



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

“GENERACION DE BASE DE DATOS Y  
ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE  
PROPAGACIÓN ARMÓNICO GENERADO EN  
LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN POR LAS  
NUEVAS TECNOLOGÍAS EN PEQUEÑOS Y  
MEDIANOS CONSUMIDORES”

## TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA  
CON OPCIÓN TERMINAL EN  
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Presenta:

**SERGIO FLORESOLLIVIER SÁNCHEZ**

Asesor de tesis:

**DR. CARLOS RAMIREZ PACHECO**

Puebla, Pue.

Junio 2019



Oficio No. 0833/2019

**C. Sergio Floresollivier Sánchez**

Pasante de la Maestría en Ingeniería  
con opción terminal en Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad de Ingeniería, BUAP.  
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Generación de base de datos y análisis del incremento de propagación armónico generado en las líneas de distribución por las nuevas tecnologías en pequeños y medianos consumidores.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Sistemas Eléctricos de Potencia. Asignándose como Director al Dr. Carlos Ramírez Pacheco y Co-director al M.C. Erasmo Saloma Ruiz.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo

Atentamente  
"Pensar bien, para vivir mejor"  
H. Puebla de Zaragoza, marzo 23 de 2019.

  
**M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández**  
Director

C.c.p. Dr. Carlos Ramírez Pacheco y M.C. Erasmo Saloma Ruiz, Director y Co-director del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

ABH/GCC/sco\*

Facultad  
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

H. Puebla de Zaragoza, 20 de Junio de 2019

Asunto: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS**

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ**  
**DIRECTOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, B.U.A.P.**  
**Presente**

Los suscritos: Dr. Carlos Ramírez Pacheco, Director del tema de tesis y Dr. Alejandro Bautista Hernández, Codirector del tema de tesis:

**“Generación de base de datos y análisis del incremento de propagación armónico generado en las líneas de distribución por las nuevas tecnologías en pequeños y medianos consumidores”**

Presentado por el Ing. Sergio Floresollivier Sánchez, pasante de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Sistemas Eléctricos de Potencia, nos permitimos informar a usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, la metodología, redacción y ortografía de la Tesis, no presentamos inconveniente en autorizar la impresión de esta.

Atentamente



Dr. Carlos Ramírez Pacheco  
Director de Tesis



Dr. Alejandro Bautista Hernández  
Codirector de Tesis

C.C.P Secretaría de Posgrado, Facultad de Ingeniería BUAP  
Interesado  
Archivo

# INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CAPÍTULO I PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2.1 SOCIAL .....	2
1.2.2 TEÓRICA .....	2
1.2.3 METODOLOGÍA .....	2
1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVO PARTICULAR.....	3
1.4 HIPÓTESIS .....	3
1.4.1 VARIABLES .....	3
1.6 LIMITACIONES Y ALCANCE DEL TRABAJO .....	3
1.7 APORTACIONES DE LA TESIS.....	4
<b>2. CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>5</b>
2.1 MARCO HISTÓRICO .....	5
2.1.1 COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE).....	5
2.1.2 EMPRESA SUBSIDIARIA DE DISTRIBUCIÓN .....	6
2.3 MARCO TEÓRICO .....	8
2.3.1 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	8
2.3.1.1 SUBESTACIONES RECEPTORAS PRIMARIAS .....	8
2.3.1.2 SUBESTACIONES RECEPTORAS SECUNDARIAS.....	9
2.3.1.3 TRANSFORMADORES.....	9
2.4 ARMÓNICOS.....	9
2.4.1 TIPOS DE ARMÓNICOS.....	11
2.4.2 FACTORES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA .....	12
2.4.3 FACTOR DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE VOLTAJE VDF .....	12
2.4.4 FACTOR DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE CORRIENTE IDF .....	12
2.5 MARCO NORMATIVO.....	13
2.5.1 SUPLETORIEDAD DE LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL .....	18
<b>3. CAPÍTULO 3 MARCO METODOLOGICO</b> .....	<b>20</b>
3.1 ESTADÍSTICA .....	20
3.1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA O ESTADÍSTICA DEDUCTIVA.....	20
3.1.2 ESTADÍSTICA ANALÍTICA O ESTADÍSTICA INDUCTIVA .....	21
3.2 BASE DE DATOS .....	25
3.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS .....	25
3.3 MATLAB.....	27
<b>4. CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA</b> .....	<b>29</b>
4.1 PERFILES DE ENERGÍA .....	29
4.2 SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA (SIMOCE).....	29
4.3 REALIZACIÓN DE BASE DE DATOS UTILIZANDO MATLAB .....	30
<b>5. CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
5.1 SUBESTACIÓN AGUA SANTA (AGA) .....	35
5.1.1 ALIMENTADOR AGA 1 .....	35
5.1.2 ALIMENTADOR AGA 2 .....	38

5.2	SUBESTACIÓN BUGAMBILIAS SF6 (BGS).....	40
5.2.1	ALIMENTADOR BGS 1.....	40
5.2.2	ALIMENTADOR BGS 2.....	43
5.3	SUBESTACIÓN CINCO DE MAYO (CIY).....	45
5.3.1	ALIMENTADOR CIY 1.....	45
5.3.2	ALIMENTADOR CIY 4.....	48
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
	RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS FUTUROS:.....	52
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXO A CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN.....</b>	<b>55</b>
	CÓDIGO DE EXPORTACIÓN DE DATOS DE EXCEL A MATLAB.....	55
	CÓDIGO PARA EL FILTRADO, ORDENAMIENTO Y MEDIA MÓVIL DE CADA UNO DE LOS ALIMENTADORES.....	58
	CÓDIGO PARA GRAFICAR LOS DATOS BRUTOS Y LOS DATOS PROCESADOS.....	59
	CÓDIGO PARA TABLA DE ESTADÍSTICAS DE CADA ALIMENTADOR.....	59
<b>9.</b>	<b>ANEXO B SUBESTACIÓN AGUA SANTA.....</b>	<b>59</b>
	ALIMENTADOR AGA 1.....	60
	ALIMENTADOR AGA 2.....	61
	ALIMENTADOR AGA 3.....	62
	ALIMENTADOR AGA 4.....	64
	ALIMENTADOR AGA 5.....	65
	ALIMENTADOR AGA 6.....	66
<b>10.</b>	<b>ANEXO C SUBESTACIÓN AMOZOC (AMZ).....</b>	<b>68</b>
	ALIMENTADOR AMZ 1.....	68
	ALIMENTADOR AMZ 2.....	69
	ALIMENTADOR AMZ 3.....	70
	ALIMENTADOR AMZ 4.....	72
	ALIMENTADOR AMZ 5.....	73
<b>11.</b>	<b>ANEXO D SUBESTACIÓN BUGAMBILIAS SF6 (BGS).....</b>	<b>75</b>
	ALIMENTADOR BGS 1.....	75
	ALIMENTADOR BGS 2.....	76
	ALIMENTADOR BGS 3.....	77
	ALIMENTADOR BGS 4.....	79
	ALIMENTADOR BGS 5.....	80
	ALIMENTADOR BGS 6.....	81
	ALIMENTADOR BGS 7.....	83
<b>12.</b>	<b>ANEXO E SUBESTACIÓN BOSQUES (BOE).....</b>	<b>85</b>
	ALIMENTADOR BOE 1.....	85
	ALIMENTADOR BOE 2.....	86
	ALIMENTADOR BOE 3.....	87
	ALIMENTADOR BOE 4.....	89
	ALIMENTADOR BOE 5.....	90
<b>13.</b>	<b>ANEXO G SUBESTACIÓN CINCO DE MAYO (CIY).....</b>	<b>92</b>
	ALIMENTADOR CIY 1.....	92
	ALIMENTADOR CIY 2.....	93
	ALIMENTADOR CIY 3.....	94
	ALIMENTADOR CIY 4.....	96
	ALIMENTADOR CIY 5.....	97
<b>14.</b>	<b>ANEXO H SUBESTACIÓN FUERTES (FUE).....</b>	<b>99</b>
	ALIMENTADOR FUE 1.....	99

ALIMENTADOR FUE 2 .....	100
ALIMENTADOR FUE 3 .....	101
ALIMENTADOR FUE 4 .....	103
ALIMENTADOR FUE 5 .....	104
<b>15. ANEXO I SUBESTACIÓN GUADALUPE ANALCO (GAN).....</b>	<b>106</b>
ALIMENTADOR GAN 1 .....	106
ALIMENTADOR GAN 2 .....	107
ALIMENTADOR GAN 3 .....	108
ALIMENTADOR GAN 4 .....	110
ALIMENTADOR GAN 5 .....	111
<b>16. ANEXO J SUBESTACIÓN INDUSTRIAL (INT).....</b>	<b>113</b>
ALIMENTADOR INT 1 .....	113
ALIMENTADOR INT 2 .....	114
ALIMENTADOR INT 3 .....	115
ALIMENTADOR INT 4 .....	117
ALIMENTADOR INT 5 .....	118
<b>17. ANEXO L SUBESTACIÓN ORIENTE (ORT).....</b>	<b>120</b>
ALIMENTADOR ORT 1 .....	120
ALIMENTADOR ORT 2 .....	121
ALIMENTADOR ORT 3 .....	122
ALIMENTADOR ORT 4 .....	124
ALIMENTADOR ORT 5 .....	125

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Estructura de la CFE [5] .....	5
Figura 3.1: Tabla general de posiciones de posiciones de Liga Mexicana de Futbol .....	27
Figura 4.1: Página de Intranet Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía (SIMOCE) © [13] .....	30
Figura 4.2: Reporte de Histórico de Energía desde la página de intranet SIMOCE © [13] .....	31
Figura 4.3: Exportación de los archivos del SIMOCE a MALTAB .....	31
Figura 4.4: Filtrado de la información, realizando la separación por líneas .....	32
Figura 4.5: Gráfica de los datos previos al procesamiento .....	32
Figura 4.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 de la línea AGA 4010 .....	33
Figura 5.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 1 .....	36
Figura 5.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 1 .....	36
Figura 5.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 1 .....	36
Figura 5.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 2 .....	38
Figura 5.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 2 .....	38
Figura 5.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 2 .....	39
Figura 5.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 3 .....	38
Figura 5.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 3 .....	39
Figura 5.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 3 .....	39
Figura 5.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 4 .....	40
Figura 5.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 4 .....	40
Figura 5.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 4 .....	40
Figura 5.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 5 .....	41
Figura 5.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 5 .....	41
Figura 5.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 5 .....	42

<i>Figura 5.19: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 6.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.20: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 1.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.21: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 1.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.22: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 2.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.23: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 2.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.24: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 2.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.25: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 3.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.26: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 3.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.27: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 3.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.28: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 4.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.29: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 4.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.30: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 4.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.31: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 5.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5.32: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 5.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5.33: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 5.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.34: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 6.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.35: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 6.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.36: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 6.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.37: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 7.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5.38: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 7.....</i>	<i>51</i>

<i>Figura 5.39: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 7.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 9.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 9.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 9.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 1.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 9.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 9.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 2.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 9.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 2.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 9.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 3.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 9.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 3.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 9.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 3.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 9.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 4.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 9.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 4.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 9.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 4.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 9.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 5.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 9.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 5.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 9.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 5.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 9.16: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 6.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 9.17: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 6.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 9.18: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 6.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 10.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 1.....</i>	<i>68</i>

<i>Figura 10.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 1 .....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 10.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 1 .....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 10.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 2 .....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 10.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 2 .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 10.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 2 .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 10.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 3 .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 10.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 3 .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 10.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 3 .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 10.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 4 .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 10.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 4 .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 10.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 4 .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 10.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 5 .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 10.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 5 .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 10.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 5 .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 11.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 1.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 11.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 1.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 11.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 1.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 11.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 2.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 11.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 2.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 11.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 2.....</i>	<i>77</i>

<i>Figura 11.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 3.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 11.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 3.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 11.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 3.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 11.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 4.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 11.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 4.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 11.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 4.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 11.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 5.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 11.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 5.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 11.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 5.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 11.16: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 6.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 11.17: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 6.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 11.18: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 6.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 11.19: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 7.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 11.20: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 7.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 11.21: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 7.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 12.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 1.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 12.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 1.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 12.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 1.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 12.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 2.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 12.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 2.....</i>	<i>87</i>

<i>Figura 12.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 2.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 12.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 3.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 12.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 3.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 12.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 3.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 12.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 4.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 12.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 4.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 12.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 4.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 12.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 5.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 12.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 5.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 12.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 5.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 13.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 1.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 13.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 1.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 13.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 1.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 14.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 14.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 2.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 14.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 2.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 14.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 3.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 14.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 3.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 14.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 3.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 14.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 4.....</i>	<i>96</i>

<i>Figura 14.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 4.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 14.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 4.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 14.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 5.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 14.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 5.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 14.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 5.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 14.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 1 .....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 14.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 1 .....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 14.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 1 .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 14.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 2 .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 14.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 2 .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 14.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 2 .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 14.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 3 .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 14.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 3 .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 14.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 3 .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 14.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 4 .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 14.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 4 .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 14.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 4 .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 14.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 5 .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 14.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 5 .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 14.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 5 .....</i>	<i>105</i>

<i>Figura 15.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 1.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 15.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 1.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 15.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 1.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 15.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 2.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 15.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 2.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 15.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 2.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 15.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 3.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 15.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 3.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 15.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 3.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 15.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 4.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura15.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 4.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 15.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 4.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 15.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 5.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 15.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 5.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 15.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 5.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 16.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 1.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 16.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 1.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 16.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 1.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 16.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 2.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 16.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 2.....</i>	<i>115</i>

<i>Figura 16.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 2.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 16.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 3.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 16.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 3.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 16.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 3.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 16.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 4.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 16.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 4.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 16.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 4.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 16.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 5.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 16.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 5.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 16.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 5.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 19.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 1.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 17.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 1.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 17.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 1.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 17.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 2.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 17.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 2.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 17.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 2.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 17.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 3.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 17.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 3.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 17.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 3.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 17.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 4.....</i>	<i>124</i>

<i>Figura 17.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 4.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 17.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 4.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 17.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 5.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 17.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 5.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 17.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 5.....</i>	<i>126</i>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Límites de distorsión armónica máxima permisible en corriente para tensiones menores o iguales a 69 KV [8].....	11
Tabla 2.2: Límites máximos de distorsión de corriente [14].....	14
Tabla 2.3: Niveles armónicos de la Tensión para las Centrales Eléctricas tipo B [14].....	15
Tabla 2.4: Niveles armónicos en la tensión para las Centrales Eléctricas tipo C y D [14] .....	16
Tabla 2.5: Límites de distorsión armónica permisibles en corriente para tensiones menores o iguales a 69 KV [14] .....	17
Tabla 2.6: Límites de distorsión armónica permisibles en corriente para tensiones mayores de 69 KV a 161 KV [14].....	17
Tabla 2.7: Límites de distorsión armónica permisibles en corriente para tensiones mayores a 161 KV [14] .....	17
Tabla 2.8: Límites máximos de distorsión armónica total en tensión y de CAIMT en el punto de acometida [17].....	18
Tabla 2.9: Límites de distorsión de voltaje en los Puntos Comunes de Interconexión [16] .....	19
Tabla 4.1: Tabla de resultados de máximos, mínimos y promedio de la línea AGA 1 .....	33
Tabla 5.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 1.....	35
Tabla 5.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 2.....	38
Tabla 5.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 1 .....	40
Tabla 5.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 2 .....	43
Tabla 5.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 1 .....	45
Tabla 5.6: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 4 .....	48
Tabla 9.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 1.....	60
Tabla 9.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 2.....	61
Tabla 9.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 3.....	62
Tabla 9.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 4.....	64
Tabla 9.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 5.....	65
Tabla 9.6: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 6.....	66

<i>Tabla 10.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 1.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 10.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 2.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 10.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 3.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 10.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 4.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 10.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 5.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 11.11.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 1.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 11.11.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 2.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 11.11.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 3.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 11.11.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 4.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 11.11.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 5.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 11.6: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 6.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 11.11.7: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 7.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 12.12.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 1.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 12.12.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 2.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 12.12.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 3.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 12.12.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 4.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 12.12.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 5.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 13.13.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 1.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 13.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 13.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 3.....</i>	<i>94</i>

<i>Tabla 13.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 4</i> .....	96
<i>Tabla 13.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 5</i> .....	97
<i>Tabla 14.14.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 1</i> .....	99
<i>Tabla 14.14.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 2</i> .....	100
<i>Tabla 14.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 3</i> .....	101
<i>Tabla 14.14.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 4</i> .....	103
<i>Tabla 14.14.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 5</i> .....	104
<i>Tabla 15.15.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 1</i> .....	106
<i>Tabla 15.15.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 2</i> .....	107
<i>Tabla 15.15.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 3</i> .....	108
<i>Tabla 15.15.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 4</i> .....	110
<i>Tabla 15.15.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 5</i> .....	111
<i>Tabla 16.16.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 1</i> .....	113
<i>Tabla 16.16.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 2</i> .....	114
<i>Tabla 16.16.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 3</i> .....	115
<i>Tabla 16.16.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 4</i> .....	117
<i>Tabla 16.16.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 5</i> .....	118
<i>Tabla 17.17.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 1</i> .....	120
<i>Tabla 17.17.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 2</i> .....	121
<i>Tabla 17.17.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 3</i> .....	122

<i>Tabla 17.17.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 4.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 17.17.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 5.....</i>	<i>125</i>

## INTRODUCCIÓN

A través de los años el consumo de la energía eléctrica se ha incrementado, debido a diversos factores como el crecimiento poblacional, ampliación o generación de nuevas empresas, entre otros.

Debido a este gran consumo de energía, se desarrollan nuevas tecnologías, como puede ser la iluminación LED, aparatos electrónicos de menor consumo energético, equipos de computo, equipo de comunicaciones, que permiten tener un mejor aprovechamiento de la energía, generando un menor consumo de la electricidad. La mayoría de estas tecnologías vienen acompañadas con circuitos electrónicos para su control y su uso.

Los circuitos electrónicos, se componen de pequeños transistores que se activan varias veces por segundo, generando una distorsión en la forma de onda de las señales eléctricas. Estas distorsiones pueden provocar disturbios en las redes de distribución de energía; calentamiento en los conductores, intermitencias que son perceptibles en el alumbrado, reducción de la vida de un equipo eléctrico, resonancia en los transformadores de distribución. [1]

Debido al incremento de la urbanización, las subestaciones eléctricas se encuentran rodeadas y son susceptibles a los armónicos a través de los transformadores de baja tensión, y posteriormente, se pueden propagar por las líneas de media tensión hasta llegar a las subestaciones.

Los armónicos pueden provocar, si la distorsión es muy alta, deterioro de los transformadores en las subestaciones, calentamiento y resonancia, lo que provoca que aumenten las señales del voltaje y en consecuencia, pérdida de un equipo y disparos de protecciones, liberando líneas de subtransmisión y generando pérdida de energía debido a la interrupción. [2]

# 1. CAPÍTULO I PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Los armónicos son un problema que influye en la calidad de la energía que se entrega al cliente por parte de una empresa suministradora, ocurren debido a los equipos con características no lineales como son los transformadores y las lámparas fluorescentes. Hoy en día los límites máximos de distorsión armónica los a nivel nacional e internacional han sido rebasados en muchos casos debido al uso creciente de equipos electrónicos en el hogar y la industria y comercio tales como rectificadores, triacs o tiristores, también se debe poner atención especial en los capacitores de los rectificadores que se utilizan en aparatos para los televisores, computadoras, lámparas LED que se encuentran, sobretodo, en ambientes como son las oficinas y las casas-habitación. [3]

## 1.2 Justificación

La justificación de esta tesis consiste en estudiar los niveles de armónicos que se generan entre los pequeños y medianos clientes, generando así una base de datos que ayude a mitigar esta inyección de distorsiones en los circuitos de distribución de la Zona Puebla Oriente.

### 1.2.1 Social

La empresa distribuidora de energía podrá detectar las anomalías que generan estas distorsiones en zonas con mayor influencia, creando soluciones para su mitigación y proporcionando una mejor calidad de la energía para los usuarios.

### 1.2.2 Teórica

Utilizar los artículos, libros e investigaciones previas al respecto, realizando una retroalimentación a la empresa distribuidora de CFE, ya que tiende a competir con otras empresas y carece del tipo de análisis e investigación al respecto.

### 1.2.3 Metodología

La información técnica de los parámetros, como puede ser el voltaje, la corriente, la distorsión total armónica, etc., y el historial de aumento de los

armónicos será proporcionado por los diversos departamentos de: Control y comunicaciones, Protecciones, Medición y planeación, de la empresa distribuidora.

## **1.3 Objetivo de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el incremento de armónicos en los pequeños y medianos clientes que ingresan en las subestaciones cercanas a las regiones urbanas de la zona de Distribución Puebla Oriente.

### **1.3.2 Objetivo Particular**

Generar una base de datos de las distorsiones armónicas de la Zona de Distribución Puebla Oriente.

Proporcionar la información necesaria para realizar el análisis de la cantidad de armónicos que se inyectan en las líneas de distribución y las pérdidas que se generan debido a ellos.

## **1.4 Hipótesis**

El incremento de los equipos electrónicos generan armónicos considerables que contribuyen a daños en instalaciones de la red de distribución, accionamiento de protecciones y posibles inconformidades sobre la calidad de la energía por parte de los usuarios, por lo cual es necesario realizar un estudio con el cual nos permita conocer el incremento de estas distorsiones a través de los perfiles de medición que se encuentran en las diferentes líneas de los alimentadores de cada subestación de la Zona de Distribución Puebla Oriente.

### **1.4.1 Variables**

Las principales variables que intervienen en los problemas de estudio de armónicos son los siguientes:

- ❖ Dependientes: Voltaje, corriente, distorsión total armónica de voltaje, distorsión total armónica de corriente.
- ❖ Independientes: Fecha, Hora.

## **1.6 Limitaciones y alcance del trabajo**

Las limitaciones que se presentan en el presente trabajo, son el procesamiento de los datos; dado que la cantidad de datos a procesar de los diferentes parámetros eléctricos, descargados de los perfiles de los medidores en las líneas de cada subestación, se requiere de una gran cantidad de recursos computacionales para agilizar el proceso.

Dentro de los alcances del presente trabajo, son de carácter nacional, ya que los datos que son utilizados pueden ser accesibles a través de la Intranet de CFE por medio de la pagina del Sistema de Monitoreo de Control de Energía (SIMOCE), por lo cual se puede realizar el mismo análisis estadístico en cualquier Zona de Distribución de México que tenga acceso a la página del SIMOCE.

## **1.7 Aportaciones de la Tesis**

La actual tesis aporta a la CFE un análisis del comportamiento de los alimentadores respecto a la variable de Distorsión Total Armónica (Por sus siglas en inglés, Total Harmonic Distortion: THD) en la onda de voltaje, del cual, aunque se pueda acceder a la información desde una página de la intranet de Comisión Federal de Electricidad (CFE) del Sistema de Monitoreo de la Calidad de Energía (SIMOCE), no se habían realizado algún tipo de análisis que involucre todo el historial del alimentador.

El presente documento puede ser utilizado para el mejoramiento y planeación futura de los alimentadores de las Subestaciones de distribución.

## 2. CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Marco histórico

En esta sección se da una breve explicación de cómo la Comisión Federal de Electricidad (CFE) pasa de ser una empresa paraestatal, a una empresa productiva del Estado, la conformación de la empresa subsidiaria de distribución y la zona de distribución Puebla Oriente.

#### 2.1.1 Comisión Federal de Electricidad (CFE)

A partir del 28 de diciembre de 2015, con la entrada en vigor de la Reforma Energética, se establece que la CFE compita en el nuevo marco legal del mercado eléctrico mayorista con otras empresas en igualdad de condiciones, por lo cual se realiza la Estricta Separación Legal de la empresa, para garantizar el piso parejo en esta nueva modalidad de mercado eléctrico.

Así, se acordó la creación al interior de la CFE de 9 empresas subsidiarias y dos empresas filiales. Éstas incluyen [4]:

- ❖ 6 subsidiarias de generación
- ❖ 1 subsidiaria de transmisión de energía eléctrica.
- ❖ 1 subsidiaria de distribución de energía eléctrica.
- ❖ 1 subsidiaria de suministro básico.
- ❖ 1 empresa filial de intermediación de Contratos Legados.
- ❖ 1 empresa filial de suministro calificado.
- ❖ 1 empresa filial de CFEenergía.
- ❖ 1 empresa filial de CFE internacional.



Figura 2.1: Estructura de la CFE [5]

## 2.1.2 Empresa Subsidiaria de Distribución

La empresa Subsidiaria de Distribución es la encargada de la operación, mantenimiento, suministro y diseño de los circuitos de 115, 38.5 y 13.8 KV.

A lo largo del país, se encuentra conformada por 13 Divisiones de Distribución y 116 Zonas de Distribución. La siguiente imagen muestra las 13 Divisiones de Distribución:



Figura 2.2: Zonas de Distribución CFE [5]

En los siguientes organigramas, se muestra la conformación de la Gerencia Divisional de Distribución Central y la Zona de Distribución Puebla Oriente:

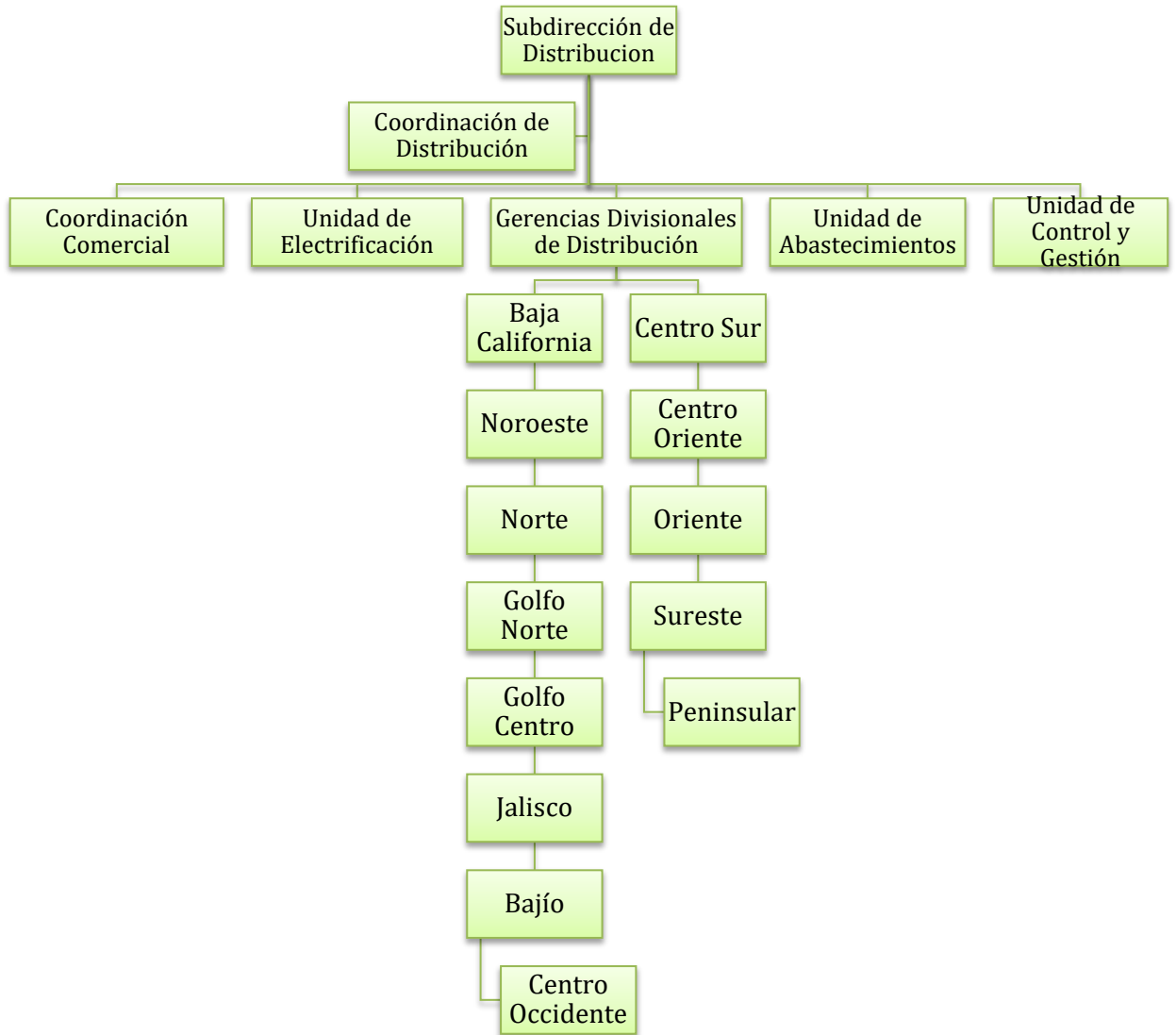


Figura 2.3: Subdirección de Distribución [5]



Figura 2.4: Gerencia Divisonal de Distribución Centro Oriente [5]

## 2.3 Marco Teórico

### 2.3.1 Subestaciones Eléctricas

Una Subestación Eléctrica es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica (como tensión y corriente) y de proveer un medio de interconexión y despacho entre las diferentes líneas de un sistema.

Existen varios tipos de subestaciones, dependiendo a las necesidades que se requieran. Para propósito de este estudio, las subestaciones en las cuales se enfocara son las subestaciones receptoras primarias y las subestaciones receptoras secundarias.

#### 2.3.1.1 Subestaciones Receptoras primarias

Estas son alimentadas directamente de las líneas de transmisión y reducen la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión o a las redes de distribución, de manera que dependiendo de los valores de transmisión se puede obtener en el secundarios los siguientes valores de tensión 115 y 69 KV que son los valores de subtransmisión y

consecuentemente a través de estos valores se pueden obtener los valores de transmisión de 34.5, 13.8 ó 6.9 KV.

