(:,7);

...

%PMU 22
krn=1;
for k=1:7
    name=sprintf('%s%d', 'E:\ZHOR_MILA2_230\CI\SEPTIEMBRE\', k, '.xlsx');
    a=xlsread(name);
    tma=size(a);
    porcentaje=a/4.4276104;
    aux=1:30:4350;
    auxdia=zeros(144,50);
    medias=zeros(144,50);

    for t=1:144
        adiezmin=porcentaje(aux(t):aux(t+1)-1,:);
        b=isnan(adiezmin);
        c=sum(b,2);
        ind=c>0;
        adiezmin(ind,:)=[];
        medias(t,:)=mean(adiezmin);
        bm=isnan(medias);
        cm=sum(bm,2);
        indm=cm>0;
        medias(indm,:)=[];
    end
    total(1+(krn-1)*144:144*krn,:)=medias;
    krn=krn+1;
end
end
totalh5(:,22)=total(:,5);
totalh7(:,22)=total(:,7);

```

```

%%
%Análisis Multivariante
%coordenadas principales algoritmo
t=1/6:1/6:168;
dat1=totalh5;
dat2=totalh7;

Medat1=mean(dat1,2);
Medat2=mean(dat2,2);

[ln, kn]=size(dat1);

for j=1:kn
    Dat1X(:,j)=dat1(:,j)-dat1(1,j)*ones(ln,1)-Medat1;
    Dat2X(:,j)=dat2(:,j)-dat2(1,j)*ones(ln,1)-Medat2;
end
data_a = Dat1X;
data_b = Dat2X;

clear Dat1X Dat2X

for j=1:size(data_a,1)
    for q=1:size(data_a,2)
        for r=1:size(data_a,2)
            Xij_a(q,r,j)=(data_a(j,q)-data_a(j,r))^2;
            Xij_b(q,r,j)=(data_b(j,q)-data_b(j,r))^2;

            if j>1
                Dt=t(j)-t(j-1);
                Yij_a(q,r,j-1)=(Xij_a(q,r,j)+Xij_a(q,r,j-1))/2*Dt;
                Yij_b(q,r,j-1)=(Xij_b(q,r,j)+Xij_b(q,r,j-1))/2*Dt;
            end
        end
    end
end

D1=sqrt(sum(Yij_a,3));
D2=sqrt(sum(Yij_b,3));

Pp=eye(size(data_a,2))-1/size(data_a,2)*ones(size(data_a,2));

Q_a=-1/2*Pp*D1*Pp;
[Vector, Autov] = svd(Q_a);
Coord_a=[Vector(:,1)*sqrt(Autov(1,1)) Vector(:,2)*sqrt(Autov(2,2))
Vector(:,3)*sqrt(Autov(3,3))];

Q_b=-1/2*Pp*D2*Pp;
[Vector, Autov] = svd(Q_b);
Coord_b=[Vector(:,1)*sqrt(Autov(1,1)) Vector(:,2)*sqrt(Autov(2,2))
Vector(:,3)*sqrt(Autov(3,3))];

X_datos=[Coord_a Coord_b];

%%
%Algoritmo FCM fuzzy
ncluster=5;
[center1, U1, obj_fcn1] = fcm(X_datos, ncluster, [2;100;1e-5;0]);

```

```

    maxU1 = max(U1);
    for i_uclust=1:1:size(U1,1)
        maxclust=find(U1(i_uclust,:) == maxU1)';
        eval(['index',num2str(i_uclust),'=maxclust',';']);
    end

    index=zeros(size(U1,2),1);
    for i_graf=1:1:size(U1,2)
        for i_graf1=1:1:size(U1,1)
            eval(['dumm_chk','=index',num2str(i_graf1),';']);
            for i_graf2=1:1:length(dumm_chk)
                index(dumm_chk(i_graf2))=i_graf1;
            end
        end
    end

%%
%grafica
figure
ptsymb = {'bs','r^','md','go','c+'};
for i = 1:5
    clust = find(index==i);
    plot3(X_datos(clust,1),X_datos(clust,2),X_datos(clust,3),ptsymb{i});
    hold on
end
plot3(center1(:,1),center1(:,2),center1(:,3),'ko');
plot3(center1(:,1),center1(:,2),center1(:,3),'kx');
hold off
grid on

%%
figure
ptsymb = {'b','r','m','g','c'};
for jc = 1:22
    plot(harm5(:,jc), ptsymb{index(jc)});
    hold on
end

figure
ptsymb = {'b','r','m','g','c'};
for jc = 1:22
    plot(harm7(:,jc), ptsymb{index(jc)});
    hold on
end

```