### **2.3.1.2 Subestaciones Receptoras secundarias**

Estas son alimentadas por lo general por las redes de subtransmisión, suministrando la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones comprendidas de 34.5, 13.8 y 6.9KV, de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

### **2.3.1.3 Transformadores**

Es la parte más importante de un subestación eléctrica, debido a que puede transferir la potencia eléctrica a otro circuito, que por lo general tienen diferentes tipos de tensión y solo se encuentran acoplados magnéticamente o debido al costo en comparación a los otros elementos de la subestación.

## **2.4 Armónicos**

La utilización de energía eléctrica recae más en el suministro de energía con frecuencias y voltajes controlados, mientras que es la generación y la transmisión que toma lugar niveles nominales constantes. La discrepancia, por lo tanto, requiere de cierta forma de condiciones de energía o conversiones, normalmente implementados por circuitería de electrónica de potencia que distorsionan las formas de onda del voltaje y la corriente.

Se puede demostrar que cualquier forma de onda periódica repetitiva puede ser representada como una serie de ondas senoidales de diferentes frecuencias y fases, constituyendo el llamado espectro armónico de la onda. La frecuencia de la onda senoidal predominante se denomina fundamental, y las frecuencias del resto de ondas (armónicos) son un múltiplo entero de ésta.

Cuando una carga eléctrica se conecta a una fuente alterna de suministro, absorbe corriente. Si la corriente absorbida es también sinusoidal, la carga se denomina lineal, pudiendo estar en fase con la tensión (carga resistiva), en adelanto (carga capacitiva) o en retraso (carga inductiva).

En otros tipos de carga, por el contrario, la corriente absorbida puede ser no sinusoidal, por lo que tendrá un cierto contenido en armónicos. Este tipo de cargas se denominan no lineales. Un ejemplo típico de carga no lineal es un rectificador, el cual utiliza diodos y/o tiristores para convertir la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC). Los rectificadores pueden encontrarse en muchos dispositivos electrónicos de potencia, tales como la etapa de entrada de variadores de velocidad para motores de corriente continua y alterna, cargadores de baterías, rectificadores electroquímicos, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), etc.

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz. Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia.

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.[6]

$$TDH(\%) = \sqrt{(ID_1^2 + ID_2^2 + \dots + ID_n^2)}$$

Donde  $ID_n$ , es la magnitud del n-ésimo armónico como un porcentaje de la fundamental

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
- Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
- Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- Provocan la disminución del factor de potencia.
- Están asociados con el calentamiento de condensadores.
- Pueden provocar ferresonancia.
- Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.
- Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como

caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.

- Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.
- Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.[7]

De acuerdo al código de Red, en su apartado de Manual Regulatorio para la conexión de centros de carga, capítulo 3.8: Calidad de la energía, La Comisión Reguladora de Energía muestra la siguiente tabla proporcionando los valores permitidos de los armónicos respecto a sus corrientes de corto circuito (ICC) y las corrientes de carga (IL), para tensiones menores o iguales a 69 KV:

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$					Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)
	Armónicas <11	Armónicas 11 a 16	Armónicas 17 a 22	Armónicas 23 a 34	Armónicas >34	
$I_{cc}/I_L < 20$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 2.1: Límites de distorsión armónica máxima permisible en corriente para tensiones menores o iguales a 69 KV [8]

## 2.4.1 Tipos de armónicos

En general, sin atender la causa que produce la distorsión armónica, se tienen dos tipos de armónicos: Armónicos característicos o normales y los armónicos no característicos anormales o no usuales. El primer tipo se origina debido exclusivamente a la no linealidad de elementos eléctricos o electrónicos conectados en un sistema balanceado y, el segundo debido a otras causas, como desbalances en el sistema trifásico o periodos transitorios.

Los armónicos, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de tres ( $h= 3, 6, 9, \dots$ ) reciben el nombre de armónicos triples y los demás se denominan armónicos no triples. Los armónicos, cuyas frecuencias son múltiplos de dos ( $h= 2, 4, 6, \dots$ ), reciben el nombre de armónicos pares, los demás se denominan armónicos impares.

Además se definen los armónicos no fluctuantes o cuasi estacionarios y los armónicos fluctuantes, estos últimos se diferencian de los primeros en el sentido de que sus valores cambian con el tiempo de acuerdo a la variación de la carga.[9]

## 2.4.2 Factores de distorsión armónica

El factor de Distorsión armónica es una medida del alejamiento de la forma de una función periódica cualquiera con respecto a otra forma de onda senoidal pura. Este factor de distorsión, normalmente se expresa en porcentaje. Hay dos tipos de factores de distorsión, factor de distorsión de voltaje VDF, por sus siglas en inglés Voltage Distorsion Factor, y factor de distorsión de corriente IDF.

## 2.4.3 Factor de distorsión armónica total de voltaje VDF

El valor del factor de distorsión armónica total en voltaje se define como:

$$VDF = \frac{1}{V_1} \left( \sum_{h=2}^{\infty} V_h^2 \right)^{1/2}$$

Donde:

$V_1$  es el valor de la componente fundamental de voltaje.

$V_h$  es el valor eficaz de la componente armónica de orden  $h$ .

El factor de distorsión armónica total de voltaje está directamente relacionado con el aumento de calentamiento en una carga resistiva pura. Con voltajes armónicos aplicados a un resistor.

$$\frac{P_h}{P_f} = (VDF)^2$$

Donde:

$P_h$  es la potencia disipada por la componente fundamental del voltaje

$P_f$  es la potencia disipada por todas las armónicas

El valor del factor de distorsión armónica total, generalmente se expresa en porcentaje, por lo cual es necesario multiplicar el resultado por 100.

## 2.4.4 Factor de distorsión armónica total de corriente IDF

El valor del factor de distorsión armónica total en voltaje se define como:

$$IDF = \frac{1}{I_1} \left( \sum_{h=2}^{\infty} I_h^2 \right)^{1/2}$$

Donde:

$I_1$  es el valor de la componente fundamental de corriente.

$I_h$  es el valor eficaz de la componente armónica de orden  $h$ .

$$\frac{P_h}{P_f} = (IDF)^2$$

Donde:

$P_h$  es la potencia disipada por la componente fundamental del voltaje

$P_f$  es la potencia disipada por todas las armónicas

El valor del factor de distorsión armónica total, generalmente se expresa en porcentaje, por lo cual es necesario multiplicar el resultado por 100.[10]

## 2.5 Marco normativo

A partir del año 2016 la Comisión Reguladora de Energía (CRE), a focalizado su atención en la obtención de mejores requerimientos para proporcionar la mejor calidad posible en el servicio de energías y en general, a todo proceso relacionado con el Sistema Eléctrico Nacional, lo cual da origen al Código de Red.

Dicho cuerpo normativo engloba cuatro ejes principales para su eficiente manejo, las cuales se identifican de la siguiente manera:

- **Operación:** Aquellas disposiciones que regulen las condiciones operativas para asegurar el Suministro Eléctrico obedeciendo todo lineamiento relativo a la seguridad y continuidad.
- **Planeación:** Todas las disposiciones relativas a una observancia obligatoria en la elaboración de los programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y de las Red General de Distribución (RGD).
- **Generación:** Aquellas especificaciones técnicas y requerimientos técnicos que deben de cumplir las Unidades de Central Eléctrica que deseen interconectarse al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
- **Centros de Carga:** Los demás requerimientos técnicos que deben de cumplir los Centros de Carga que pretendan o estén conectados al SEN.

Para estar en posibilidad de dar seguimiento a los cuatro ejes antes mencionados, la Comisión reguladora de Energía constituyó un Comité Consultivo de Confiabilidad y emitirá las Reglas de Operación que deberán contener al menos los aspectos de su integración y funcionamiento.

Dicho Comité tiene por objetivo contribuir al proceso de revisión, actualización, normalización y consulta pública de los manuales, procedimientos y criterios contenidos en el Código de Red, sin embargo, sus propuestas no tienen el carácter de vinculatorias, y quedan sujetas a la aprobación del Órgano de Gobierno de la CRE.

Con motivo de la presente investigación, es necesario precisar que los requerimientos antes mencionados se verán estudiados de maneras distintas cuando se hable de Centrales Eléctricas de acuerdo a su tipo, es decir, ya sean del tipo A, B, C, D o E, de acuerdo a las tablas especificadas en el Manual Regulatorio de Requerimientos Técnicos para la Interconexión de Centrales Eléctricas al Sistema Eléctrico Nacional.

Para las centrales Tipo A, los límites máximos de la distorsión en la onda de corriente son presentadas en la tabla 2.2:

<b>Armónicas Impares</b>	<b>Límite de distorsión</b>
3ª a 9ª	Menos del 4.0 %
11ª a 15ª	Menos del 2.0 %
17ª a 21ª	Menos del 1.5 %
23ª a 33ª	Menos del 0.6 %

<b>Armónicas Pares</b>	<b>Límite de distorsión</b>
2ª a 8ª	Menos del 1.0 %
10ª a 32ª	Menos del 0.5 %

**Tabla 2.2: Límites máximos de distorsión de corriente [14]**

Asimismo, las centrales tipo B, los valores máximos de distorsión armónica total en la onda de la tensión, es del 6.5%, considerado hasta 50ª armónica; mientras que los límites de distorsión armónica de la onda de tensión individual se dan a conocer de la siguiente manera, en la tabla 2.3:

Orden de la armónica	Nivel de armónica (% de la Tensión fundamental)	Orden de la armónica	Nivel de armónica (% de la Tensión fundamental)
3	4.00	2	1.80
5	5.00	4	1.00
7	4.00	6	0.50
9	1.20	8	0.50
11	3.00	10	0.47
13	2.50	12	0.43
15	0.30	14	0.40
17	1.70	16	0.38
19	1.50	18	0.36
21	0.20	20	0.35
23	1.20	22	0.33
25	1.09	24	0.32
27	0.20	26	0.32
29	0.91	28	0.31
31	0.84	30	0.30
33	0.20	32	0.30
35	0.72	34	0.29
37	0.67	36	0.29
39	0.20	38	0.29
41	0.59	40	0.28
43	0.55	42	0.28
45	0.20	44	0.28
47	0.49	46	0.27
49	0.46	48	0.27
		50	0.27

Tabla 2.3: Niveles armónicos de la Tensión para las Centrales Eléctricas tipo B [14]

Correspondiente a las Centrales Eléctricas tipo C y D, para la forma de onda de la tensión, el valor máximo permitido de la distorsión total armónica es del 3.0%, mientras que los valores límites para la distorsión armónica de la onda individual se dan a conocer como a continuación se muestra en la tabla 2.4:

Orden de la armónica	Nivel de armónica (% de la Tensión fundamental)	Orden de la armónica	Nivel de armónica (% de la Tensión fundamental)
3	2.00	2	1.40
5	2.00	4	0.80
7	2.00	6	0.40
9	1.00	8	0.40
11	1.50	10	0.35
13	1.50	12	0.32
15	0.30	14	0.30
17	1.20	16	0.28
19	1.07	18	0.27
21	0.20	20	0.26
23	0.89	22	0.25
25	0.82	24	0.24
27	0.20	26	0.23
29	0.70	28	0.23
31	0.66	30	0.22
33	0.20	32	0.22
35	0.58	34	0.22
37	0.55	36	0.21
39	0.20	38	0.21
41	0.50	40	0.21
43	0.47	42	0.21
45	0.20	44	0.20
47	0.43	46	0.20
49	0.42	48	0.20
		50	0.20

Tabla 2.4: Niveles armónicos en la tensión para las Centrales Eléctricas tipo C y D [14]

Por otro lado, en el Manual Regulatorio de requerimientos Técnicos para la Conexión de Centros de Carga; capítulo 3 en su sección 3.8: Calidad de la Energía, se estipula que mientras no se cuente con una Norma Oficial Mexicana con respecto a la Calidad de la Energía, se debe cumplir con los criterios que se enuncian a continuación en las tablas 2.5, 2.6 y 2.7:

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$					Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)
	Armónicas <11	Armónicas 11 a 16	Armónicas 17 a 22	Armónicas 23 a 34	Armónicas >34	
$I_{cc}/I_L < 20$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 2.5: Límites de distorsión armónica permisibles en corriente para tensiones menores o iguales a 69 KV [14]

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$					Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)
	Armónicas <11	Armónicas 11 a 16	Armónicas 17 a 22	Armónicas 23 a 34	Armónicas >34	
$I_{cc}/I_L < 20$	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Tabla 2.6: Límites de distorsión armónica permisibles en corriente para tensiones mayores de 69 KV a 161 KV [14]

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$					Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)
	Armónicas <11	Armónicas 11 a 16	Armónicas 17 a 22	Armónicas 23 a 34	Armónicas >34	
$I_{cc}/I_L < 50$	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
$I_{cc}/I_L \geq 50$	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Tabla 2.7: Límites de distorsión armónica permisibles en corriente para tensiones mayores a 161 KV [14]

Mismas en las que el concepto  $I_L$  representa la corriente máxima de carga, correspondiente al promedio de las corrientes de demanda máxima de los últimos 12 meses: en dado caso de que este último valor no se tenga disponible, se asume la corriente nominal de los transformadores de corriente del equipo de medición del suministrador. Por otra parte, el concepto  $I_{cc}$  se verá representado como la corriente de Corto Circuito en el punto de la acometida.

En México mientras no se cuente con una norma a nivel nacional para determinar los límites de distorsión armónica en la onda de voltaje, se utiliza la especificación de la CFE, como se muestra en la tabla 2.8:

<b>Tensión kV</b>	<b>Componente armónico individual máximo de tensión (CAIMT) %</b>	<b>Distorsión armónica total de tensión (DATT) %</b>
Menor de 1	6	8
de 1 a 35	5	6,5
Mayor de 35	2	3

Tabla 2.8: Límites máximos de distorsión armónica total en tensión y de CAIMT en el punto de acometida [17]

### 2.5.1 Supletoriedad de la normatividad internacional

Como complemento de la normatividad mexicana vigente, la cual se encarga de regular los conceptos previamente mencionados, encontramos la Norma Internacional IEEE 519, encargada de estipular las Prácticas Recomendadas y Requerimientos Armónicos de Control en los Sistemas Eléctricos de Potencia; dicho cuerpo normativo establece el tipo de calidad de la energía que debe proveerse en el punto común de acoplamiento.

Para el manejo de armónicos en un Sistema de Potencia se debe considerar la responsabilidad de la interconexión entre los usuarios y las empresas proveedoras de energía u operadores de la misma, respecto de las recomendaciones de los límites armónicos tanto de los voltajes como de las corrientes.

Los valores recomendados en esta disposición se basan en el hecho de que algún nivel de distorsión de voltaje es generalmente aceptable y tanto como las empresas propietarias u operadores y usuarios deben trabajar de manera conjunta para mantener los niveles de distorsión de voltaje por debajo de los niveles indeseables; lo anterior, con el objetivo de que al limitar las inyecciones recomendadas de los armónicos de corriente por parte de los usuarios, se evite que la distorsión del voltaje alcance los niveles indeseables.

En caso de que esos límites de corriente armónica por si solas no resulten en un nivel aceptable de distorsión de voltaje, tanto las empresas propietarias del sistema o los operadores, deben tomar acciones para modificar las características del sistema para que los niveles de distorsión de voltaje sean aceptables, lo anterior, de conformidad a lo establecido en la tabla 2.9:

<b>Bus voltage <math>V</math> at PCC</b>	<b>Individual harmonic (%)</b>	<b>Total harmonic distortion THD (%)</b>
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 <sup>a</sup>

Tabla 2.9: Límites de distorsión de voltaje en los Puntos Comunes de Interconexión [16]

### **3. CAPÍTULO 3 MARCO METODOLOGICO**

En este capítulo se proporcionaran los métodos y las herramientas que se van a utilizar para realizar la el análisis estadístico.

#### **3.1 Estadística**

La estadística es una disciplina aplicada en todos los campos de la actividad humana. De ahí que se tenga como asignatura indispensable en casi todos los programas, desde nivel medio vocacional hasta el posgrado.

Hoy en día es considera de gran importancia, ya que suministra los mejores instrumentos de investigación, no solo para observar y recopilar toda una gama informativa incubada dentro de la misma empresa o fuera de ella, sino también en el control de ciertas actividades de producción, ventas, proyecciones o estimaciones a corto, mediano y largo plazo, en la formulación de la hipótesis y en el análisis de procesos encaminado a facilitar la toma de decisiones.

Estadística (en singular) se refiere a un conjunto de métodos, normas, reglas y principios para observar, agrupar, describir, cuantificar y analizar el comportamiento de un grupo.

Uno de los principales objetivos de la Estadística es hacer inferencia en los valores estadísticos de la población, denominados parámetros a través de la información obtenida en una muestra.

En estadística, se encuentran 2 tipos de métodos para el análisis de datos: la Estadística Descriptiva o Deductiva y la Estadística Analítica o Inductiva

##### **3.1.1 Estadística Descriptiva o Estadística Deductiva**

La estadística descriptiva o deductiva tiene como finalidad colocar en evidencia aspectos característicos (promedios, variabilidad de los datos, etc.) que sirven para efectuar comparaciones sin pretender sacar conclusiones de tipo más general.

Esta descripción se realiza a través de la elaboración de cuadros, gráficos, cálculo de promedios, varianzas, proporciones y mediante el análisis de regresión.

La estadística se podría definir como aquel método que permite no solo describir el hecho o fenómeno, sino deducir y evaluar conclusiones acerca de una población, utilizando resultados proporcionados por una muestra.

### 3.1.2 Estadística Analítica o Estadística Inductiva

Es aquella que busca dar explicaciones al comportamiento de un conjunto de observaciones, probar la significación o validez de los resultados; intenta descubrir las causas que las originan, con gran aplicación en el campo del muestreo, lográndose de esta manera conclusiones que se extienden mas allá de las muestras estadísticas mismas.

A continuación se dan a conocer definiciones de los tipos de datos que existen en la estadística:

*Población:* Es un conjunto de medidas o el recuento de todos los elementos que presenta una característica común. El termino población se usa para denotar el conjunto de elementos del cual se extrae una muestra.

*Marco:* Se denomina marco, marco muestral o marco de referencia a la lista, mapa o cualquier otro material aceptable, que contenga todas la unidades perfectamente identificadas y actualizadas, del cual se selecciona la muestra.

*Características:* Corresponden a ciertos rasgos, cualidades o propiedades de los elementos que constituyen la población o la muestra. Algunos caracteres son mensurables y se describen numéricamente, por tal motivo se denominan caracteres cuantitativos o variables ( estatura, peso ingreso, valor, producción, etc.) Otros se expresan mediante palabras por no ser mensurables pero si cuantificados (profesión, cargo, marcas, etc.) y se denominan caracteres cualitativos o atributos.

*Muestra:* Se define como un conjunto de medidas o el recuento de una parte de los elementos pertenecientes a la población.

*Estadísticas (plural):* Se refiere a un ordenamiento sistemático de datos presentado en forma de cuadros y gráficas.

*Estadísticas primarias:* Son aquellos datos obtenidos ya sea por encuestas directas, mediante la utilización de cuestionarios, o como resultado de la observación directa.

*Estadísticas secundarias:* En estas, los datos se obtienen de publicaciones, las cuales pueden ser reproducciones totales o parciales.

*Estadísticas temporales:* Denominadas series de tiempo o series cronológicas. Son las obtenidas y ordenadas de forma cronológica, resultado de una investigación u observaciones periódicas: días, meses, años.

Para esta tesis, se implementa la estadística temporal, ya que los datos que se utilizan para el análisis, son datos que los medidores en los alimentadores obtienen una lectura cada 10 minutos durante todo el día, a través de los meses y de los años. El análisis se realiza en un segmento de tiempo que comprende desde el año

Parámetros: Son todas aquellas medidas que describen numéricamente la característica de una población. También se les denomina valor verdadero, ya que una característica poblacional tendrá un solo parámetro (media, varianza, etc.). Sin embargo, una población puede tener varias características y, por tanto, varios parámetros.

Para el análisis de una variable o de una distribución unidireccional se consideran cuatro clases de medidas:

- Medidas de posición o de tendencia central
- Medidas de dispersión o de variabilidad
- Medidas de asimetría o de deformación
- Medidas de apuntamiento o curtosis

#### Medidas de Posición

Son utilizadas para describir y sintetizar mediante un número único, denominado promedio, la posición de un valor en la variable, en tal forma que represente al conjunto de valores observados.

Los promedios reciben el nombre genérico de medidas de tendencia central porque algunos constituyen valores ubicados en el centro de la variable a la cual representan. Se consideran varias clases de promedios o medidas de posición:

- Media aritmética
- Mediana
- Moda
- Media cuadrática
- Media cúbica
- Media geométrica
- Media armónica
- Cuartiles, deciles y percentiles
- Centro recorrido

#### Media Aritmética

Se define como el cociente que se obtiene al dividir la suma de los valores de la variable por el número total de observaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

#### Mediana

ES una medida de posición. Se define como: aquel valor de la variable que supera la mitad de las observaciones y que a su vez es superado por la otra mitad de las observaciones. Por tal razón, se le considera como el valor central, ya que el promedio de estar situado en el centro de la distribución.

La mediana es utilizada con mayor frecuencia, cuando la distribución presenta el primero y el último intervalo abierto o no definido en datos agrupados. El valor de este promedio depende del número de observaciones y no del valor de las mismas.

### Media cuadrática

Esta medida se define como la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de la variable. Se aplica en algunos casos tales como en los problemas de probabilidad o cuando se hace indispensable trabajar con los cuadrados de los valores.

Su mayor importancia la tiene, cuando se requiere promediar una variable que toma valores positivos y negativos.

Para datos no agrupados:

$$M = \sqrt{\frac{\sum x_l}{n}}$$

Para datos agrupados:

$$M = \sqrt{\frac{\sum y_l x_l}{n}}$$

### Medidas de Dispersión

Son medidas que se emplean para determinar el grado de variabilidad o de dispersión de los datos con respecto a un promedio. Por lo general se les considera como promedio de las desviaciones respecto a algún valor central o medida de posición.

#### Varianza

La varianza es una medida, en la cual su importancia radica especialmente en que da origen a otra medida de dispersión mucho más significativa, denominada desviación típica o estándar. Se define como la media aritmética de los cuadrados de las desviaciones respecto a la media aritmética.

La varianza, al igual que en la media aritmética, sus fórmulas permiten el tratamiento algebraico y hacen lo posible por determinar otras fórmulas, conocida como métodos abreviados, cuyo fin es agilizar las operaciones y a la vez simplificar el cálculo.

#### Desviación típica o estándar

La varianza, es apenas una primera aproximación sobre la cuantificación del grado de variabilidad en una distribución cualquiera.

Para comparar dos distribuciones, en cuanto a su variabilidad absoluta, se puede utilizar sus varianzas; el resultado nos indicará cuál de ellas es más homogénea o cuál es más heterogénea.

La varianza presenta el inconveniente de expresar el grado de dispersión de una variable, en unidades diferentes a las que se tienen originalmente. Generalmente, utilizamos la varianza para comparar dos o más distribuciones que estén dadas en las mismas unidades de medida y también, para calcular la desviación típica o estándar.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada de la varianza, tomada siempre con signo positivo. También se puede definir como la raíz cuadrada de las desviaciones respecto a la media.

La desviación típica, es la medida de dispersión más conocida y por tal motivo la más utilizada; desempeña un papel muy importante en el análisis de los datos estadísticos.

Al igual que la varianza, permite la comparación de dos o más distribuciones, cuando están dadas en las mismas unidades de medidas, con el fin de determinar cuál de ellas representa una mayor o menor grado de variabilidad absoluta.

#### Coeficiente de Variación (CV)

Esta medida se obtiene dividiendo la desviación típica por su media aritmética, expresándose el resultado en términos porcentuales.

$$C = \frac{s}{x} 100$$

Este coeficiente de variación se emplea, cuando se desea comparar dos o más distribuciones, con el fin de determinar cuál de ellas tienen mayor o menor variabilidad relativa.

#### Puntaje Típico o Estandarizado

Esta medida de dispersión es muy utilizada como variante estadística en la distribución normal y en el análisis de coeficiente de correlación. Se emplea para medir la desviación típica, determinándose la posición relativa de una observación dentro del conjunto.

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

El puntaje típico se emplea, para comparar dos o más datos individuales, aunque pertenezcan a distribuciones diferentes, pudiendo suceder que tengas medias y varianzas que no coincidan.

### Desviación Media ( $D_a$ )

Esta medida de dispersión, se define como la media aritmética de las desviaciones respecto a la media, tomadas en valor absoluto. Se le considera como una de las medidas de dispersión más fáciles de calcular, siendo utilizada, en la mayoría de los casos, con el único fin de agilizar las operaciones, de ahí que a su resultado se le considere como una aproximación a la cuantificación de la dispersión.

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N}$$

### Desviación Media ( $D_e$ )

Esta medida de dispersión se define como la media aritmética de las diferencias desviaciones en valor absoluto, entre los valores que toma la variable y su mediana:

$$D_e = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - M_e|}{n}$$

Es una medida de dispersión que en su mayor uso corresponde a aquellas distribuciones cuyos valores extremos no están definidos, o cuando el promedio está afectado por valores grandes que toma la variable, obligando a calcular la mediana.

## 3.2 Base de Datos

Para la realización de esta tesis, debido a la gran cantidad de información, datos y archivos que se utilizan en el análisis, la factibilidad de realizar los análisis estadísticos archivo por archivo es mínima y requiere de mucho tiempo para poder filtrar y agrupar los datos requeridos, por lo cual se requiere el realizar una base de datos para la fácil manipulación de la información descargada, por lo cual en esta sección se da una breve explicación sobre lo que es una base de datos y los conceptos básicos.

### 3.2.1 Conceptos básicos

Los sistemas de base de datos son una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a esos datos. La colección de datos, usualmente referido como base de datos, contiene información relevante para una empresa.

Los sistemas de datos están diseñados para manejar grandes cuerpos de información. El manejo de datos involucra tanto como definir estructuras para el almacenamiento de información y proveer los mecanismos de manipulación de información. Adicionalmente, el sistema de base de datos debe garantizar la

seguridad de la información almacenada, a pesar de que el sistema colapse o los intentos no autorizados de ingreso. [11]

Una base de datos cuenta con las siguientes propiedades implícitas:

- Una base de datos representa un aspecto del mundo real, a veces llamado mini mundo o el universo a discusión. Cambios en el mini mundo se ve reflejado en la base de datos.
- Una base de datos es una colección lógicamente coherente de datos con algún significado inherente. Una variedad aleatoria de datos no puede ser correctamente referido a una base de datos.
- Una base de datos es diseñada, construida y poblada con datos con un propósito específico. Esta base está destinada a un grupo de usuarios y a algunas aplicaciones preconcebidas en el cual, estos usuarios se encuentren interesados.

Una base de datos tiene cierta fuente de la cual los datos son derivados, con cierto grado de interacción con eventos en el mundo real, y con una audiencia que es activamente interesada en su contenido. Los usuarios finales de la base de datos pueden realizar varios tipos de acciones: como el de poder hacer transacciones de negocios o eventos que pueden pasar que cause un cambio de información en la base de datos. En orden para que una base de datos sea confiable y precisa en todos los tiempos, ésta debe ser un fiel reflejo del mini mundo que este represente; por lo tanto, los cambios se deben reflejar en la base de datos lo más pronto que sea posible. [10]

A continuación, se presentan los conceptos básicos de una base de datos:

**Dato:** Son palabras o número que se utilizan para construir información.

**Base de Datos:** Es una colección de datos relacionados, ordenadas y organizadas de tal forma que tengan sentidos y que puedan ser tanto actualizados como consultados.

**Campo:** Área de almacenamiento el cual la base de datos nos brinda para almacenar datos de un tipo específico, por ejemplo: carácter, entero, flotante, etc., pero del cual deben compartir el mismo tipo.

**Registro:** Es una colección de datos iguales o de diferentes tipo pero que se encuentran relacionados.

**Archivo:** Es una colección de registros relacionados.

En la figura 3.1, se presenta tabla que es un ejemplo de base datos.










Pos	Equipo	JJ	JG	JE	JP	GF	GC	DIF	Pts
1	 Cruz Azul	17	11	3	3	26	13	13	36
2	 América	17	9	6	2	33	17	16	33
3	 Pumas UNAM	17	8	6	3	29	19	10	30
4	 Santos Laguna	17	8	6	3	27	18	9	30
5	 Monterrey	17	9	3	5	25	19	6	30
6	 Tigres UANL	17	8	5	4	32	18	14	29
7	 Toluca	17	8	2	7	27	22	5	26
8	 Querétaro	17	7	5	5	19	20	-1	26
9	 Morelia	17	7	4	6	23	26	-3	25

Figura 3.1: Tabla general de posiciones de posiciones de Liga Mexicana de Futbol

De la figura 3.1 podemos definir que los datos es cada una de las casillas son los datos de la Base de Datos, las columnas representan los campos y las filas representan los registros, de donde la posición, el equipo, etc, son datos que se encuentran relacionados en la tabla de estadísticas. Toda la tabla en conjunto es considerado el archivo. [11]

### 3.3 MatLab

MATLAB, desarrollado por MathWorks, es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para el cálculo numérico y visualización, donde se integran cálculo numérico, cálculo matricial, gráficos, etc., en un entorno fácil de usar, donde los problemas y las soluciones son expresados como se escriben matemáticamente. MATLAB fue escrito originalmente para proporcionar un acceso sencillo al software matricial. MATLAB es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es una matriz que no requiere dimensionamiento, esto permite resolver muchos problemas numéricos en una fracción del tiempo que llevaría en hacerlo en otros lenguajes.

La plataforma de MATLAB está optimizada para resolver problemas científicos y de ingeniería. El lenguaje de MATLAB, basado en matrices, es la forma más natural del mundo para expresar las matemáticas computacionales. Las gráficas integradas facilitan la visualización de los datos y la obtención de información a partir de ellos. Una vasta biblioteca de herramientas (*Toolboxes*) integradas le permite empezar a trabajar inmediatamente con algoritmos esenciales para su dominio. El entorno de escritorio invita a experimentar,

explorar y descubrir. Todas estas herramientas y funciones de MATLAB están probadas rigurosamente y diseñadas para trabajar juntas.

## **4. CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA**

En este capítulo se darán a conocer los elementos y la información utilizada para la realización de este proyecto. Como caso de estudio, el análisis estadístico que se realiza en esta tesis en particular se realiza en la zona de distribución Puebla Oriente, perteneciente a la División de Distribución Centro Oriente.

### **4.1 Perfiles de Energía**

La Zona de Distribución Puebla Oriente, cuenta con 12 subestaciones de Distribución, las cuales alimentan a clientes de la zona con niveles de tensión de 13.8 KV, 34.5 KV y en algunas subestaciones con niveles de 115 KV. Para poder suministrar energía eléctrica a toda la zona, se cuenta con un total de 56 alimentadores los cuales se encuentran monitoreados cada uno de ellos con medidores de calidad de la energía, los cuales monitorean los parámetros de voltaje de fase, voltaje promedio de línea, corriente de fase, corriente promedio, Distorsión Total Armónica (TDH) en voltaje, TDH en corriente. [5]

Los medidores en los alimentadores guardan la información de forma momentánea en la memoria interna y transmiten esa información a un servidor que se encuentra conectado a la red particular de CFE, con lo cual cada día se descargan esos perfiles. Los perfiles pueden ser descargados a través de este servidor el cual es el Sistema de Monitoreo de Calidad de la Energía (SIMOCE).

### **4.2 Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía (SIMOCE)**

Al referirnos al Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía, en adelante SIMOCE, entendemos un proceso encargado de la obtención de energía en líneas de alta tensión, en transformadores de potencia y en alimentadores de la subestación, a través de diversos análisis de calidad de la misma y en balance de la energía reactiva; a efecto de poder brindar a sus usuarios calidad en el servicio, cumpliendo con las especificaciones técnicas que a través del tiempo y de conformidad a la normatividad vigente son necesarias.

Para estar en posibilidad de cumplir con los requisitos antes mencionados, será necesario alcanzar de manera satisfactoria un nivel integral de interoperabilidad y seguridad de la información establecido en el Programa de Redes Eléctricas inteligentes, y con ello, lograr la reducción de los costos de operación y mantenimiento a beneficio de dichos usuarios y para la creación de una mejora operativa del servicio.

Desde el sistema antes mencionado, se realizan las descargas de los perfiles de energías, desde la plataforma de CFE, en las cuales se encuentra la información correspondiente a las distintas variables eléctricas comprendidas en un periodo determinado, el cual en este caso, se concreta a archivos

comprendidos de manera mensual, a partir de enero de 2014 hasta el 30 de septiembre de 2018, como se muestra en la figura 4.1:

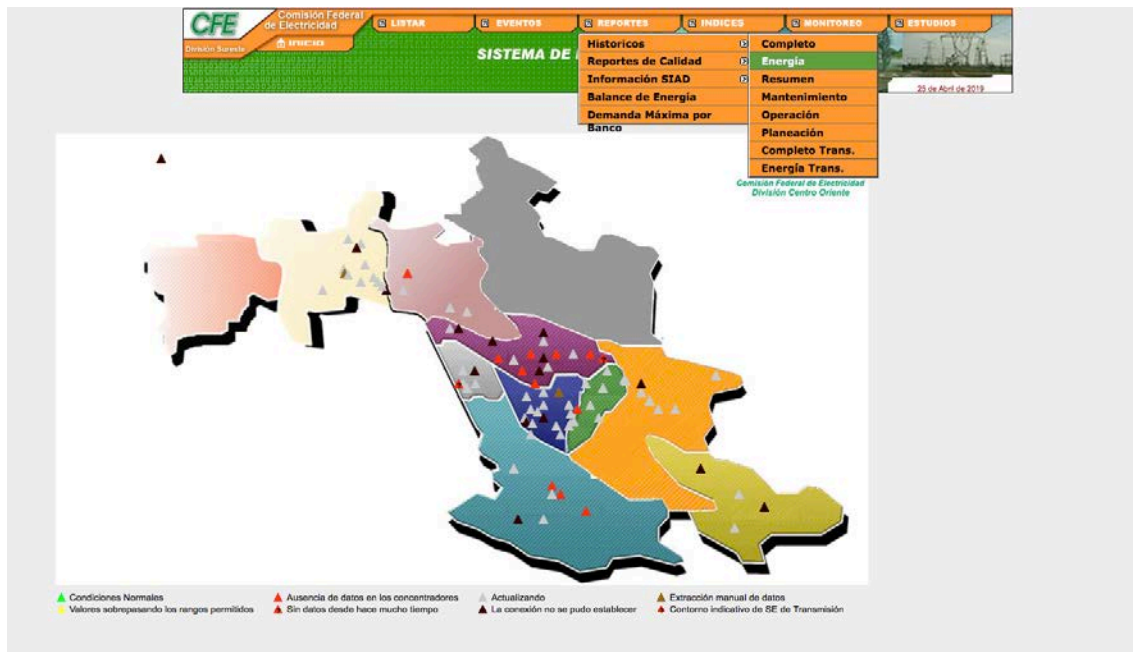


Figura 4.1: Página de Intranet Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía (SIMOCE) © [13]

### 4.3 Realización de base de datos utilizando MATLAB

A continuación, con la información descargada del SIMOCE, se exportan los archivos de cada subestación a la plataforma de MATLAB, para posteriormente estar es posibilidad de realizar el análisis numérico de la misma. Asimismo, se genera una separación de cada una de las líneas de manera mensual pertenecientes a cada periodo como se muestra en la figura 4.2:

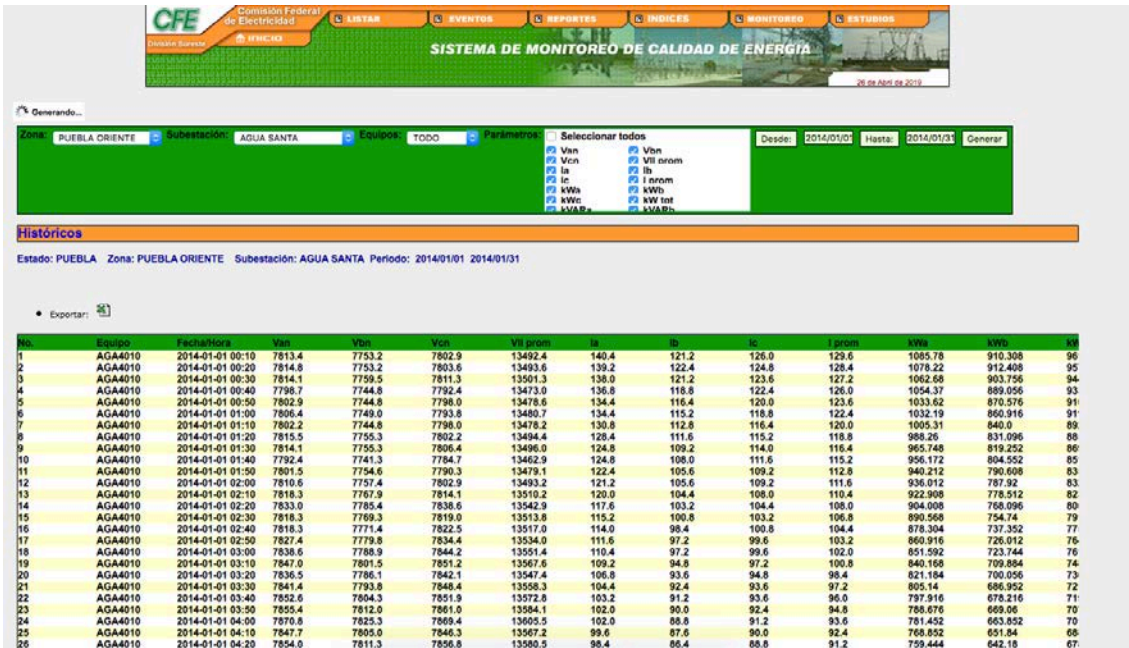


Figura 4.2: Reporte de Histórico de Energía desde la página de intranet SIMOCE © [13]

Cabe aclarar que dicha exportación de datos, es necesaria para que la manipulación de dicha información sea efectiva y sencilla al momento de trabajar con la misma. Como se muestra en la figura 4.3 la exportación de los archivos al entorno de MATLAB:

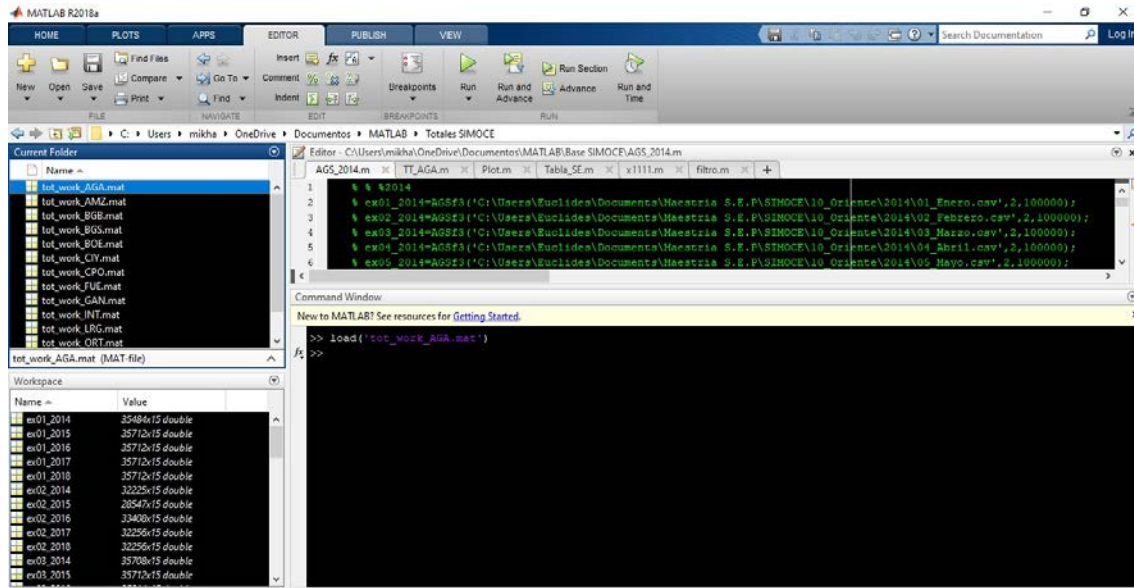


Figura 4.3: Exportación de los archivos del SIMOCE a MATLAB

Una vez exportada la información, se realiza un programa para poder filtrar y categorizar en líneas específicas con su información mensual de cada periodo, con el objeto de que cada una se encuentre separada de la otra y contenga toda la información necesaria, ya que en los archivos originales todas las líneas se encuentran mezcladas. Lo anterior, a efecto de evitar búsquedas subsiguientes y tediosas posteriores, las cuales impidan el mejoramiento

operativo buscado en la presente investigación, como se muestra en la figura 4.4:

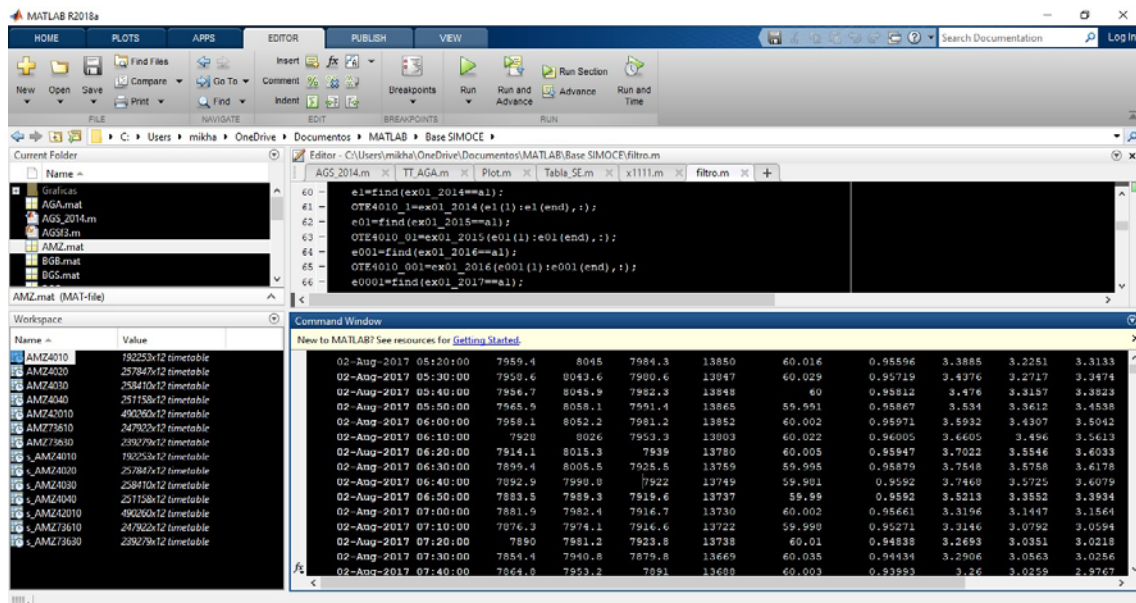


Figura 4.4: Filtrado de la información, realizando la separación por líneas

Al graficar los datos sin el procesamiento previo, se puede observar que en el periodo de tiempo de 4 años no se pueden deducir conclusiones específicas sobre el comportamiento de la línea a través del tiempo, ya que el muestreo de las variables eléctricas se realizan cada 5 minutos y la densidad de información es muy alta; como se muestra en la figura 4.5:

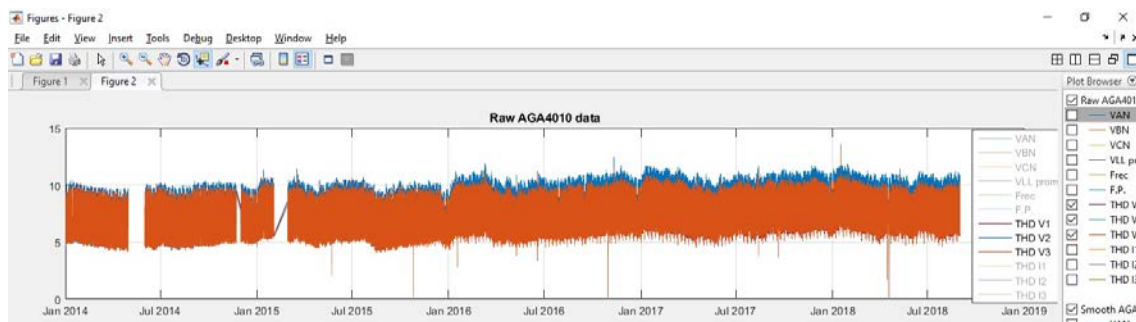


Figura 4.5: Gráfica de los datos previos al procesamiento

También se realiza un programa para la eliminación de aquellos valores que se encuentran en las tablas de cada línea de cada subestación que se encuentren fuera de rango o que no cuenten con información en la casilla, como una casilla N/A, para que nuestro estudio estadístico sea lo más cercano a la realidad.

Por subsecuente, se realiza el análisis estadístico respectivo para la elaboración de gráficas para la generación de las líneas de tendencias de los THD en Voltajes y Corrientes, los cuales establecen y marcan el comportamiento general de los mismos, que se desarrolla en un periodo de cuatro años, generando una comparativa entre la información de origen y aquella que fue procesada posteriormente.

Esta comparación de datos entre la información original y la información procesada, nos revela el comportamiento general del alimentador a través de del intervalo de tiempo del caso de estudio, como se muestra en la figura 4.6 siguiente:

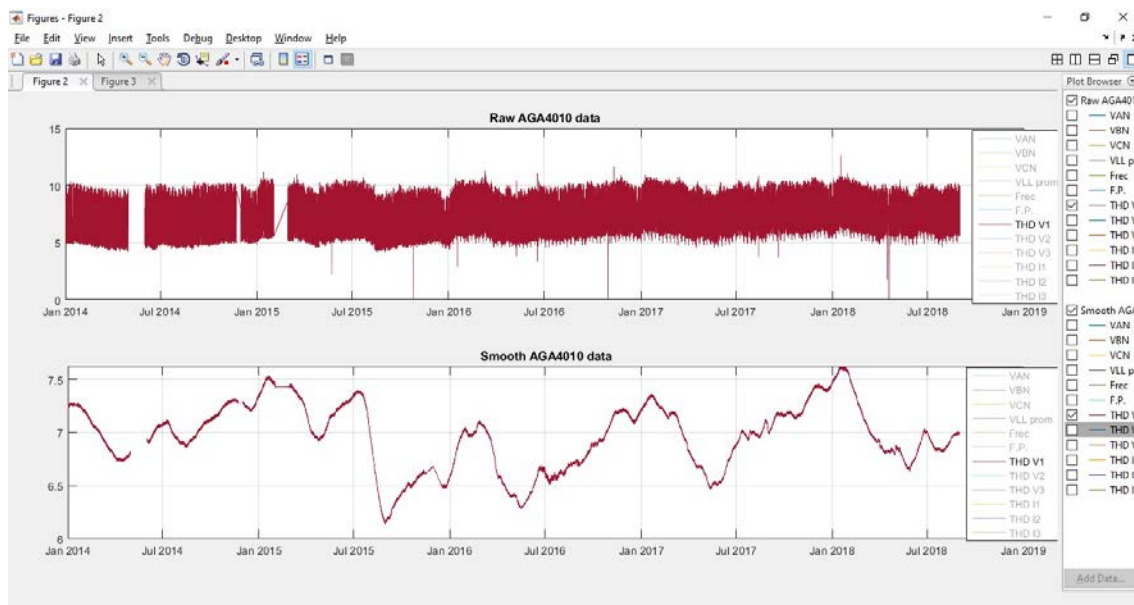


Figura 4.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 de la línea AGA 4010

Finalmente, toda esta información se concreta en una tabla, correspondiente a cada línea de cada subestación, que refleja los valores mínimos, máximos y promedios, a efecto de que pueda obtener un valor numérico que permita delimitar si el mismo se encuentra dentro de la normatividad establecida en el Código de Red u otra norma internacional que pueda ser aplicada de manera supletoria, como se muestra en la tabla 4.1:

AGA4010			
Variable	Maximo	Minimo	Promedio
VAN	8,253.00	303.80	7,901.27
VBN	8,187.90	4.90	7,847.15
VCN	8,216.60	163.10	7,926.01
Vll prom	14,236.00	68.40	13,427.88
Frecuencia	60.12	59.76	59.99
F.P.	1.00	-1.00	0.97
THD V1	12.68	1.78	6.95
THD V2	13.57	1.69	7.19
THD V3	12.94	1.85	6.88
THD I1	17.39	0.22	5.89
THD I2	17.16	0.27	9.65
THD I3	16.72	0.26	8.03

Tabla 4.1: Tabla de resultados de máximos, mínimos y promedio de la línea AGA 1

En los anexos B al L se muestran todas las gráficas de cada una de las líneas de cada subestación correspondientes a las variables de THD en voltaje (V1, V2, V3) y en corriente (I1, I2, I3).

Las tablas correspondientes al análisis estadístico de cada línea, también se pueden consultar en los anexos del B al L.

## 5. CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran las líneas en las cuales los valores promedios sean cercanos o mayores a los límites de las especificaciones de CFE o de las normas internacionales en las ondas de voltaje , ya que si la tendencia es a la alza las líneas cercanas a los valores, en un futuro pueden alcanzarlos o hasta sobrepasarlos.

De acuerdo a la especificación CFE L0000-45 [17], lo cual marca una distorsión armónica total de 6,5 por ciento o de acuerdo a la norma internacional IEEE 519 [16]; el cual determina una distorsión total armónica de 5.0 por ciento como valor máximo permisible. Para este caso de estudio, se toman en cuenta los valores promedios, ya que los medidores que se encuentran en los alimentadores realizan la adquisición de los datos en un intervalo cinco minutil, considerando que no es un comportamiento continuo.

De acuerdo a las gráficas de datos procesados de cada uno de los voltajes; se realizan una comparación en periodos similares de mayo actividad de incremento de armónicos, que dependen del alimentador de cada subestación, de las cuales, sólo se muestran aquellos alimentadores más significativos en donde se pueda observar un incremento progresivo de THD en la onda del voltaje, pudiendo consultar los demás alimentadores en los anexos B al L.

### 5.1 Subestación Agua Santa (AGA)

A continuación se presentan los alimentadores con rangos de THD de la onda de voltaje cercanos o por encima a la normatividad en la Subestación Agua Santa. Sólo se toman 2 alimentadores de la Subestación como muestra, pero el comportamiento del THD en la onda del voltaje de los demás alimentadores se encuentran también fuera de norma y se pueden consultar en el Anexo B.

#### 5.1.1 Alimentador AGA 1

En la tabla 5.1 se muestran los valores de los máximos, mínimos y promedios de las distosiones totales armónicas de las ondas de voltaje.

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.68	1.78	6.95
THD V2	13.57	1.69	7.19
THD V3	12.94	1.85	6.88
THD I1	17.39	0.22	5.89
THD I2	17.16	0.27	9.65
THD I3	16.72	0.26	8.03

Tabla 5.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 1

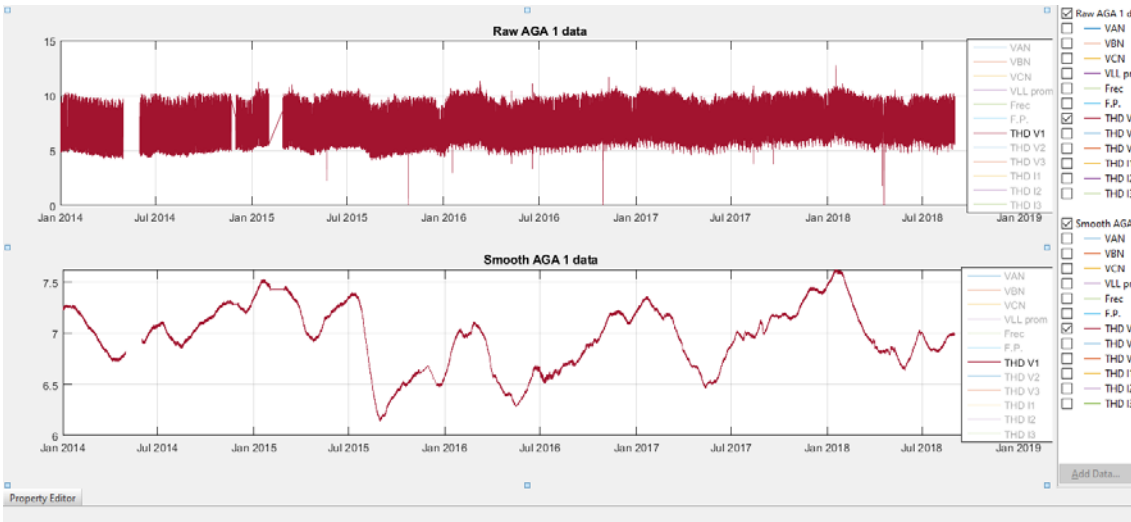


Figura 5.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 1

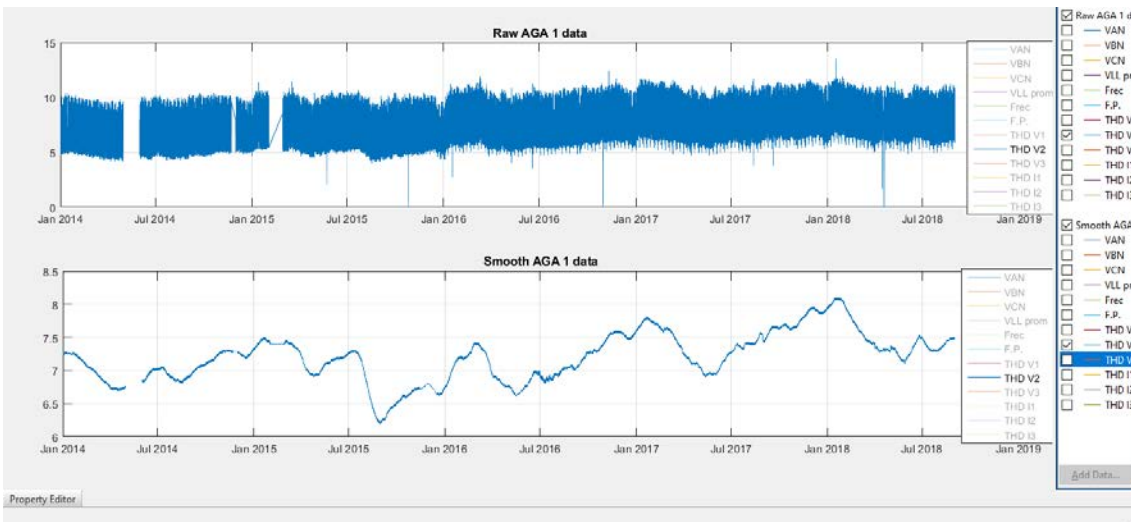


Figura 5.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 1

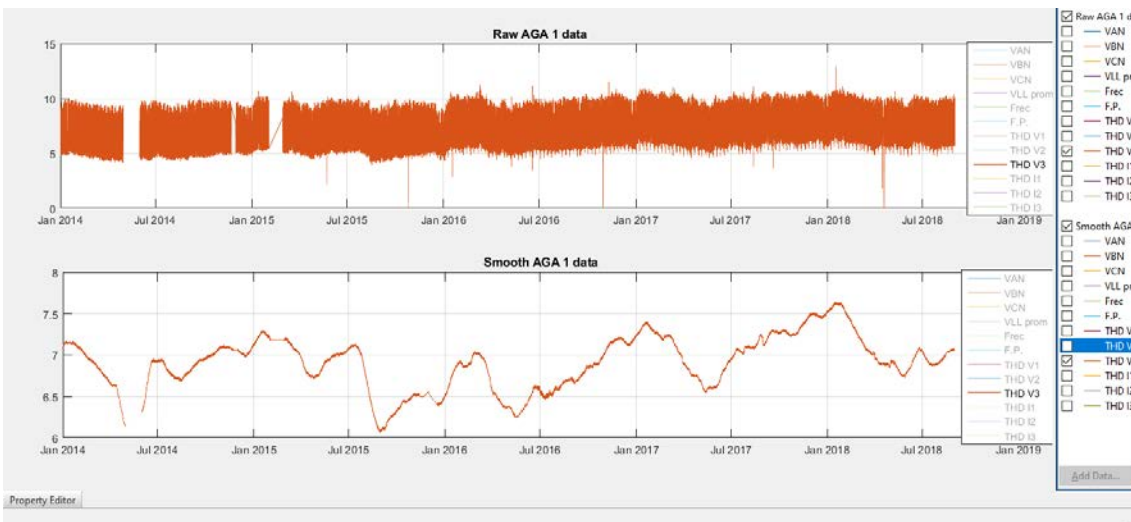


Figura 5.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 1

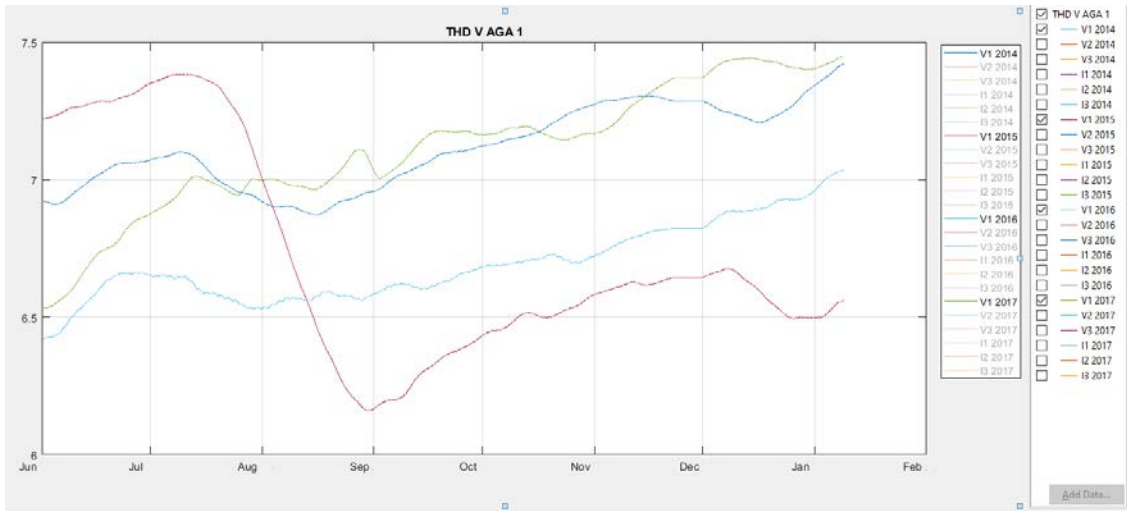


Figura 5.4: Gráfica de periodos de THD V1 alimentador AGA 1

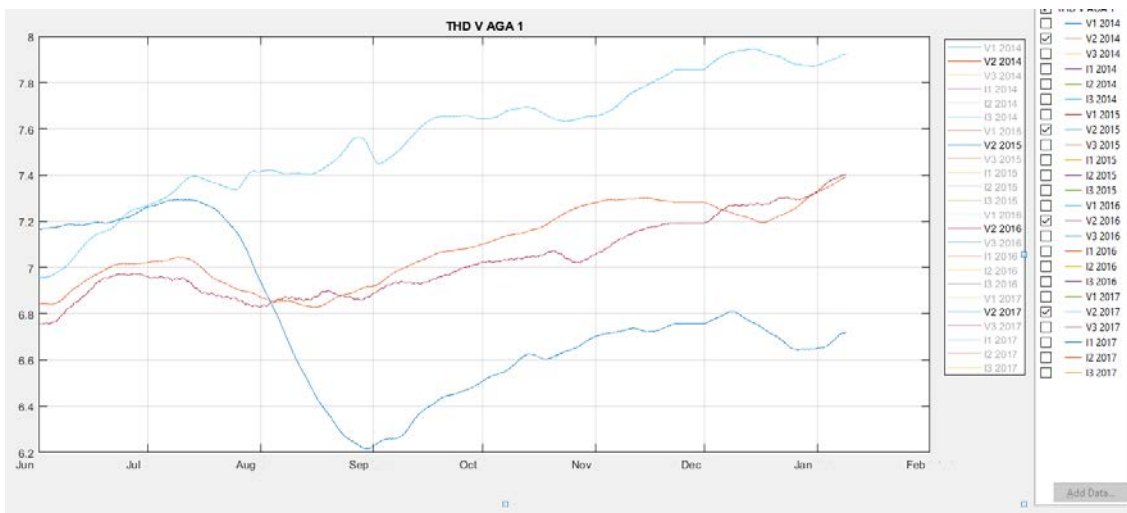


Figura 5.5: Gráfica de periodos de THD V2 alimentador AGA 1

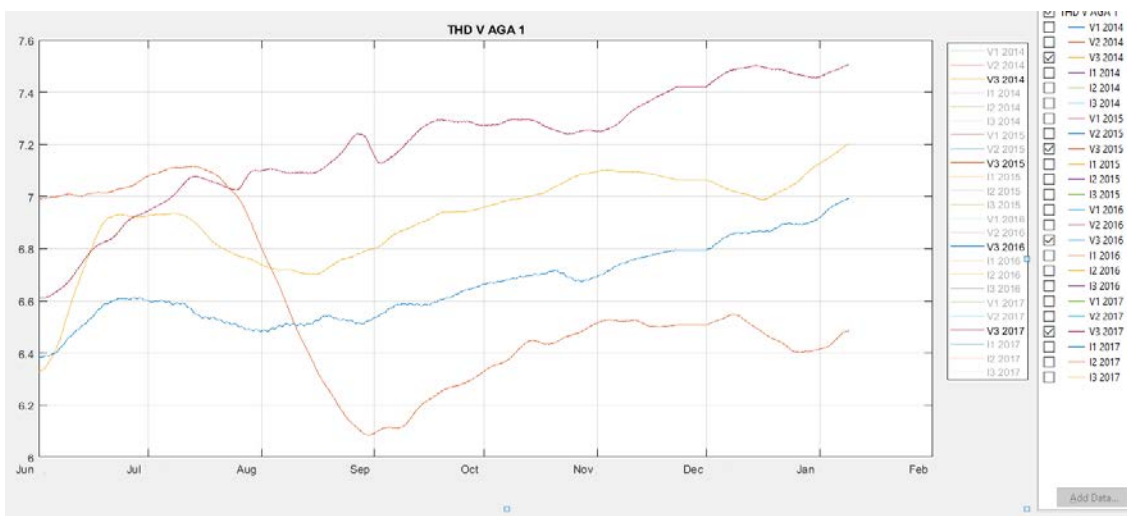


Figura 5.6: Gráfica de periodos de THD V3 alimentador AGA 1

## 5.1.2 Alimentador AGA 2

En la tabla 5.2 se muestran los valores de los máximos, mínimos y promedios de las distorsiones totales armónicas de las ondas de voltaje.

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.75	1.00	6.87
THD V2	13.55	1.00	7.10
THD V3	12.89	1.00	6.82
THD I1	17.45	0.57	9.72
THD I2	18.36	0.61	8.69
THD I3	15.54	0.66	8.69

Tabla 5.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 2

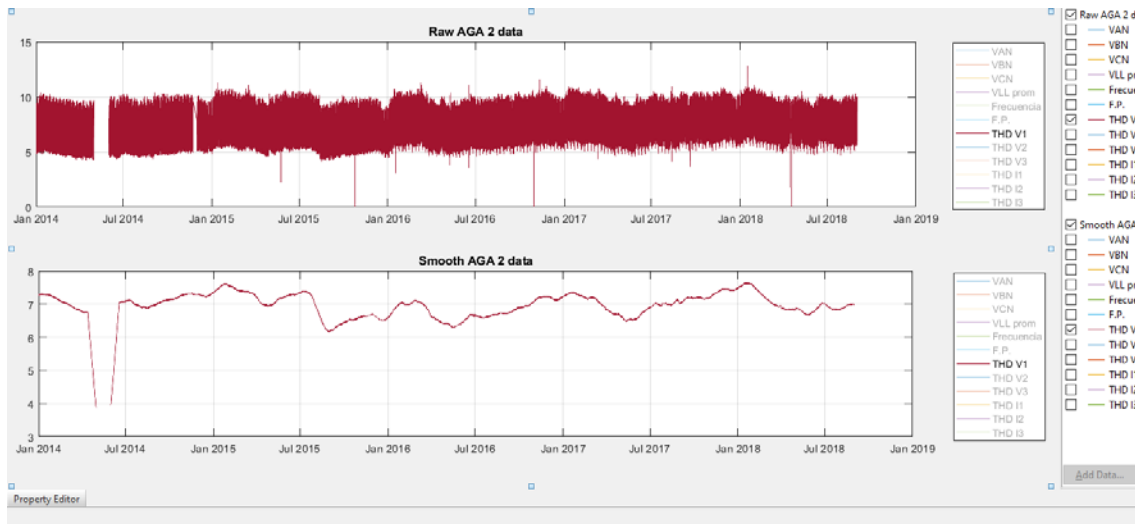


Figura 5.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 2

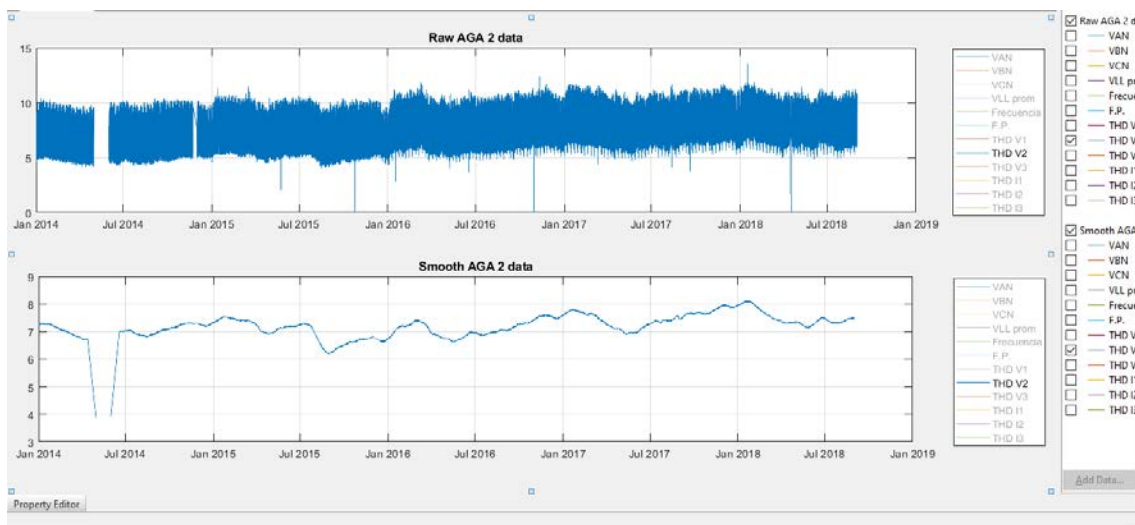
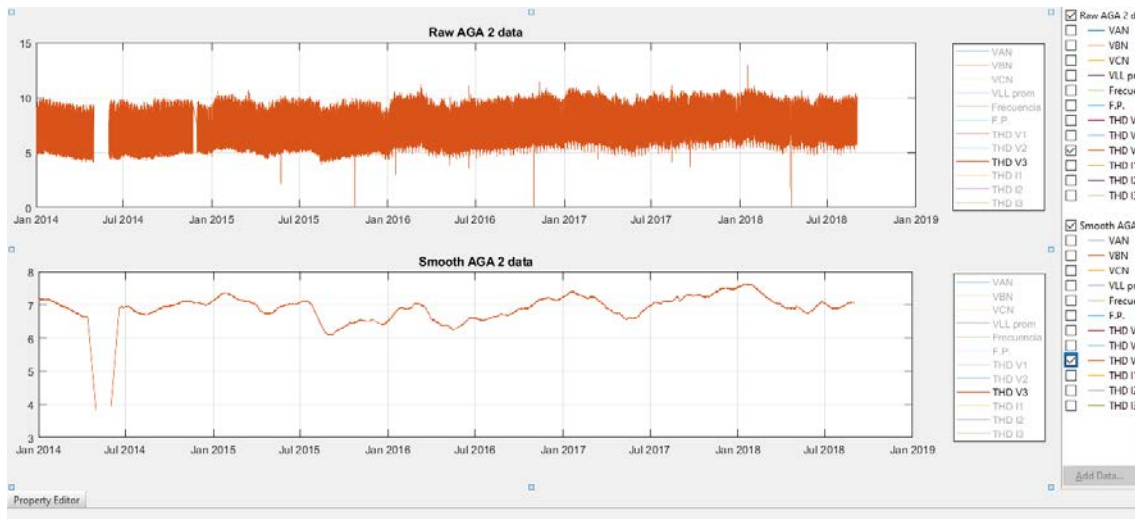
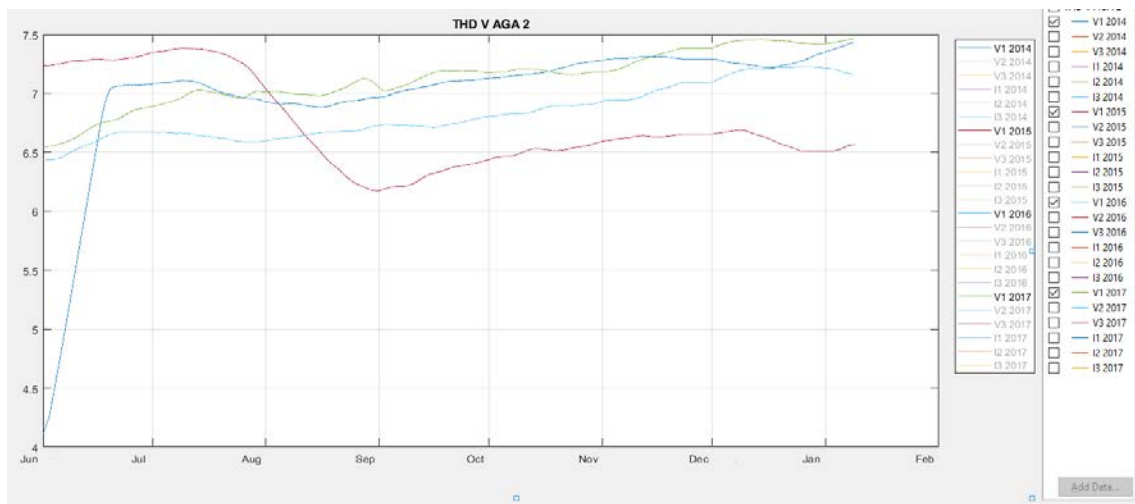


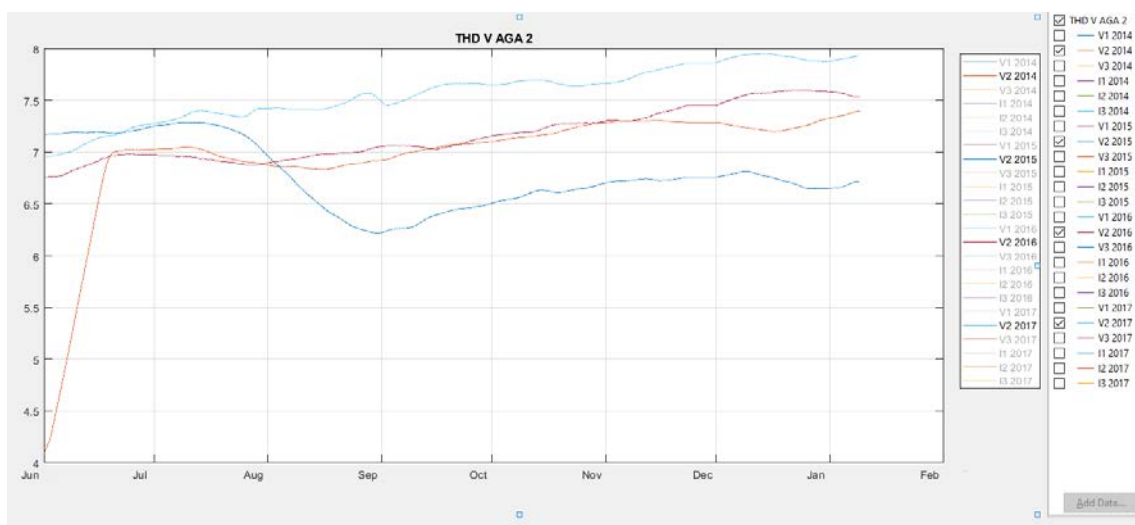
Figura 5.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 2



**Figura 5.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 2**



**Figura 5.10: Gráfica de periodos de THD V1 alimentador AGA 2**



**Figura 5.11: Gráfica de periodos de THD V2 alimentador AGA 2**

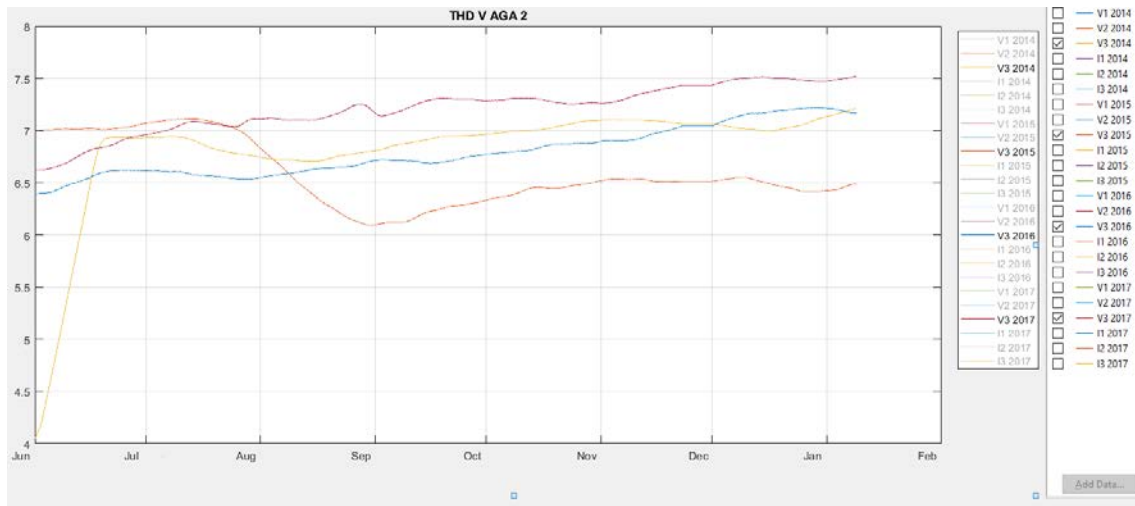


Figura 5.12: Gráfica de periodos de THD V3 alimentador AGA 2

## 5.2 Subestación Bugambillas SF6 (BGS)

A continuación se presentan los alimentadores con rangos de THD cercanos o por encima a la normatividad en la Subestación Bugambillas SF6. Sólo se toman 2 alimentadores de la Subestación como muestra, pero el comportamiento del THD en la onda del voltaje de los demás alimentadores se encuentran también fuera de norma y se pueden consultar en el Anexo D.

### 5.2.1 Alimentador BGS 1

En la tabla 5.3 se muestran los valores de los máximos, mínimos y promedios de las distorsiones totales armónicas de las ondas de voltaje.

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.50	0.24	6.61
THD V2	11.77	0.26	6.61
THD V3	11.64	0.23	6.46
THD I1	16.07	0.00	4.08
THD I2	16.33	0.00	4.27
THD I3	8.02	0.00	3.44

Tabla 5.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 1

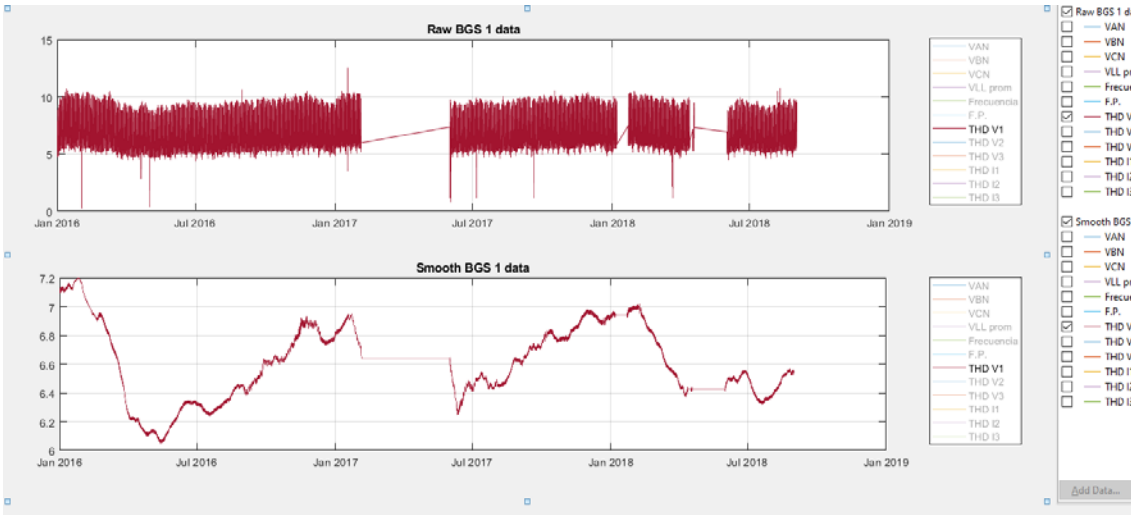


Figura 5.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 6

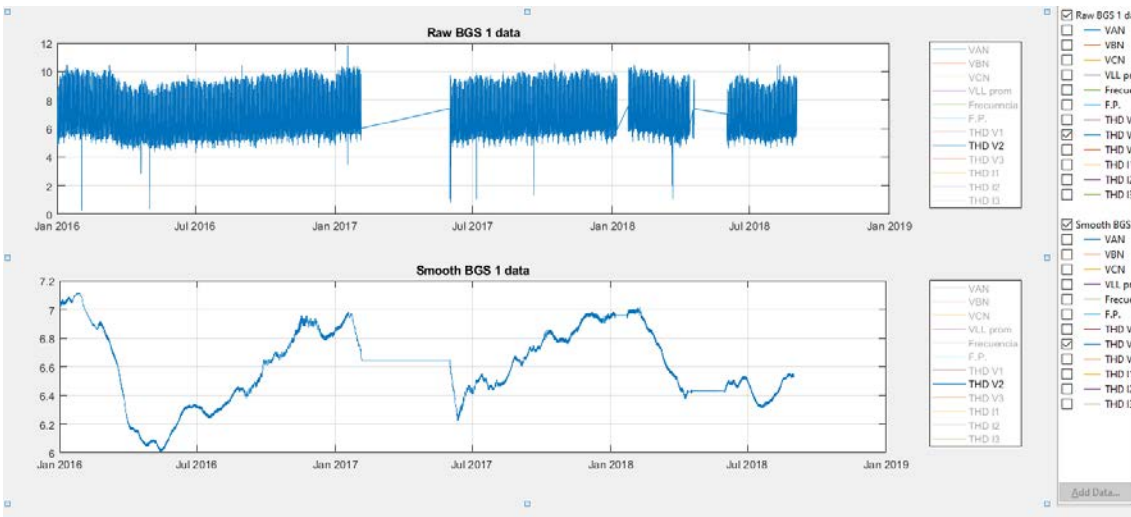


Figura 5.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 1

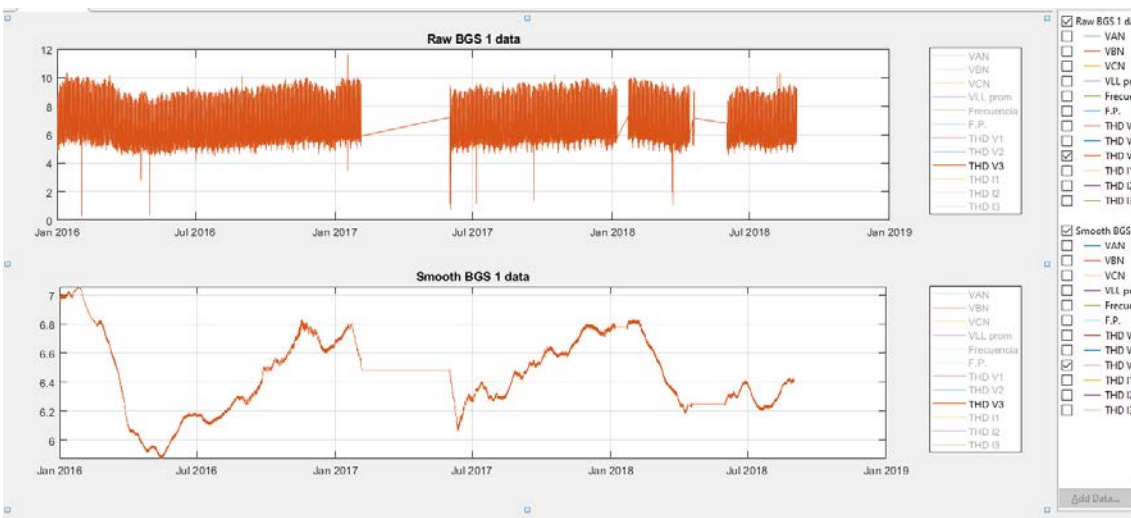


Figura 5.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 1

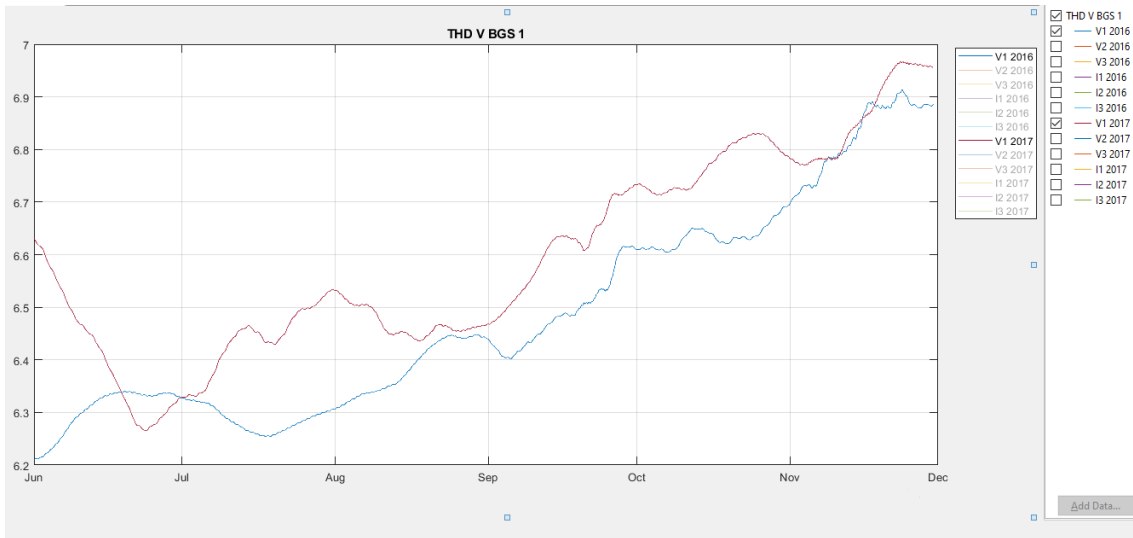


Figura 5.16: Gráfica de periodos de THD V1 alimentador BGS 1

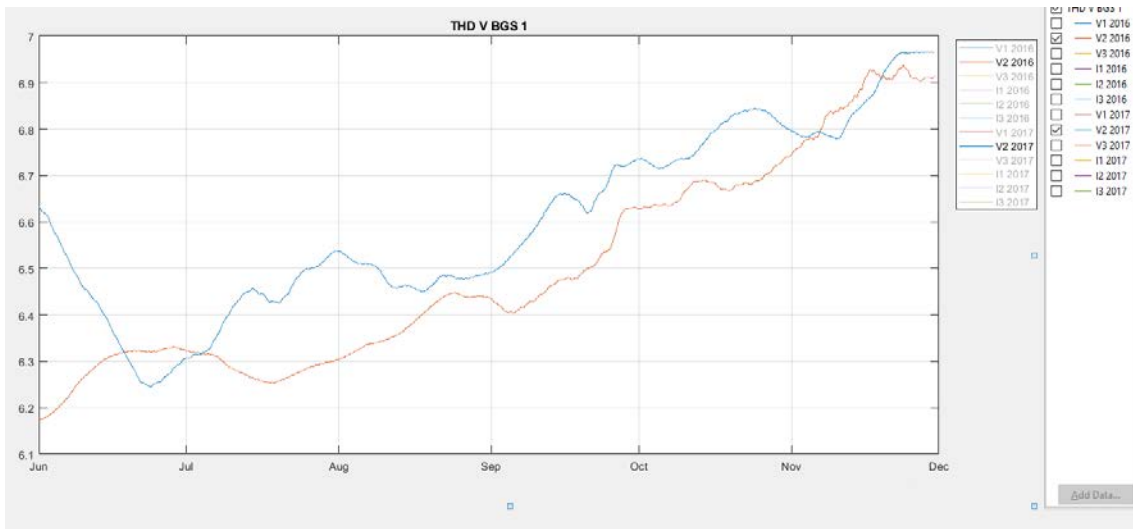


Figura 5.17: Gráfica de periodos de THD V2 alimentador BGS 1

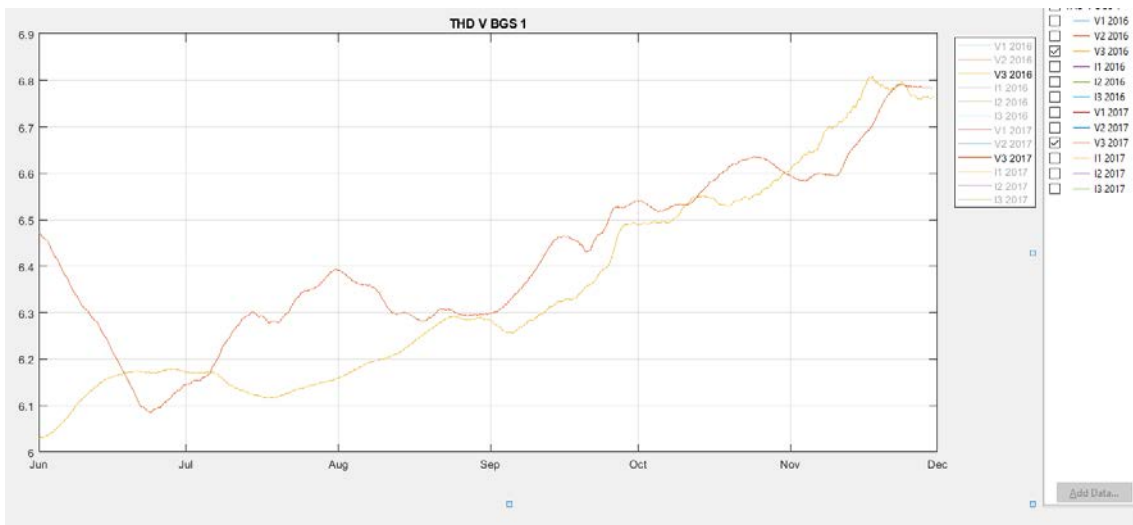


Figura 5.18: Gráfica de periodos de THD V3 alimentador BGS 1

## 5.2.2 Alimentador BGS 2

En la tabla 5.4 se muestran los valores de los máximos, mínimos y promedios de las distorsiones totales armónicas de las ondas de voltaje.

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.57	0.14	6.59
THD V2	11.83	0.15	6.59
THD V3	11.64	0.13	6.43
THD I1	15.62	0.34	4.88
THD I2	13.29	0.37	6.59
THD I3	9.62	0.34	6.54

Tabla 5.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 2

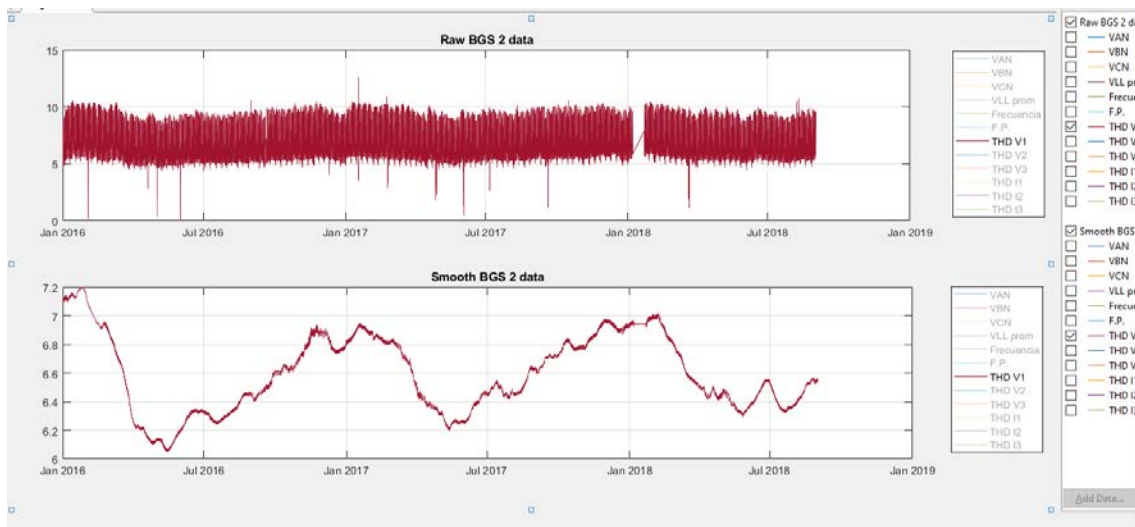


Figura 5.19: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 2

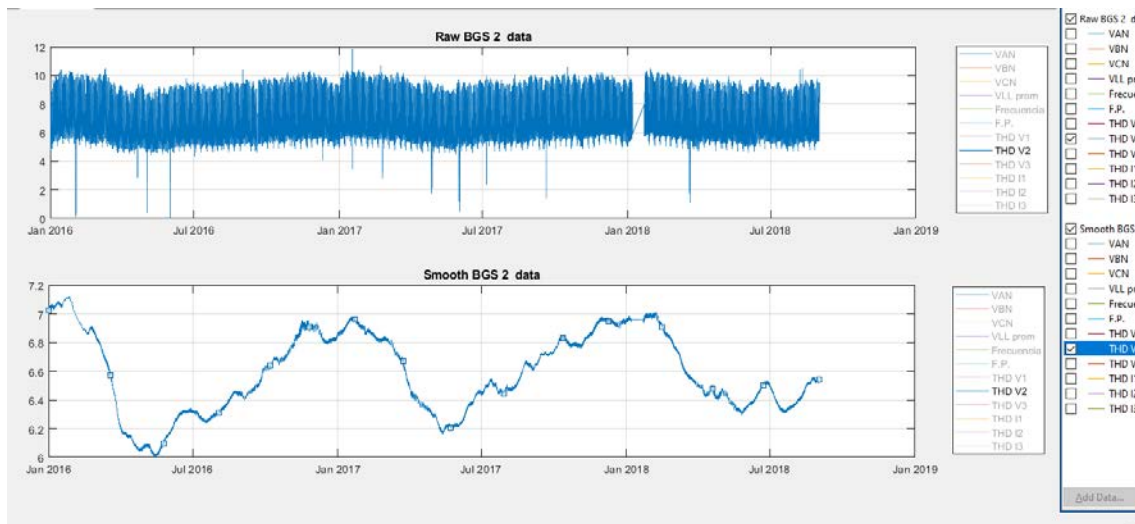
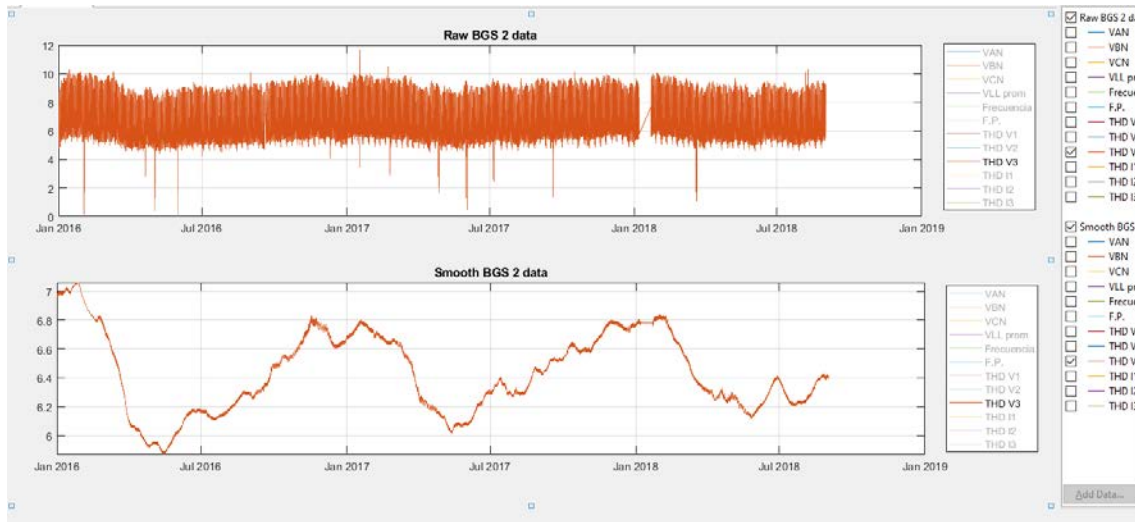
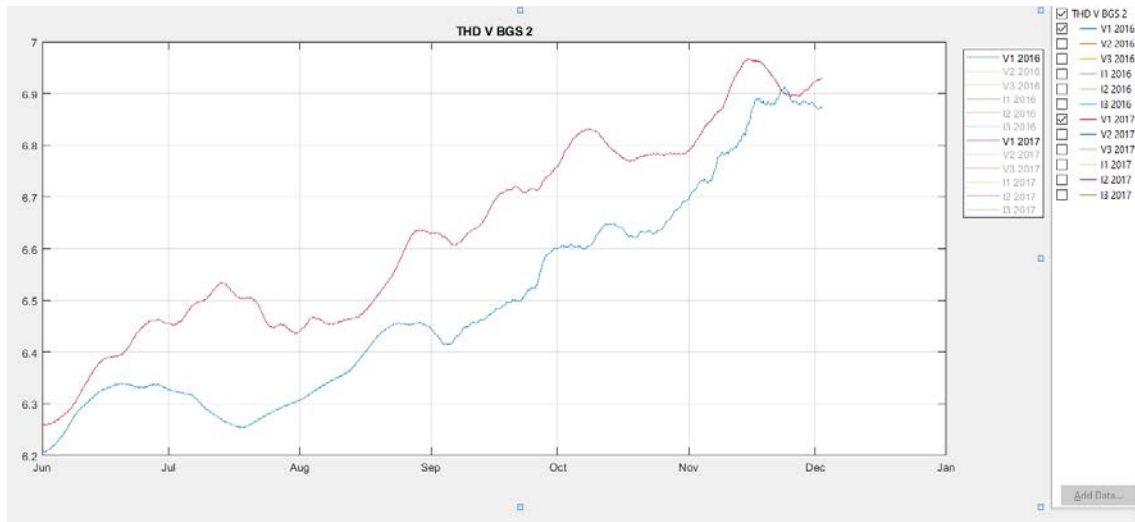


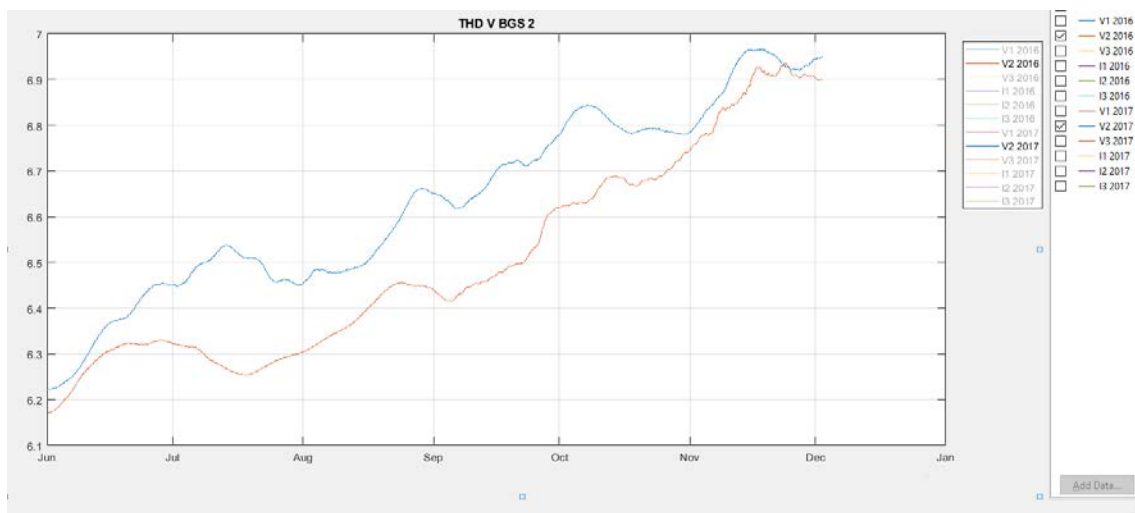
Figura 5.20: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 2



**Figura 5.21: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 2**



**Figura 5.22: Gráfica de periodos de THD V1 alimentador BGS 2**



**Figura 5.23: Gráfica de periodos de THD V2 alimentador BGS 2**

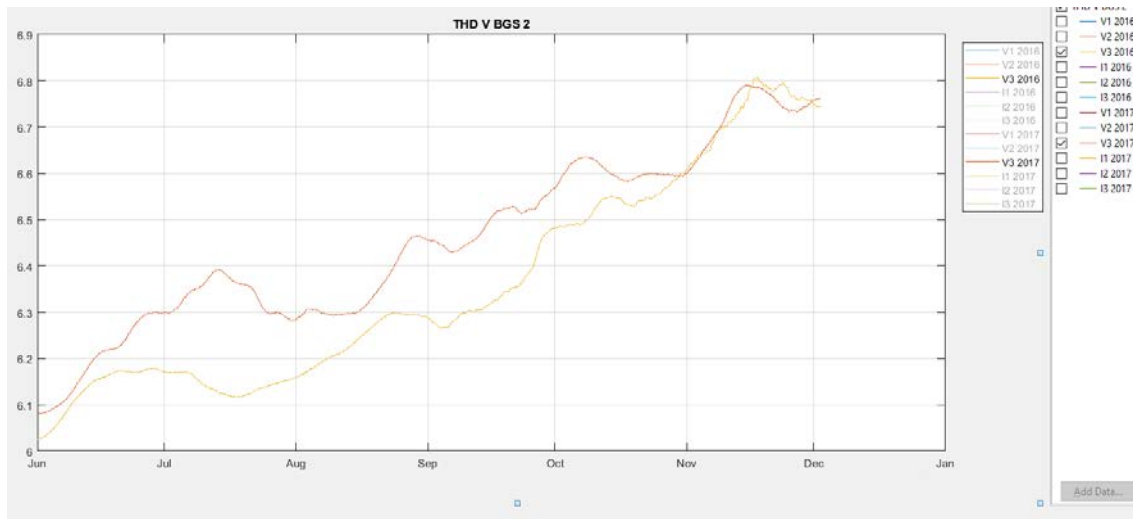


Figura 5.24: Gráfica de periodos de THD V3 alimentador BGS 2

### 5.3 Subestación Cinco de Mayo (CIY)

A continuación se presentan los alimentadores con niveles de THD en la onda de voltaje que van en incremento progresivo de la Subestación Cinco de Mayo, aún cuando se encuentren dentro de las nomas. Sólo se toman 2 alimentadores de la Subestación como muestra, pero el comportamiento del THD en la onda del voltaje de los demás alimentadores se encuentran también fuera de norma y se pueden consultar en el Anexo G.

#### 5.3.1 Alimentador CIY 1

En la tabla 5.5 se muestran los valores de los máximos, mínimos y promedios de las distorsiones totales armónicas de las ondas de voltaje.

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.61	0.33	3.26
THD V2	8.59	0.34	3.21
THD V3	8.61	0.33	3.24
THD I1	13.88	0.35	10.09
THD I2	12.79	0.33	8.95
THD I3	14.25	0.33	10.05

Tabla 5.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 1

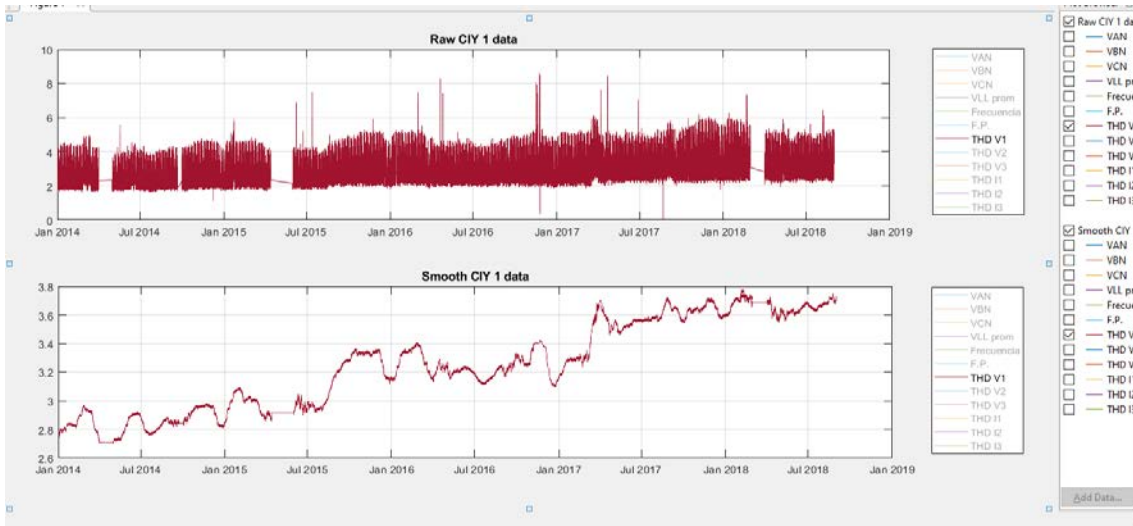


Figura 5.25 Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 1

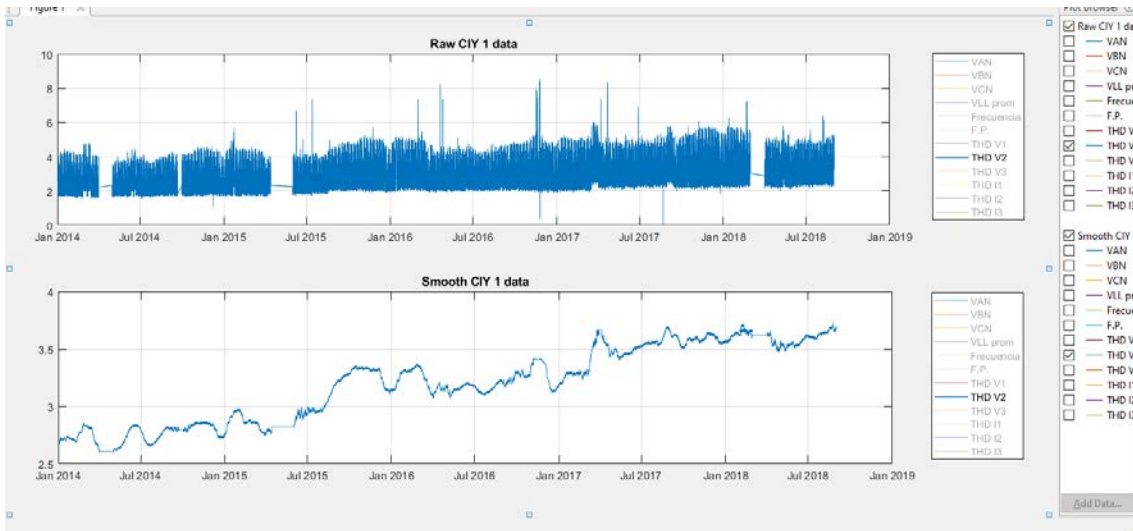


Figura 5.26: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 1

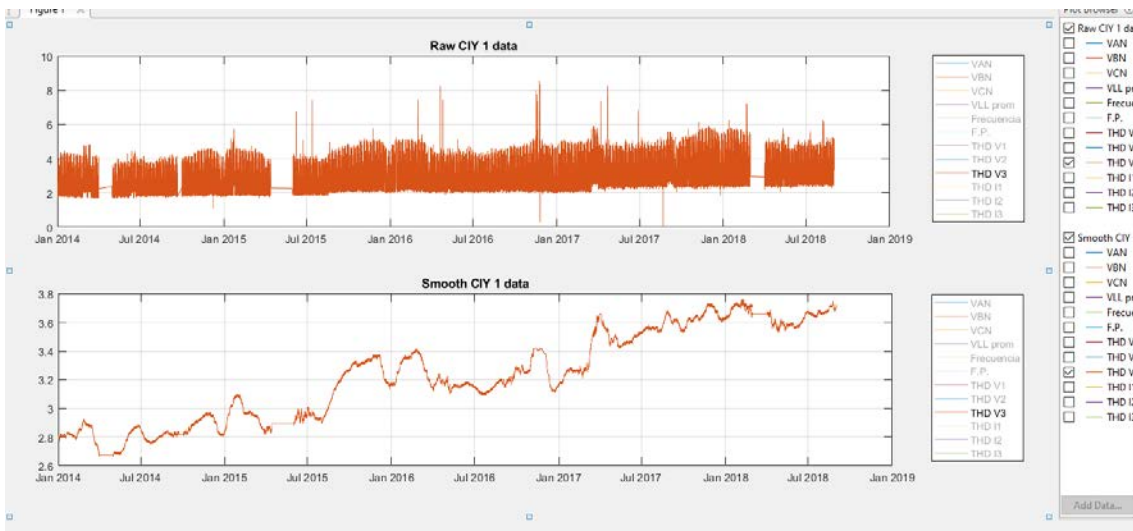


Figura 5.27: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 1

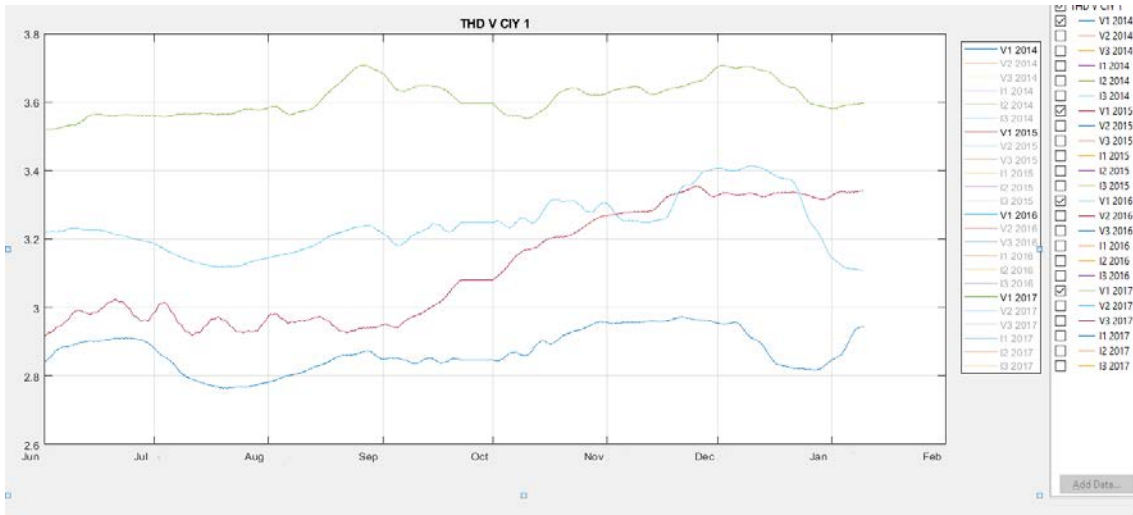


Figura 5.28: Gráfica de periodos de THD V1 alimentador CIY 1

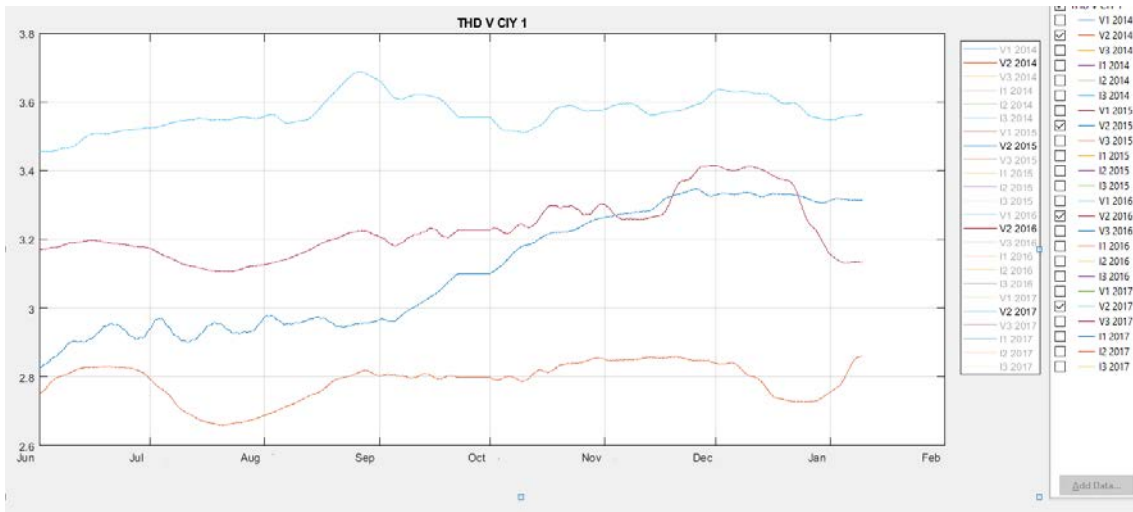


Figura 5.29: Gráfica de periodos de THD V2 alimentador CIY 1

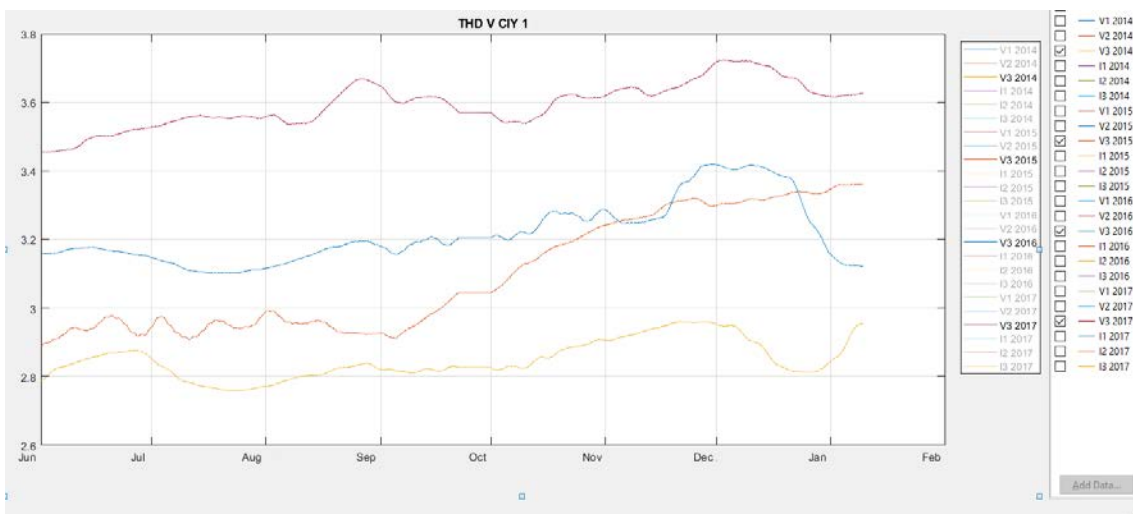


Figura 5.30: Gráfica de periodos de THD V3 alimentador CIY 1

### 5.3.2 Alimentador CIY 4

En la tabla 5.6 se muestran los valores de los máximos, mínimos y promedios de las distorsiones totales armónicas de las ondas de voltaje.

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.61	0.21	3.53
THD V2	8.59	0.20	3.48
THD V3	8.60	0.21	3.51
THD I1	19.91	1.41	14.66
THD I2	18.56	1.43	14.54
THD I3	20.48	1.67	15.83

Tabla 5.6: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 4

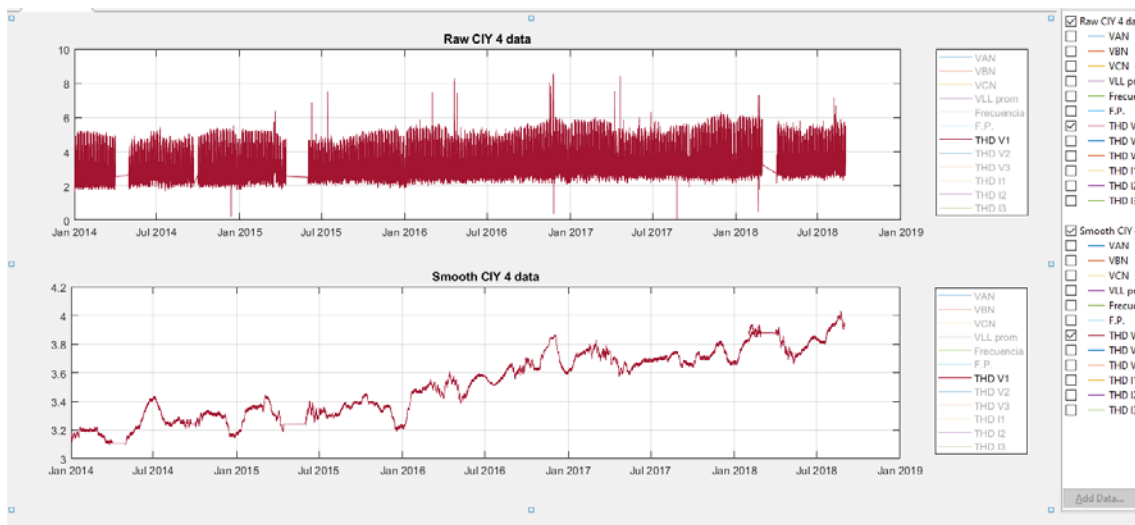


Figura 5.31: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 4

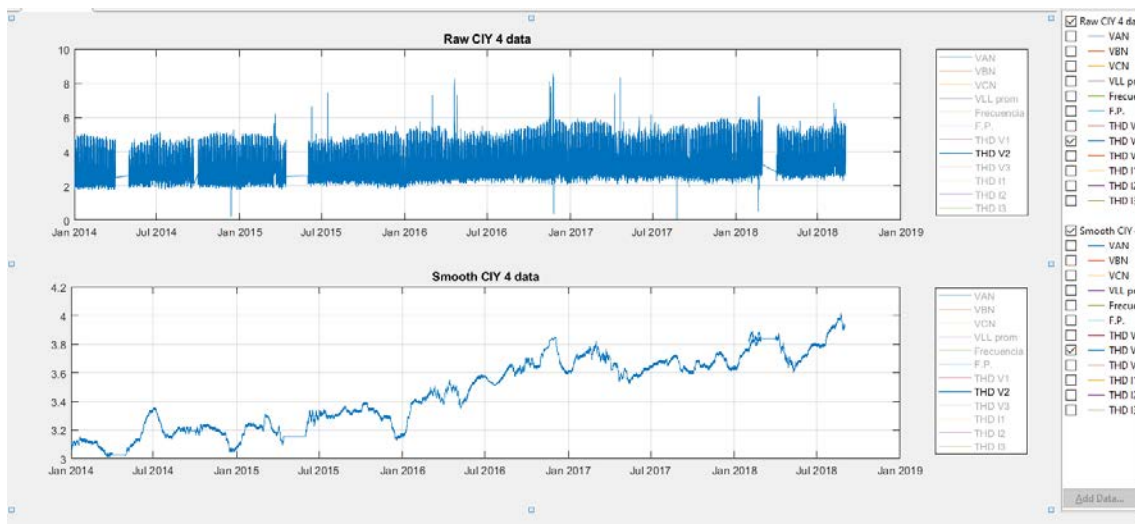


Figura 5.32: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 4

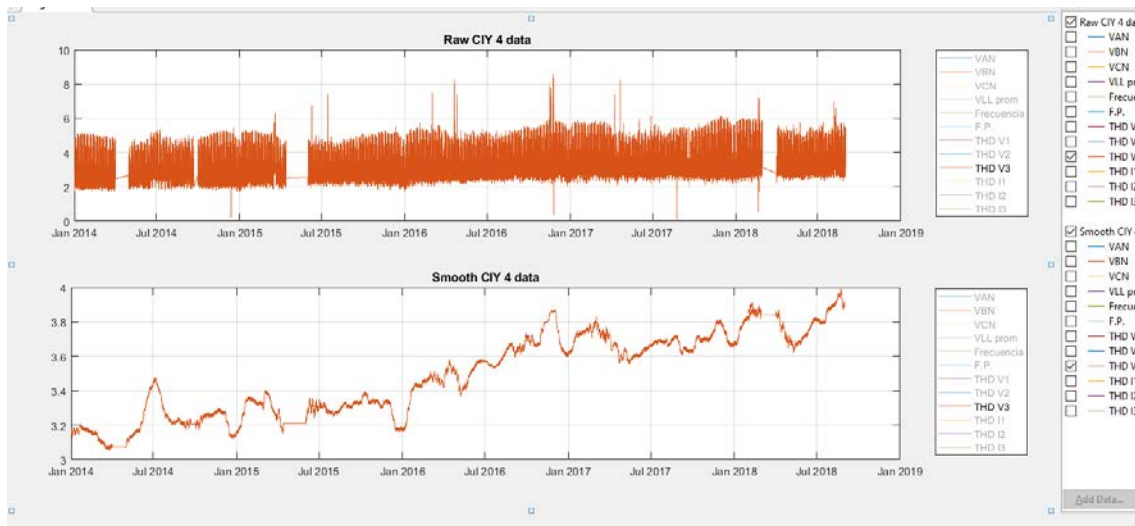


Figura 5.33: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 4

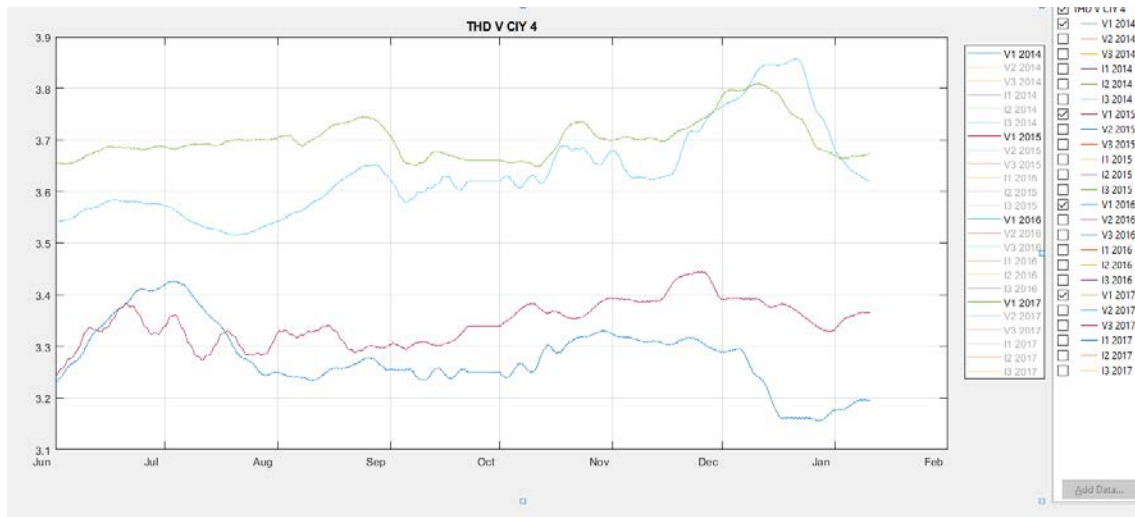


Figura 5.34: Gráfica de periodos de THD V1 alimentador CIY 4

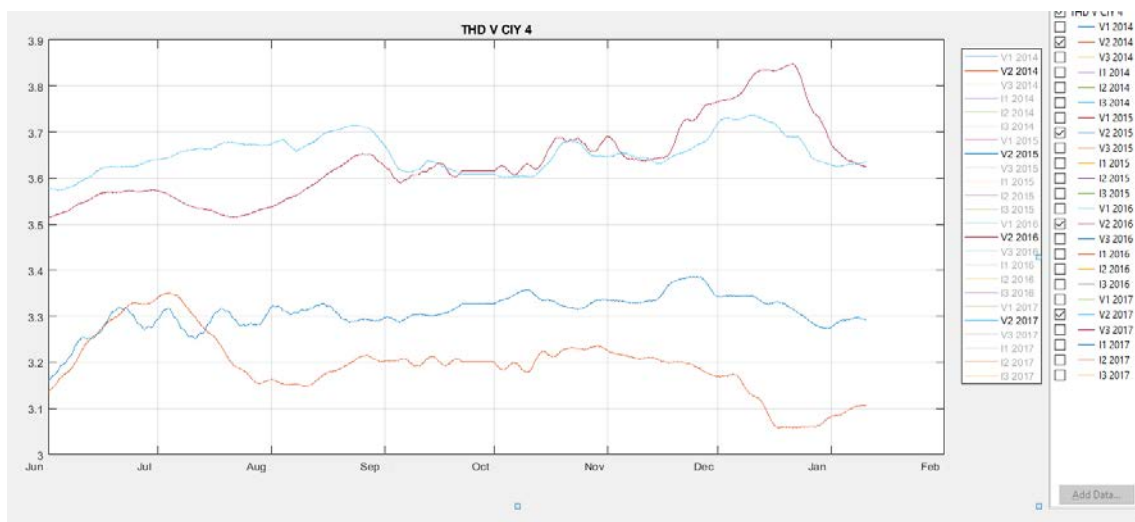


Figura 5.35: Gráfica de periodos de THD V2 alimentador CIY 4

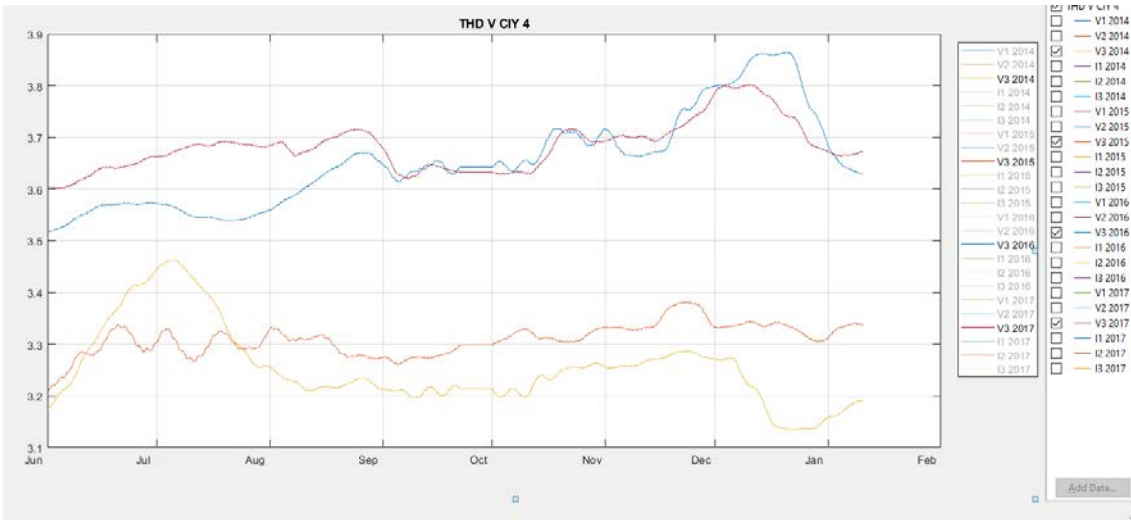


Figura 5.36: Gráfica de periodos de THD V3 alimentador CIY 4

## 6. Conclusiones

Una vez desarrolladas las bases de datos, mismas que integran las gráficas correspondientes, a carga mayormente doméstica, es necesario especificar que se analizó el periodo de julio a enero de distintos años, obteniendo así las conclusiones que a continuación, de manera enunciativa más no limitativa, se puede apreciar:

- Los alimentadores estudiados a lo largo del desarrollo de la presente tesis, son de clientes que en su mayoría poseen un uso doméstico y a su vez, aquellos con pequeñas tiendas de autoservicio (tiendas de conveniencia, farmacias, y demás), utilizando cargas no lineales como son la iluminación LED, focos de luz ahorradores, electrodomésticos, equipos de cómputo, etc.
- De acuerdo a las gráficas de periodos de los alimentadores, el periodo de mayor actividad de THD en la onda de voltaje se generó durante los meses de enero, debido a la disminución de horas de luz natural, lo cual provoca una necesidad para o usuarios de un uso más recurrente de la luz artificial durante más horas en el día.
- Cabe mencionar, que en la actualidad, se observa que la gran mayoría de los usuarios utiliza tecnología de luces ahorradoras y de iluminación LED, pantallas LED, redes de comunicaciones celular, mismas que propicia el incremento antes referido.
- Se indentifican aquellos alimentadores que se encuentran muy cercanos o fuera de rango de acuerdo a la normatividad internacional, IEEE 519, y a las especificaciones nacionales CFE L0000-45, que marcan un límite de THD en la onda de voltaje de 5.0 y 6.5 respectivamente en los alimentadores AGA 1 hasta AGA 6 y de los alimentadores BGS 1 al BGS 7.
- Las Subestaciones AGA y BGS, son Subestaciones relativamente de recién construcción en la periferia de la ciudad de Puebla, por lo cual se puede observar que tienen un alto contenido armónico en la onda de voltaje; debido a que esas colonias también son de recién construcción y cuentan con iluminación artificial de focos ahorradores y con tecnología LED en su mayoría.
- Sin embargo, la Subestación CIY se encuentra encuentra en zona Centrica, de la cual se puede observar de las gráficas que año con año hay un incremento del nivel de THD en la onda de voltaje, debido a la migración de las tecnologías de iluminación de focos incandescentes a focos ahorradores o de tecnología LED.
- Por otro lado, es importante mencionar que en el Estado de Puebla, materia del presente estudio, rara vez se tiene dentro de las casas habitación la utilización de aire acondicionado o calefactores, siendo el

tipo de carga predominante y con mayor horas de uso, la de la iluminación artificial.

- Se puede asumir que el mismo comportamiento se está presentando en los alimentadores de la División de Distribución Centro Oriente con características similares a los casos de estudio analizados, así como en las demás divisiones del país.
- La tendencia anterior implica una transferencia de recursos del distribuidor hacia soluciones para la disminución de contenido de distorsión armónica en las subestaciones de distribución.

### **Recomendaciones para estudios futuros:**

- De la presente investigación, es preciso determinar que en un futuro, será necesaria la creación de una normatividad, la cual regule los niveles de THD generados en los equipos de iluminación por parte de los fabricantes integrando filtros en los mismos para la disminución de componentes armónicos.
- Implementación de filtros de armónicos por parte del distribuidor en aquellos alimentadores ya identificados que se encuentran fuera de las especificaciones nacionales o normas internacionales.
- Para trabajos futuros, es importante mencionar que los medidores de los alimentadores toman lecturas instantáneas y con muestreo de cada 10 minutos, motivo por el cual, sería importante realizar un estudio con un analizador de calidad de la energía de Clase D para obtener más muestreos en aquellos alimentadores ya identificados con un THD en la onda de voltaje fuera de norma.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Siti Mariam Mohd Shokri, et all. "A Direct Approach Used for Solving the Distribution System and Harmonic Load Flow Solutions", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 17, NO. 2, APRIL 2002.
- [2] N. R. Nashad, M. J. Islam, et all. "A Simplistic Mathematical Approach for Detection and Classification of Power Quality Events", International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), February 16-18, 2017, Cox's Bazar, Bangladesh
- [3] J. Schlabbach, D. Blume and T. Stephanblome, Voltage Quality in Electric Power Systems pag. 46 Cap. 2, IEE Power and Energy Series 36 The Institution of Electrical Engineers.
- [4] <http://www.cenace.gob.mx/Docs/MarcoRegulatorio/AcuerdosCRE/Resoluci3n%20151%202016%20C3digo%20de%20Red%20DOF%202016%2004%2008.pdf>
- [5] <https://www.cfe.mx/Pages/Index.aspx>
- [6] M.Jawad Ghorbani, H. Mokhtari, "Impact of Harmonics on Power Quality and Losses in Power Distribution Systems", Dept. of CDEE, West Viginia University, Morgantown,WV, USA, Accepted Jan 10, 2015
- [7] Ciro Martinez Bencardino, Estadística B3sica Aplicada, Cuarta Edici3n, Ecoe ediciones.
- [8] Enr3quez Harper, Elementos de Dise1o de Subestaciones El3ctricas, Primera edici3n , Editorial Limusa.
- [9] Elmasri Ramez, Fundamentals of Database Systems, Sexta Edici3n, editorial Addison-Wesley.
- [10] Rafael Camps Par3, et all. Base de datos, Primera Edici3n, Fundaci3 per a la Universitat Oberta de Catalunya
- [11] Abraham Silberschatz, et all. Database System Concepts, Sexta Edici3n, editorial Mc Graw Hill
- [12] [https://es.mathworks.com/help/matlab/learn\\_matlab/product-description.html](https://es.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html)
- [13] Pagina de intranet de CFE, SIMOCE
- [14] [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5432507&fecha=08/04/2016](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432507&fecha=08/04/2016)
- [15] C. Sankaran, Power Quality, CRC Press 2002

[16] IEEE 519 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems

[17] Especificación CFE L0000-45 Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de Energía Eléctrica

[18] Mohammad A. S. Masoum, et all. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines, Second Edition, editorial AP

[19] Holly Moore, MATLAB for Engineer, Third Edition, editorial Pearson

## 8. ANEXO A Códigos de programación

### Código de exportación de datos de Excel a MATLAB

```
function Enero = importfile(filename, startRow, endRow)
%IMPORTFILE Import numeric data from a text file as a matrix.
% ENERO = IMPORTFILE(FILENAME) Reads data from text file FILENAME for the
% default selection.
%
% ENERO = IMPORTFILE(FILENAME, STARTROW, ENDROW) Reads data from
rows
% STARTROW through ENDROW of text file FILENAME.
%
% Example:
% Enero = importfile('01_Enero.csv', 2, 35485);
%
% See also TEXTSCAN.
% Auto-generated by MATLAB on 2018/12/06 19:43:22
%% Initialize variables.
delimiter = ',';
if nargin<=2
    startRow = 2;
    endRow = inf;
end
%% Read columns of data as strings:
% For more information, see the TEXTSCAN documentation.
formatSpec =
'%s%s*s%s*s%s%s%s*s%s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s*s
%s*s*s%s%s%s%s%s%s%s%[\n\r]';
%% Open the text file.
fileID = fopen(filename,'r');
%% Read columns of data according to format string.
% This call is based on the structure of the file used to generate this
% code. If an error occurs for a different file, try regenerating the code
% from the Import Tool.
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, endRow(1)-startRow(1)+1, 'Delimiter',
delimiter, 'HeaderLines', startRow(1)-1, 'ReturnOnError', false);
for block=2:length(startRow)
    frewind(fileID);
    dataArrayBlock = textscan(fileID, formatSpec, endRow(block)-
startRow(block)+1, 'Delimiter', delimiter, 'HeaderLines', startRow(block)-1,
'ReturnOnError', false);
    for col=1:length(dataArray)
        dataArray{col} = [dataArray{col};dataArrayBlock{col}];
    end
end
end
```

```

%% Close the text file.
fclose(fileID);
%% Convert the contents of columns containing numeric strings to numbers.
% Replace non-numeric strings with NaN.
raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
for col=1:length(dataArray)-1
    raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
end
numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
for col=[1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
    % Converts strings in the input cell array to numbers. Replaced non-numeric
    % strings with NaN.
    rawData = dataArray{col};
    for row=1:size(rawData, 1);
        % Create a regular expression to detect and remove non-numeric prefixes and
        % suffixes.
        regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>{[-
]*(\d+[\,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1}[-+]*\d*[i]{0,1})|{[-
]*(\d+[\,]*)*[\.]{1,1}\d+[eEdD]{0,1}[-+]*\d*[i]{0,1}})(?<suffix>.*?);
        try
            result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
            numbers = result.numbers;

            % Detected commas in non-thousand locations.
            invalidThousandsSeparator = false;
            if any(numbers==' ');
                thousandsRegExp = '^ \d+?(\, \d{3})* \. {0,1} \d* $';
                if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
                    numbers = NaN;
                    invalidThousandsSeparator = true;
                end
            end
            % Convert numeric strings to numbers.
            if ~invalidThousandsSeparator;
                numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
                numericData(row, col) = numbers{1};
                raw{row, col} = numbers{1};
            end
        catch me
        end
    end
end

% Convert the contents of column with dates to serial date numbers using
% date format string (datetime).
for row=1:length(dataArray{2})
    try

```

```
        numericData(row, 2) = datenum(dataArray{2}{row}, 'dd/mm/yyyy HH:MM');
        raw{row, 2} = numericData(row, 2);
    catch me
    end
end
%% Replace non-numeric cells with NaN
R = cellfun(@(x) ~isnumeric(x) && ~islogical(x),raw); % Find non-numeric cells
raw(R) = {NaN}; % Replace non-numeric cells
%% Create output variable
Enero = cell2mat(raw);
```

## Código para el filtrado, ordenamiento y media móvil de cada uno de los alimentadores

```
a1=AGA73380;
```

```
e1=find(ex01_2014=a1);  
AGA4010_1=ex01_2014(e1(1):e1(end),:);  
e01=find(ex01_2015=a1);  
AGA4010_01=ex01_2015(e01(1):e01(end),:);  
e001=find(ex01_2016=a1);  
AGA4010_001=ex01_2016(e001(1):e001(end),:);  
e0001=find(ex01_2017=a1);  
AGA4010_0001=ex01_2017(e0001(1):e0001(end),:);  
e00001=find(ex01_2018=a1);  
AGA4010_00001=ex01_2018(e00001(1):e00001(end),:);
```

```
AGA4010=[AGA4010_1;AGA4010_2;AGA4010_3;AGA4010_4;AGA4010_5;AGA4010_6;  
AGA4010_7;AGA4010_8;AGA4010_9;AGA4010_10;AGA4010_11;AGA4010_12;
```

```
AGA4010_01;AGA4010_02;AGA4010_03;AGA4010_04;AGA4010_05;AGA4010_06;  
AGA4010_07;AGA4010_08;AGA4010_09;AGA4010_010;AGA4010_011;AGA4010_012;
```

```
AGA4010_001;AGA4010_002;AGA4010_003;AGA4010_004;AGA4010_005;AGA4010_006;AG  
A4010_007;AGA4010_008;AGA4010_009;AGA4010_0010;AGA4010_0011;AGA4010_0012;
```

```
AGA4010_0001;AGA4010_0002;AGA4010_0003;AGA4010_0004;AGA4010_0005;AGA4010_00  
06;AGA4010_0007;AGA4010_0008;AGA4010_0009;AGA4010_00010;AGA4010_00011;AGA4  
010_00012;
```

```
AGA4010_00001;AGA4010_00002;AGA4010_00003;AGA4010_00004;AGA4010_00005;AGA4  
010_00006;AGA4010_00007;AGA4010_00008;];
```

```
c1=smooth(AGA4010(:,3:14),'movmean',1000);  
s_AGA4010=[AGA4010(:,2) c1];
```

## Código para graficar los datos brutos y los datos procesados

```
ax1=subplot(2,1,1)

plot(AGA4010.time,AGA4010.VAN,AGA4010.time,AGA4010.VBN,AGA4010.time,AGA4010.VCN,AGA4010.time,AGA4010.VLLprom,AGA4010.time,AGA4010.frecuencia,AGA4010.time,AGA4010.FP,AGA4010.time,AGA4010.THdv1,AGA4010.time,AGA4010.THdv2,AGA4010.time,AGA4010.THdv3,AGA4010.time,AGA4010.THDI1,AGA4010.time,AGA4010.THDI2,AGA4010.time,AGA4010.THDI3)
title(ax1,'Raw AGA4010 data')
legend(ax1,{'VAN','VBN','VCN','VLL prom','Frecuencia','F.P.','THD V1','THD V2','THD V3','THD I1','THD I2','THD I3'},'Location','northeastoutside','NumColumns',1)
grid on

ax2=subplot(2,1,2)

plot(s_AGA4010.time,s_AGA4010.VAN,s_AGA4010.time,s_AGA4010.VBN,s_AGA4010.time,s_AGA4010.VCN,s_AGA4010.time,s_AGA4010.VLLprom,s_AGA4010.time,s_AGA4010.frecuencia,s_AGA4010.time,s_AGA4010.FP,s_AGA4010.time,s_AGA4010.THdv1,s_AGA4010.time,s_AGA4010.THdv2,s_AGA4010.time,s_AGA4010.THdv3,s_AGA4010.time,s_AGA4010.THDI1,s_AGA4010.time,s_AGA4010.THDI2,s_AGA4010.time,s_AGA4010.THDI3)
title(ax2,'Smooth AGA4010 data')
legend(ax2,{'VAN','VBN','VCN','VLL prom','Frecuencia','F.P.','THD V1','THD V2','THD V3','THD I1','THD I2','THD I3'},'Location','northeastoutside','NumColumns',1)
grid on

clear ax1 ax2
```

## Código para tabla de estadísticas de cada alimentador

```
Estadistica={'VAN','VBN','VCN','VLL prom','Frecuencia','F.P.','THD V1','THD V2','THD V3','THD I1','THD I2','THD I3'};
Maximo=[max(x1(:,1));max(x1(:,2));max(x1(:,3));max(x1(:,4));max(x1(:,5));max(x1(:,6));max(x1(:,7));max(x1(:,8));max(x1(:,9));max(x1(:,10));max(x1(:,11));max(x1(:,12))];
Minimo=[min(x1(:,1));min(x1(:,2));min(x1(:,3));min(x1(:,4));min(x1(:,5));min(x1(:,6));min(x1(:,7));min(x1(:,8));min(x1(:,9));min(x1(:,10));min(x1(:,11));min(x1(:,12))];
Promedio=[mean(x1(:,1));mean(x1(:,2));mean(x1(:,3));mean(x1(:,4));mean(x1(:,5));mean(x1(:,6));mean(x1(:,7));mean(x1(:,8));mean(x1(:,9));mean(x1(:,10));mean(x1(:,11));mean(x1(:,12))];

T=table(Maximo,Minimo,Promedio,'RowNames',Estadistica)

writetable(T,'C:\Users\mikha\OneDrive\Documentos\Tablas MATLAB\INT52020.xls')
```

## 9. ANEXO B Subestación Agua Santa

## Alimentador AGA 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.68	1.78	6.95
THD V2	13.57	1.69	7.19
THD V3	12.94	1.85	6.88
THD I1	17.39	0.22	5.89
THD I2	17.16	0.27	9.65
THD I3	16.72	0.26	8.03

Tabla 9.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 1

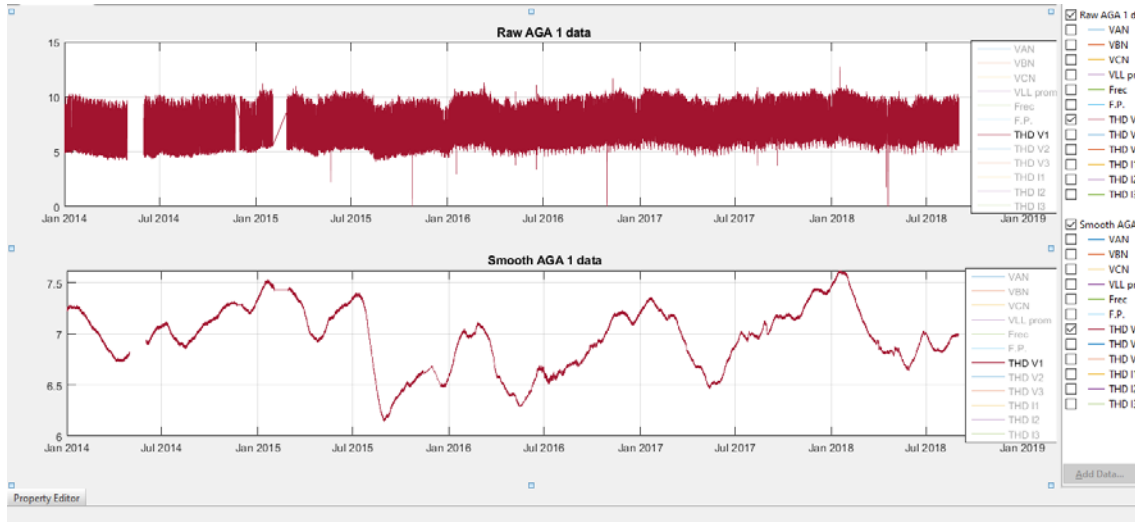


Figura 9.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 1

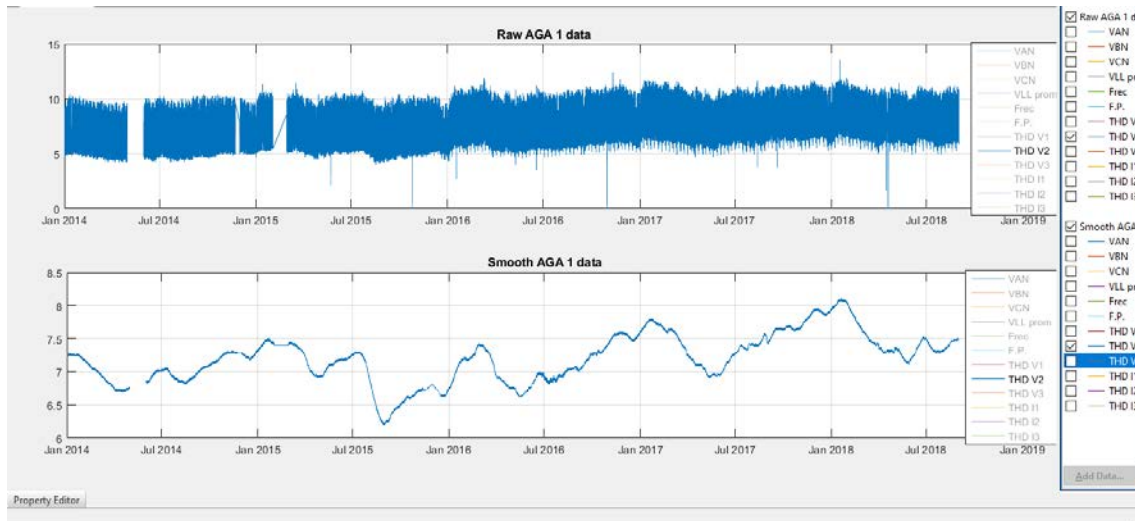


Figura 9.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 1

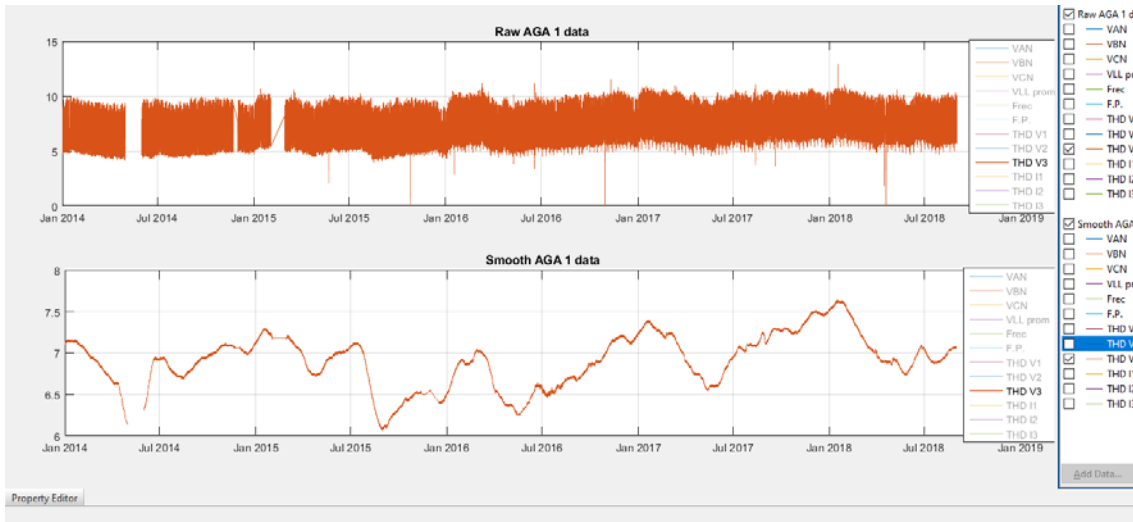


Figura 9.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 1

## Alimentador AGA 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.75	1.00	6.87
THD V2	13.55	1.00	7.10
THD V3	12.89	1.00	6.82
THD I1	17.45	0.57	9.72
THD I2	18.36	0.61	8.69
THD I3	15.54	0.66	8.69

Tabla 9.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 2

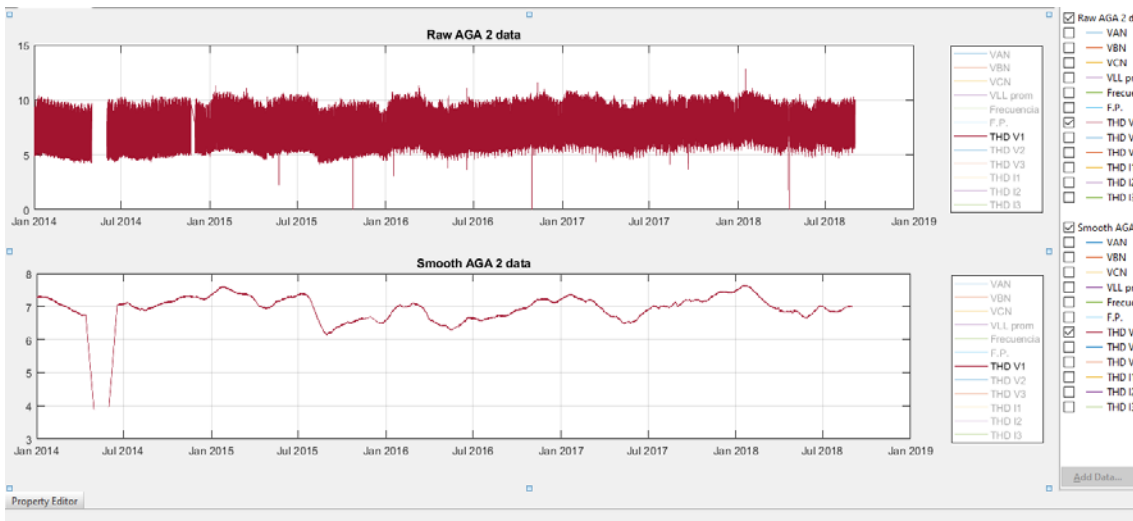


Figura 9.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 2

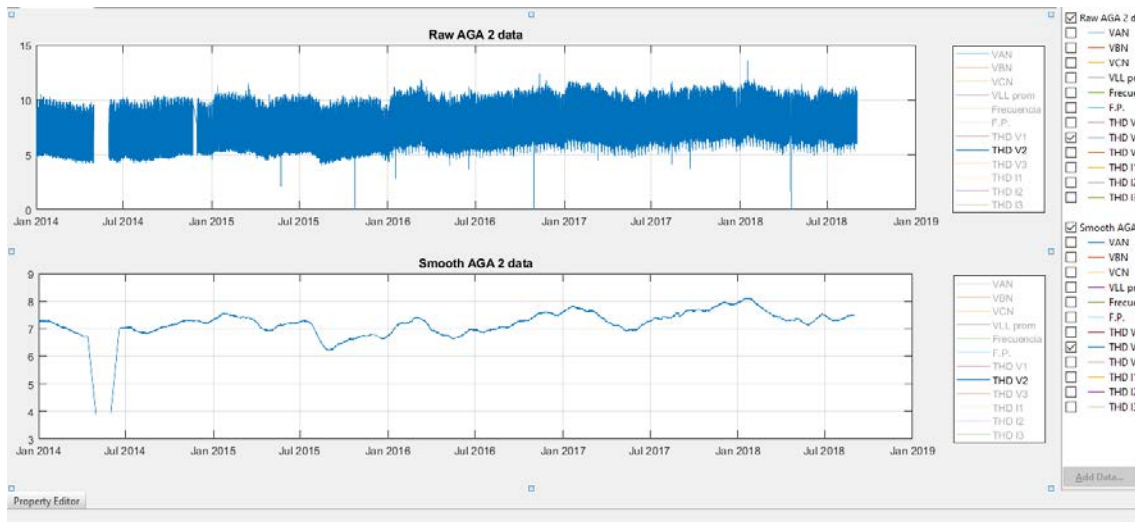


Figura 9.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 2

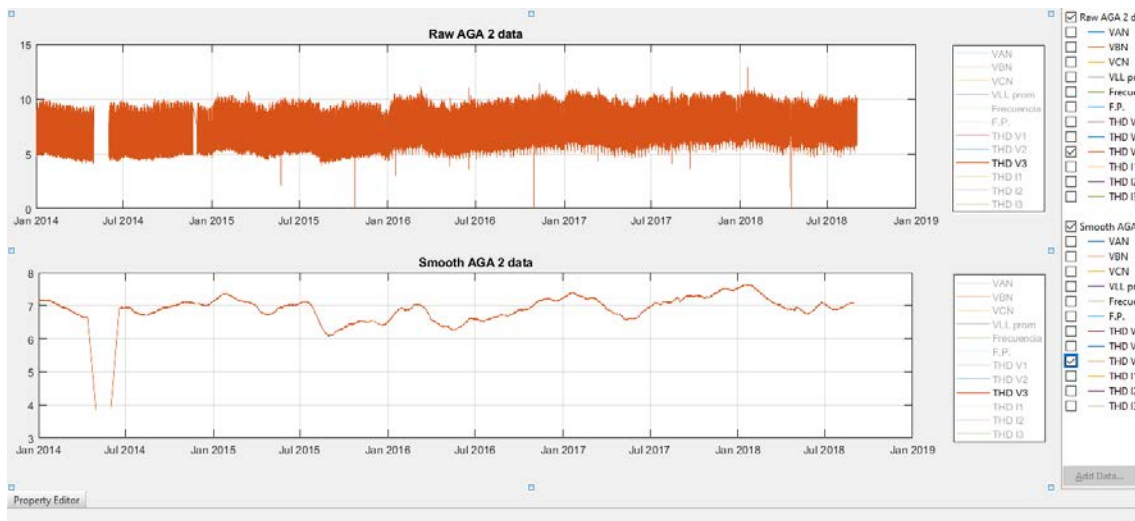


Figura 9.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 2

### Alimentador AGA 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.56	1.00	7.09
THD V2	12.92	1.00	6.81
THD V3	12.69	1.00	6.85
THD I1	99.37	0.25	9.73
THD I2	75.88	0.21	9.23
THD I3	51.12	0.13	8.06

Tabla 9.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 3

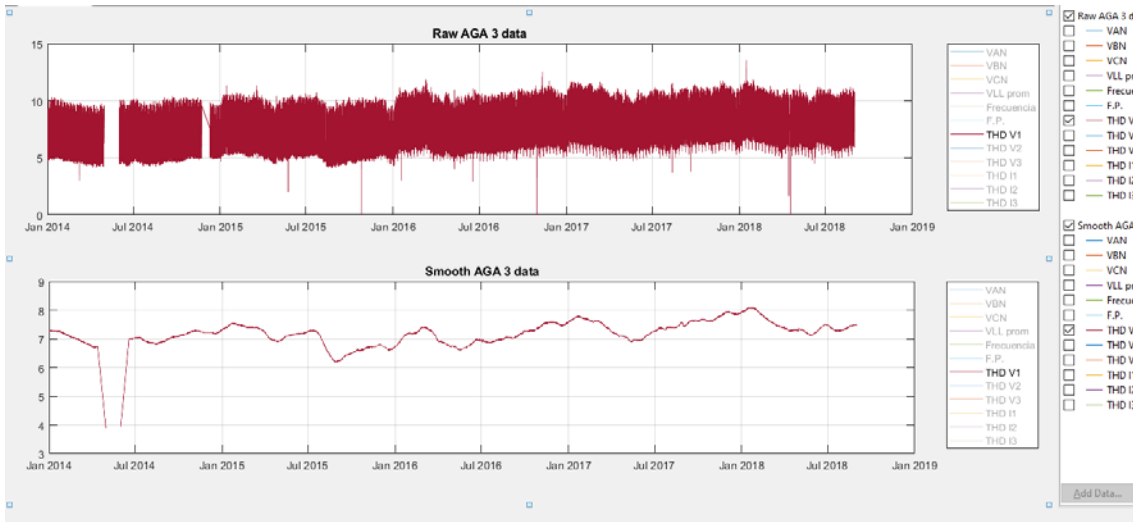


Figura 9.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 3

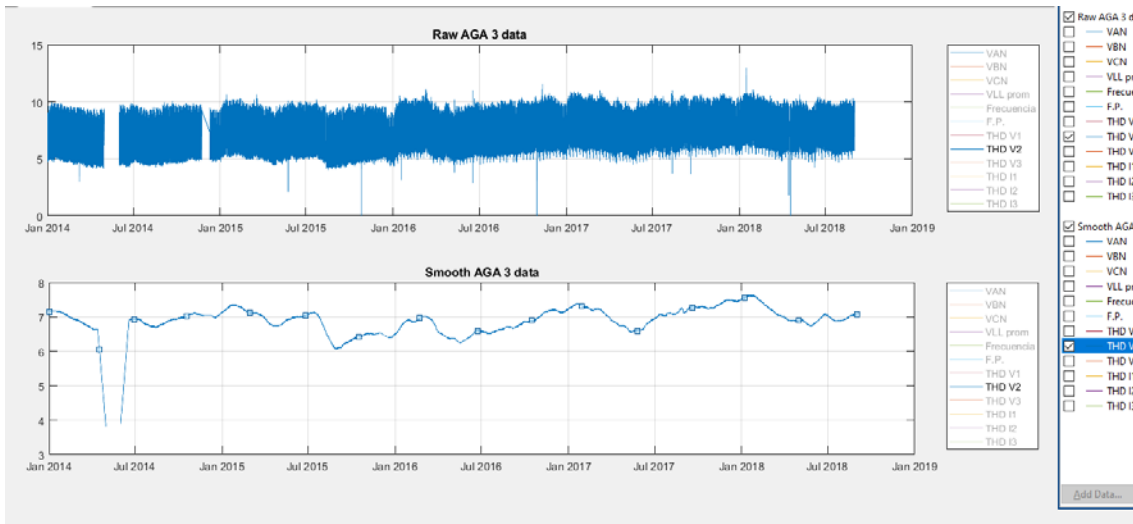


Figura 9.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 3

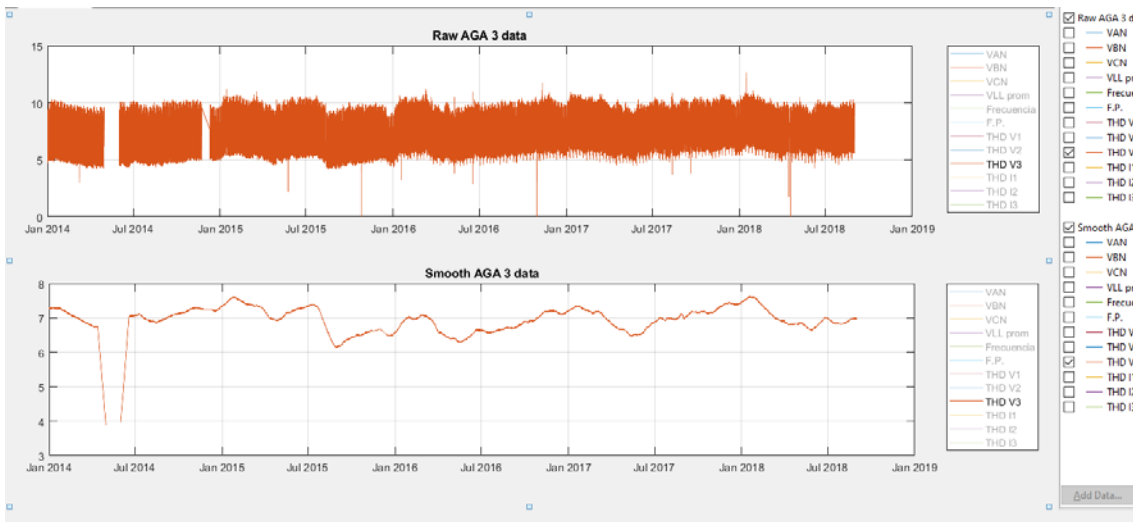


Figura 9.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 3

## Alimentador AGA 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.71	1.00	6.88
THD V2	13.55	1.00	7.09
THD V3	12.90	1.00	6.80
THD I1	17.49	0.86	10.59
THD I2	19.56	0.98	12.05
THD I3	20.51	0.96	11.89

Tabla 9.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 4

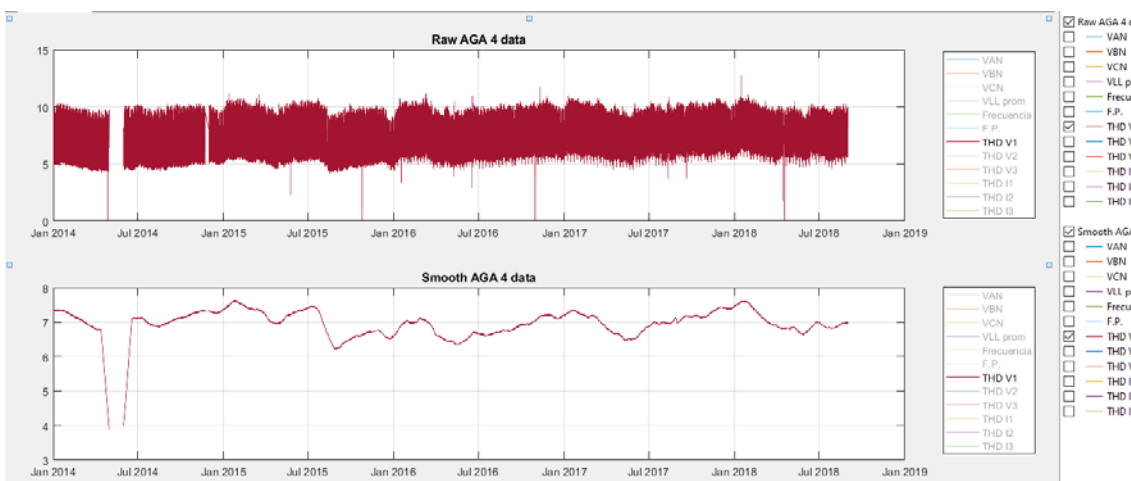


Figura 9.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 4

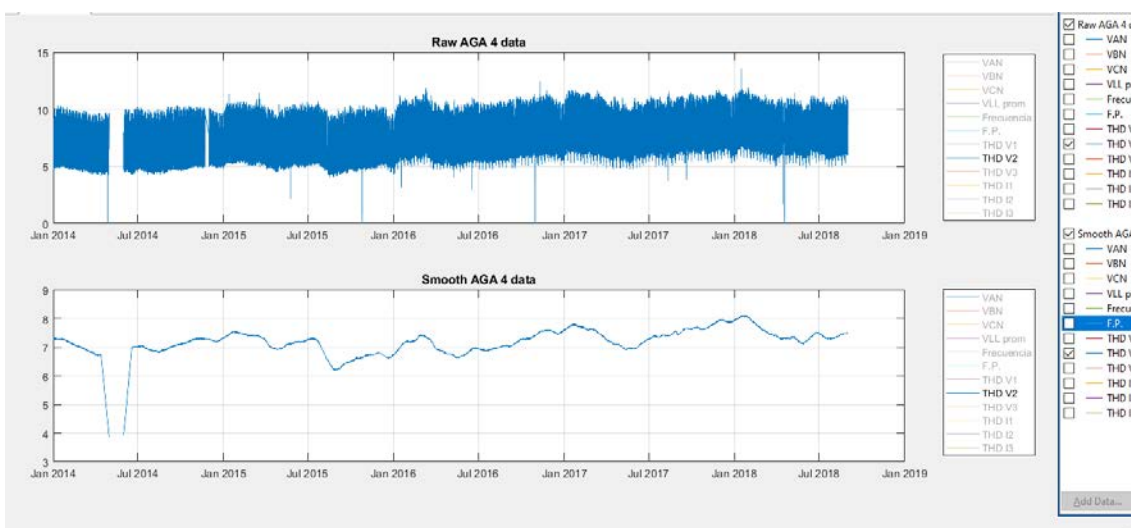


Figura 9.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 4

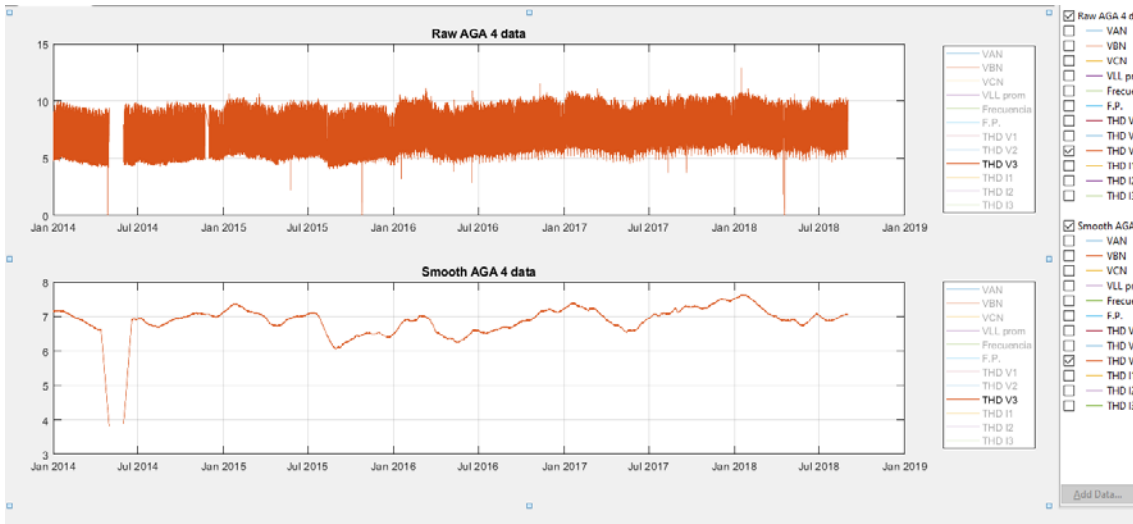


Figura 9.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 4

### Alimentador AGA 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.53	1.00	7.09
THD V2	12.91	1.00	6.81
THD V3	12.72	1.00	6.89
THD I1	20.94	0.04	10.40
THD I2	22.20	0.03	11.03
THD I3	20.20	0.04	9.77

Tabla 9.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 5

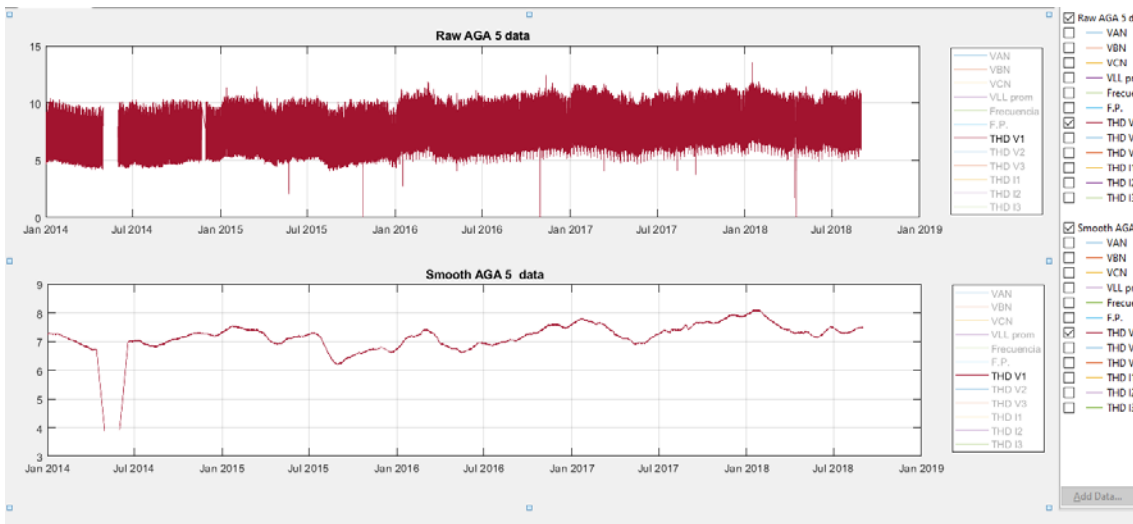


Figura 9.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 5

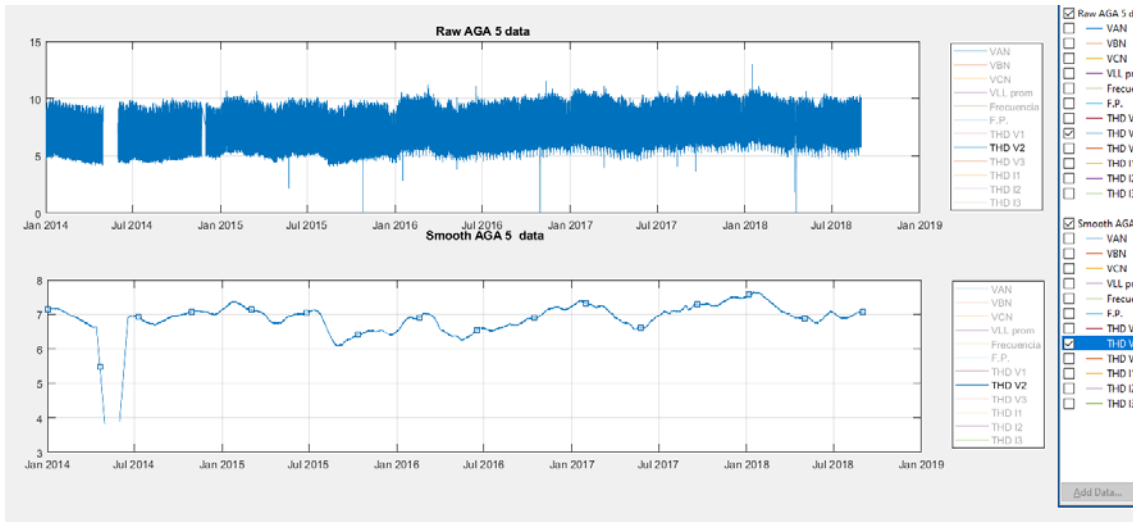


Figura 9.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 5

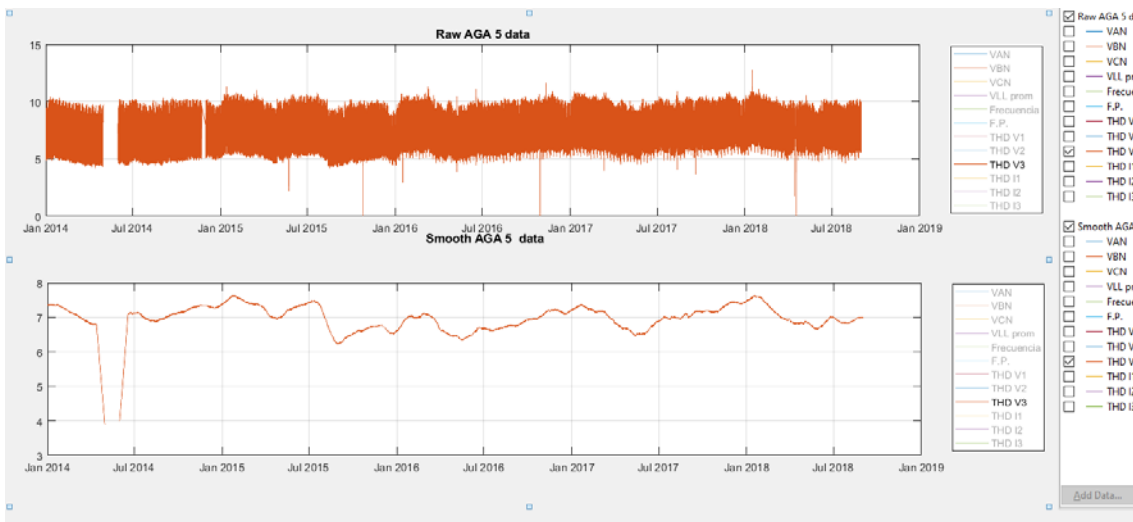


Figura 9.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 5

## Alimentador AGA 6

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.51	0.01	6.59
THD V2	11.77	0.01	6.59
THD V3	11.64	0.01	6.43
THD I1	49.07	0.08	9.50
THD I2	32.62	1.06	10.01
THD I3	66.17	0.01	7.84

Tabla 9.6: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AGA 6

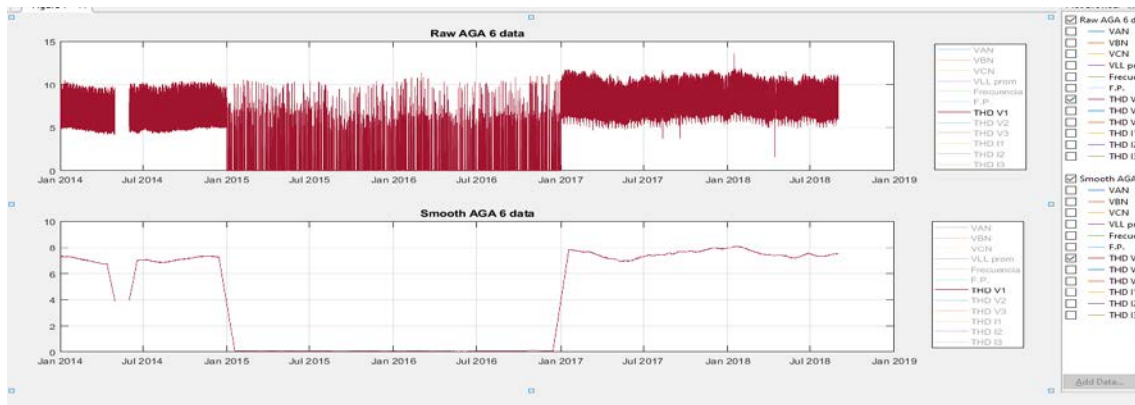


Figura 9.16: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AGA 6

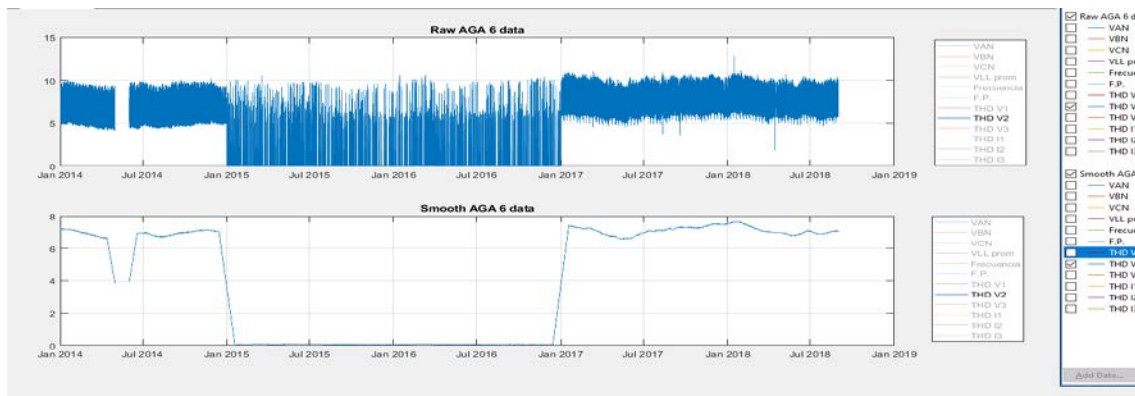


Figura 9.17: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AGA 6

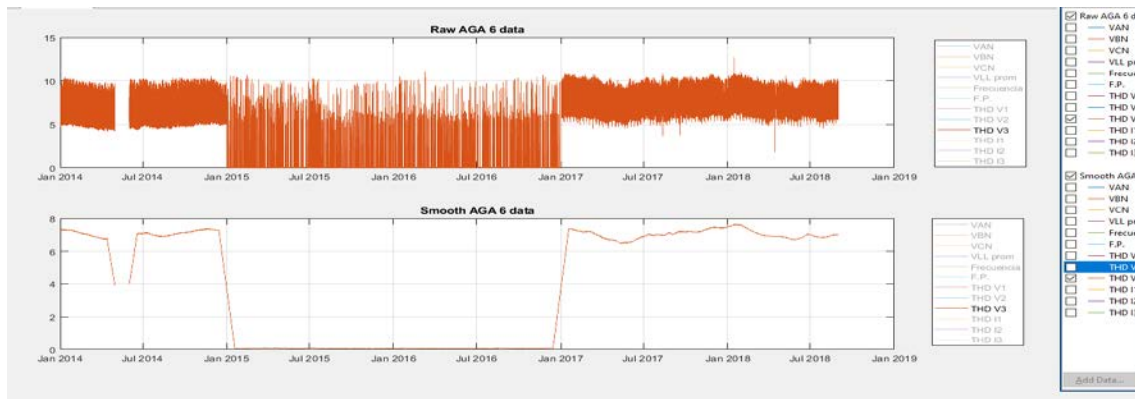


Figura 9.18: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AGA 6

## 10. ANEXO C Subestación Amozoc (AMZ)

### Alimentador AMZ 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.91	0.17	4.01
THD V2	12.92	0.11	3.66
THD V3	13.72	0.11	3.85
THD I1	16.99	0.02	5.37
THD I2	12.41	0.02	4.59
THD I3	15.10	0.02	6.53

Tabla 10.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 1

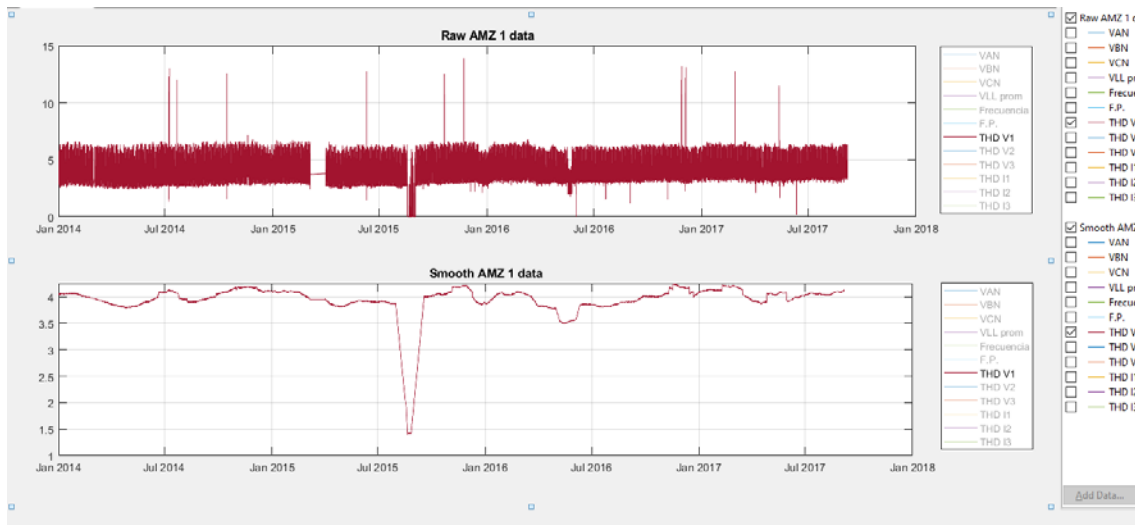


Figura 10.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 1

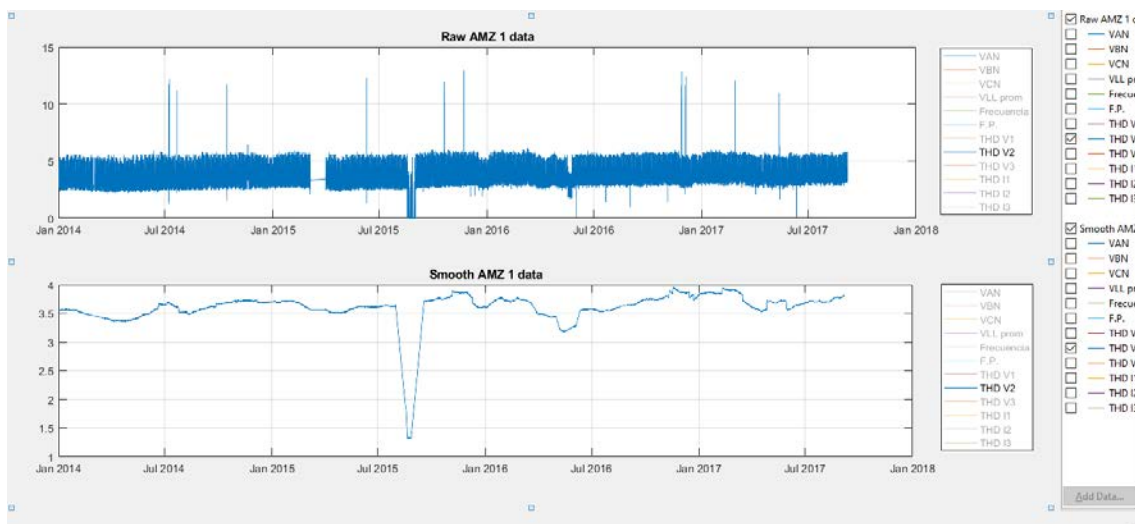


Figura 10.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 1

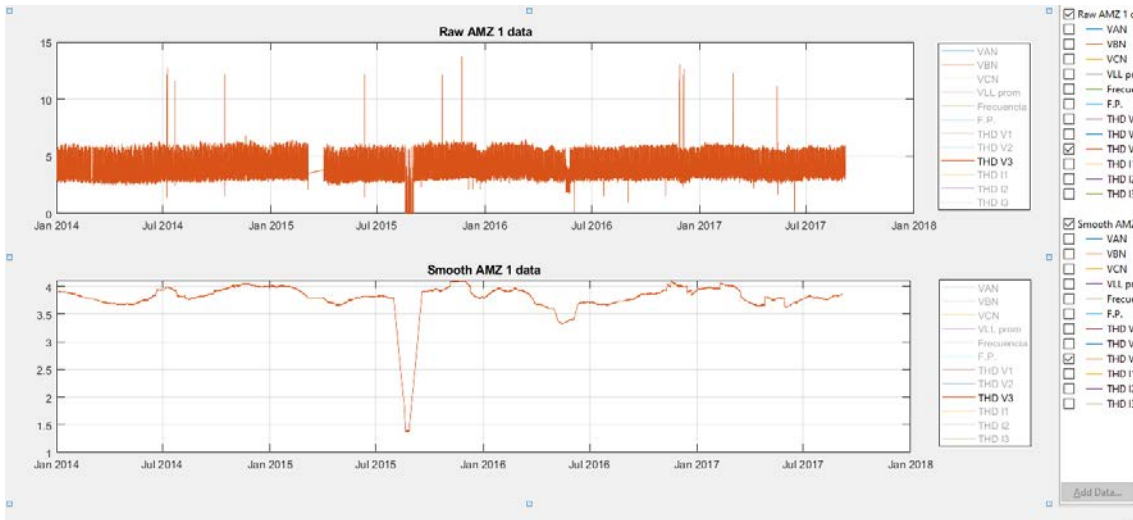


Figura 10.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 1

## Alimentador AMZ 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.90	0.05	4.05
THD V2	13.34	0.47	3.68
THD V3	13.71	0.46	3.87
THD I1	38.00	0.01	10.59
THD I2	36.70	0.00	9.75
THD I3	56.40	0.00	9.65

Tabla 10.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 2

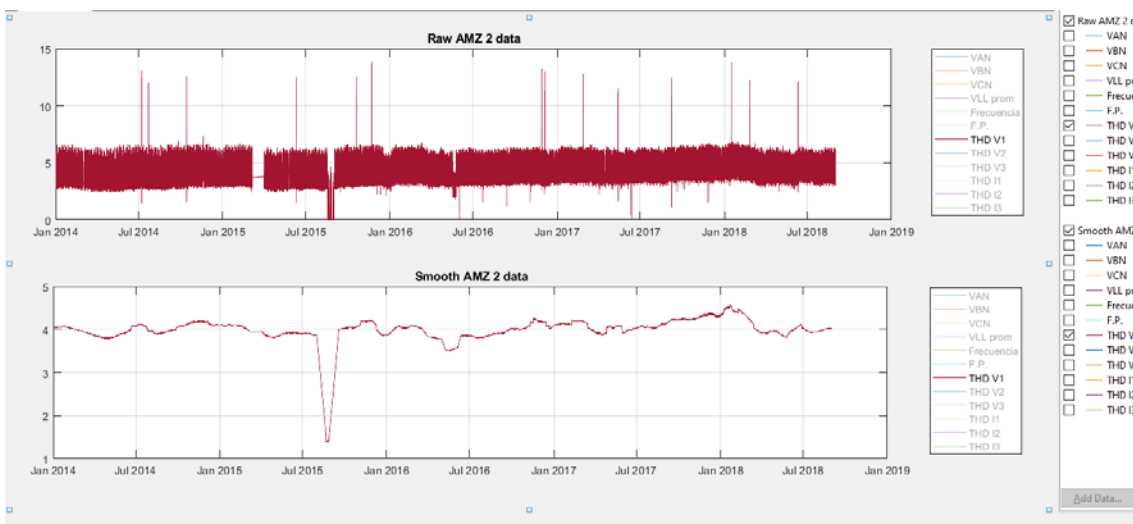


Figura 10.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 2

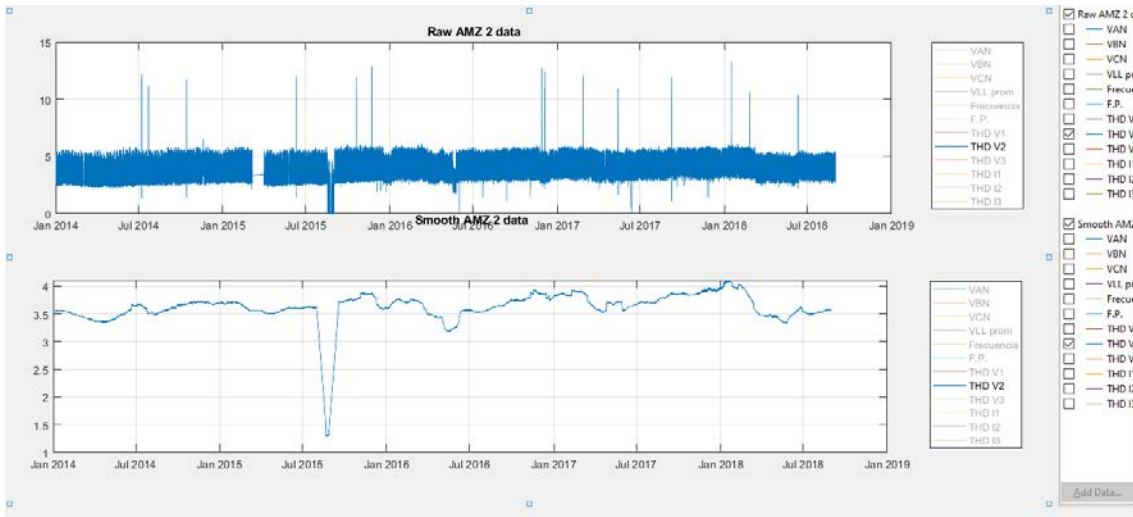


Figura 10.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 2

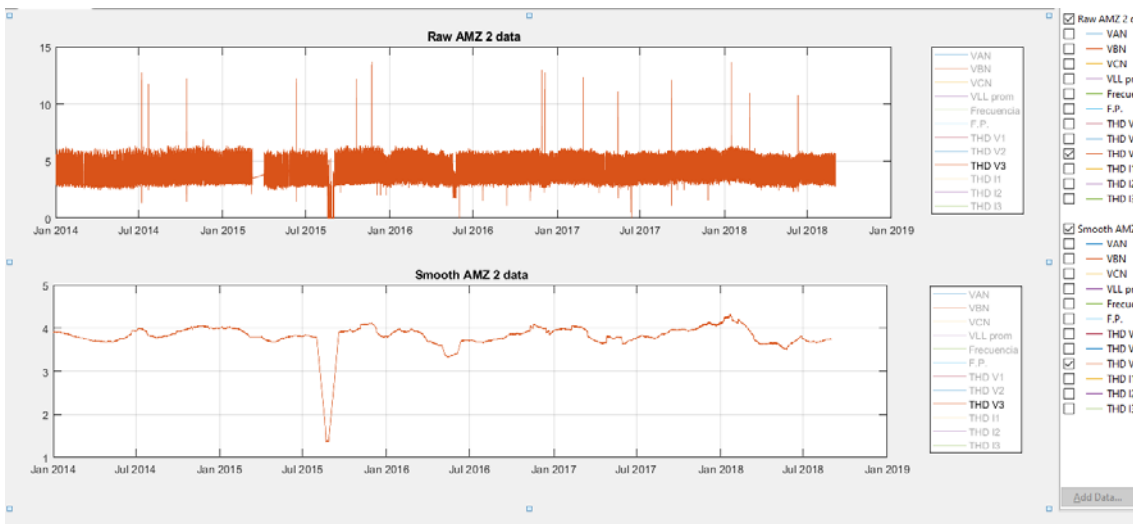


Figura 10.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 2

### Alimentador AMZ 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.91	0.15	4.00
THD V2	18.68	0.15	3.63
THD V3	13.72	0.15	3.82
THD I1	22.47	0.01	5.52
THD I2	18.05	0.00	5.44
THD I3	17.01	0.00	5.37

Tabla 10.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 3



Figura 10.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 3

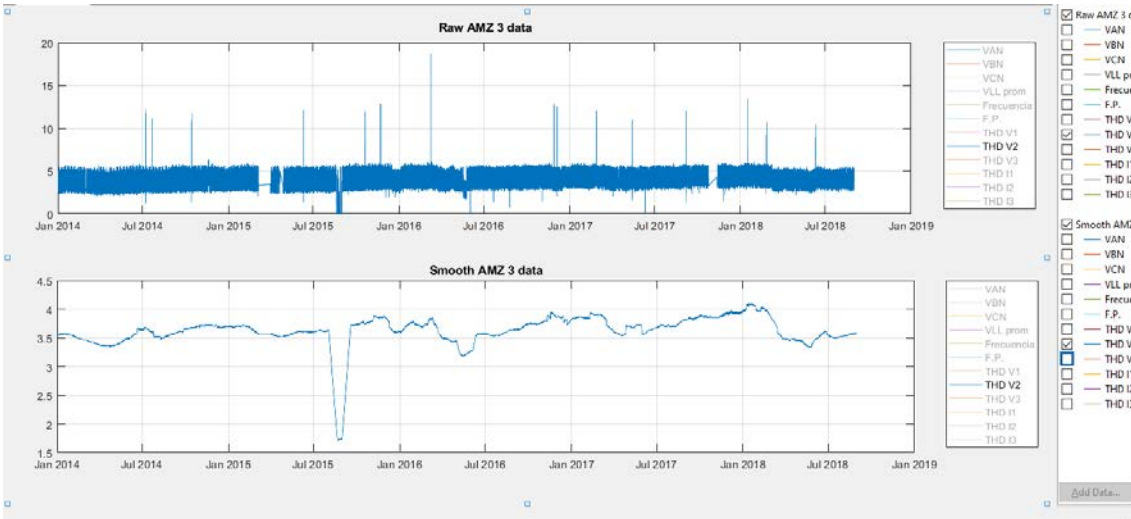


Figura 10.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 3

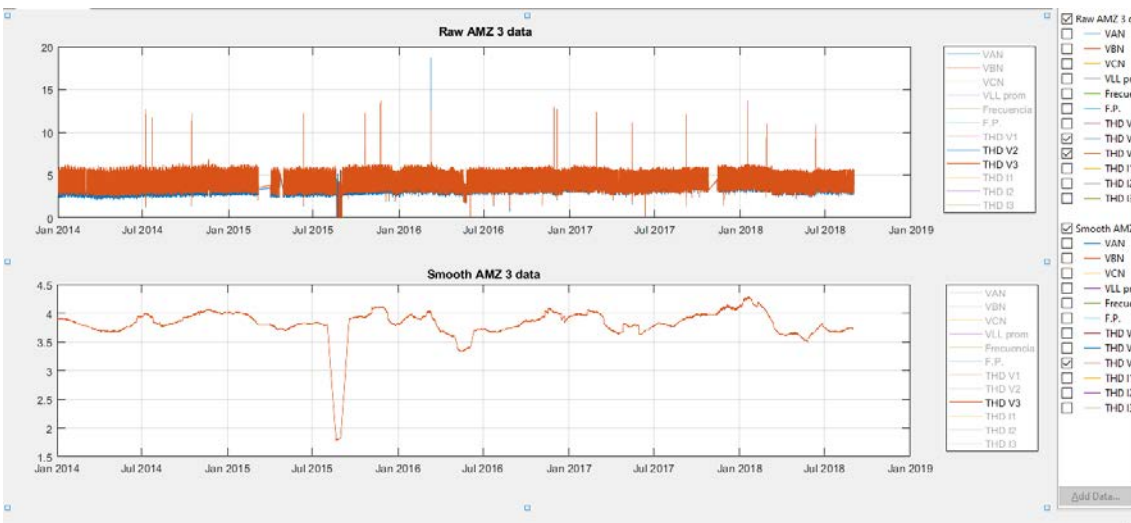


Figura 10.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 3

## Alimentador AMZ 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.93	0.02	4.05
THD V2	13.39	0.46	3.69
THD V3	13.72	0.45	3.87
THD I1	27.49	0.00	8.85
THD I2	22.30	0.01	8.20
THD I3	18.80	0.04	7.49

Tabla 10.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 4

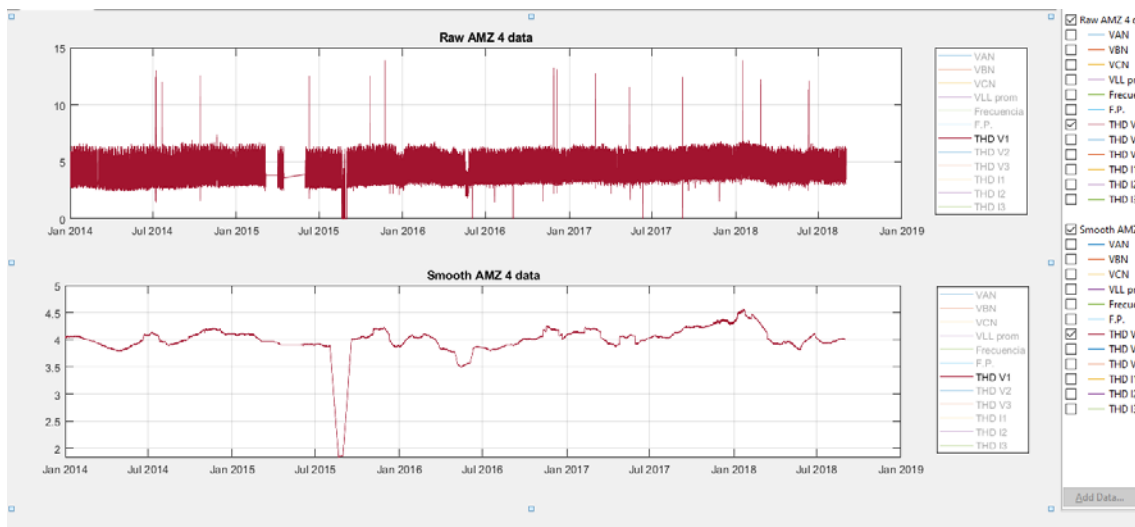


Figura 10.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 4

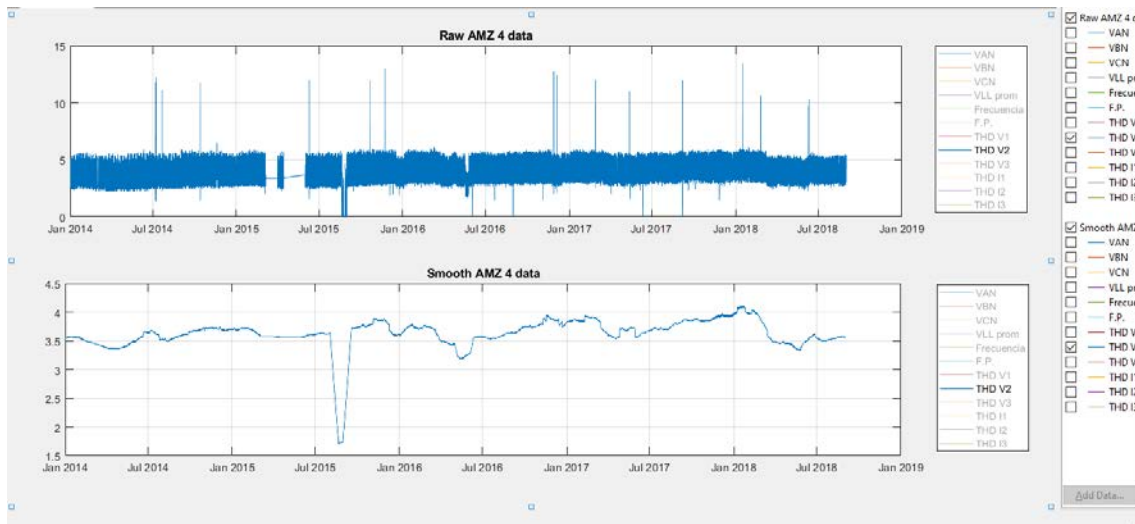


Figura 10.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 4

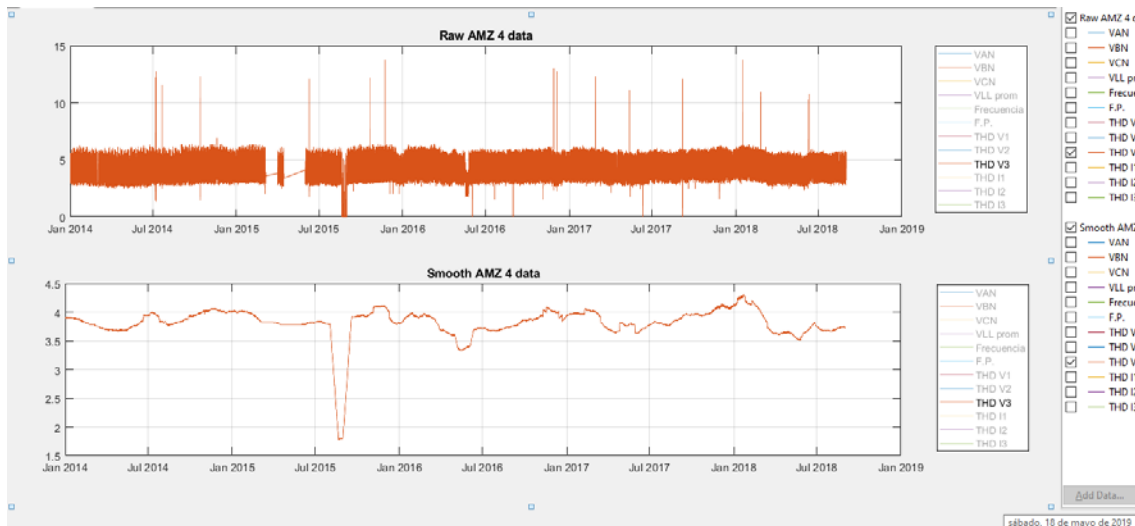


Figura 10.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 4

### Alimentador AMZ 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	13.94	0.04	4.70
THD V2	13.41	0.46	4.59
THD V3	13.72	0.34	4.64
THD I1	11.61	0.04	5.67
THD I2	10.38	0.03	5.45
THD I3	10.11	0.03	5.47

Tabla 10.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador AMZ 5

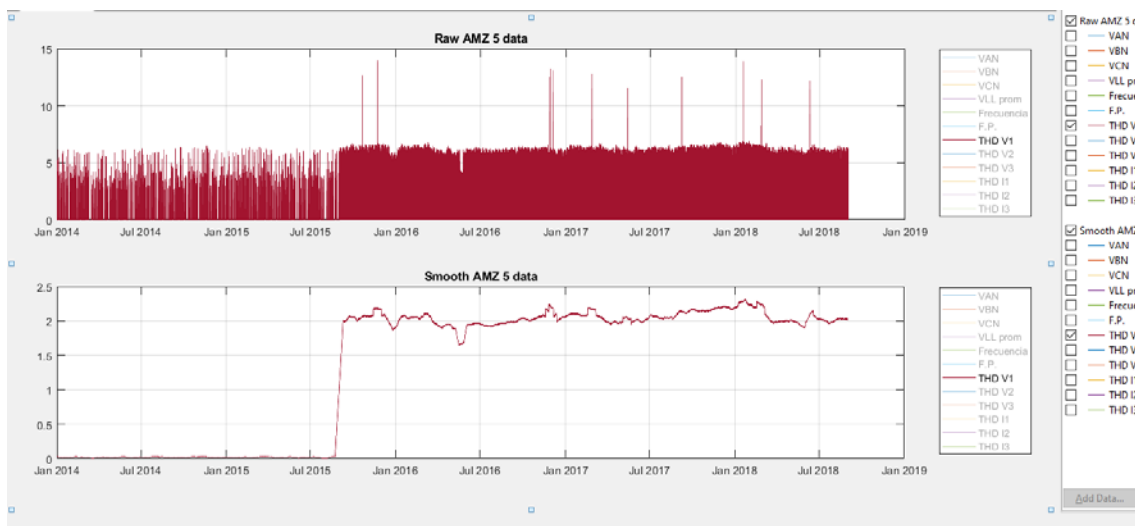


Figura 10.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador AMZ 5

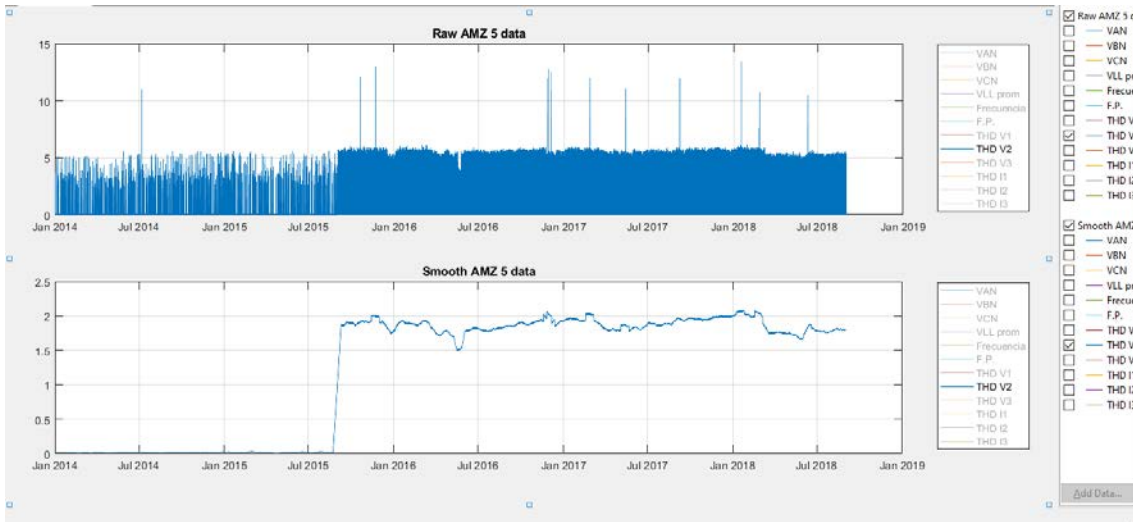


Figura 10.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador AMZ 5



Figura 10.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador AMZ 5

# 11. ANEXO D Subestación Bugambillas SF6 (BGS)

## Alimentador BGS 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.50	0.24	6.61
THD V2	11.77	0.26	6.61
THD V3	11.64	0.23	6.46
THD I1	16.07	0.00	4.08
THD I2	16.33	0.00	4.27
THD I3	8.02	0.00	3.44

Tabla 11.11.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 1

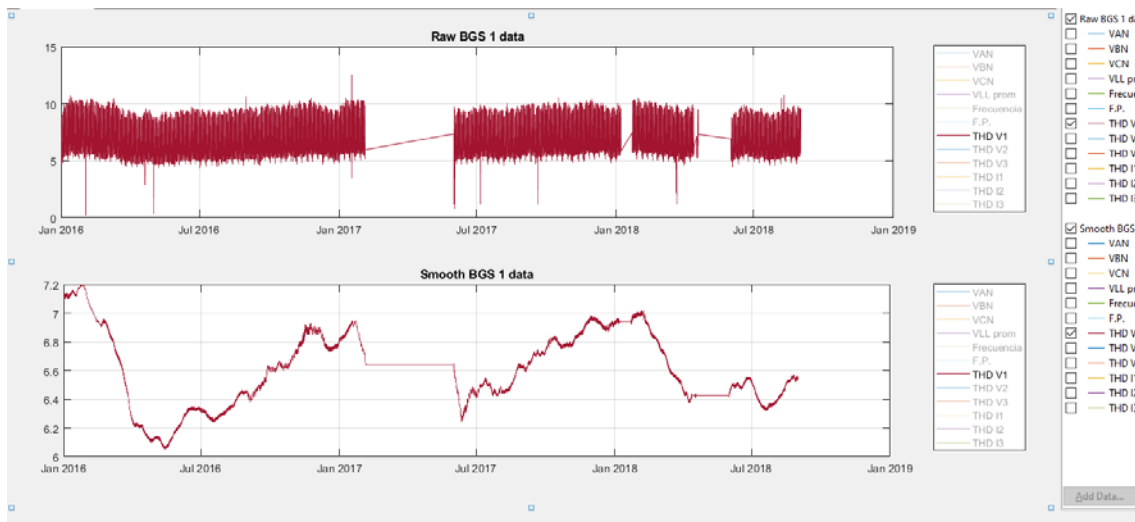


Figura 11.11.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 1

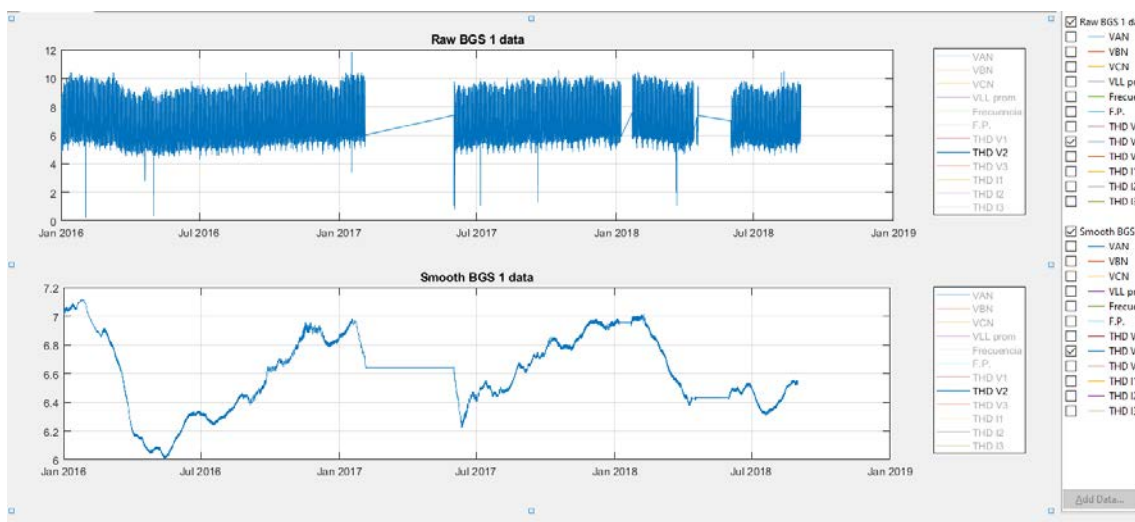


Figura 11.11.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 1

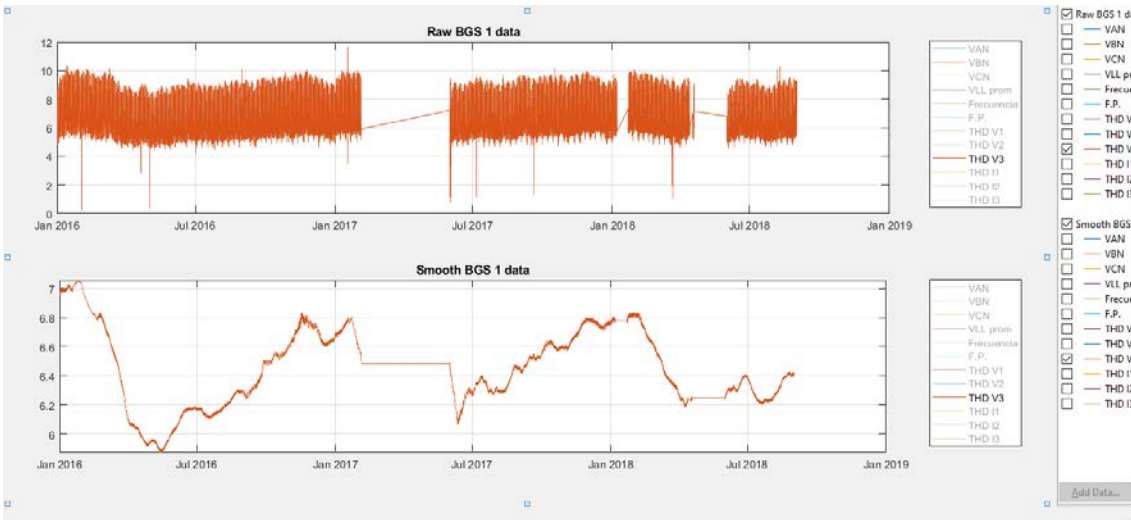


Figura 11.11.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 1

## Alimentador BGS 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.57	0.14	6.59
THD V2	11.83	0.15	6.59
THD V3	11.64	0.13	6.43
THD I1	15.62	0.34	4.88
THD I2	13.29	0.37	6.59
THD I3	9.62	0.34	6.54

Tabla 11.11.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 2

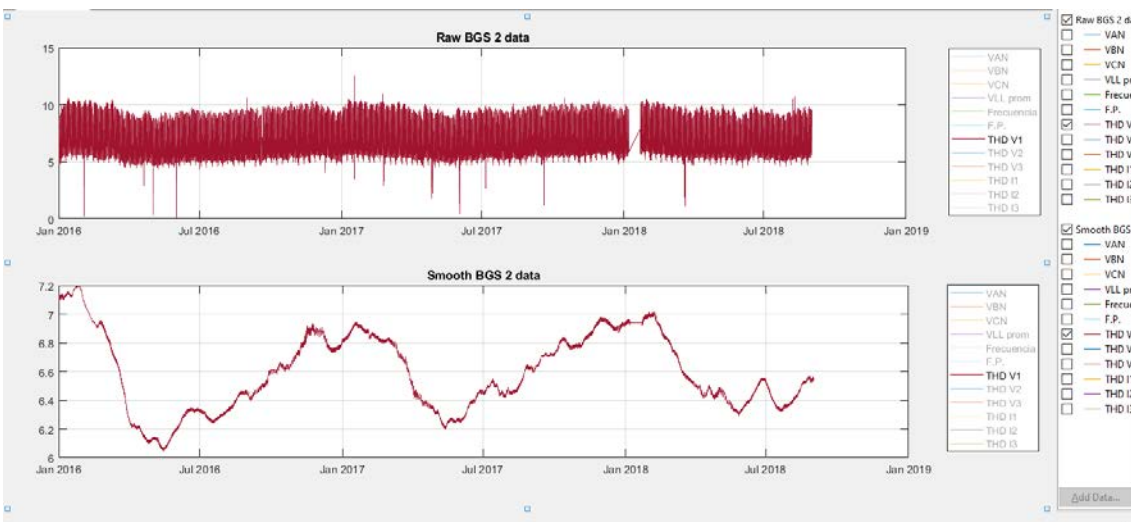


Figura 11.11.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 2

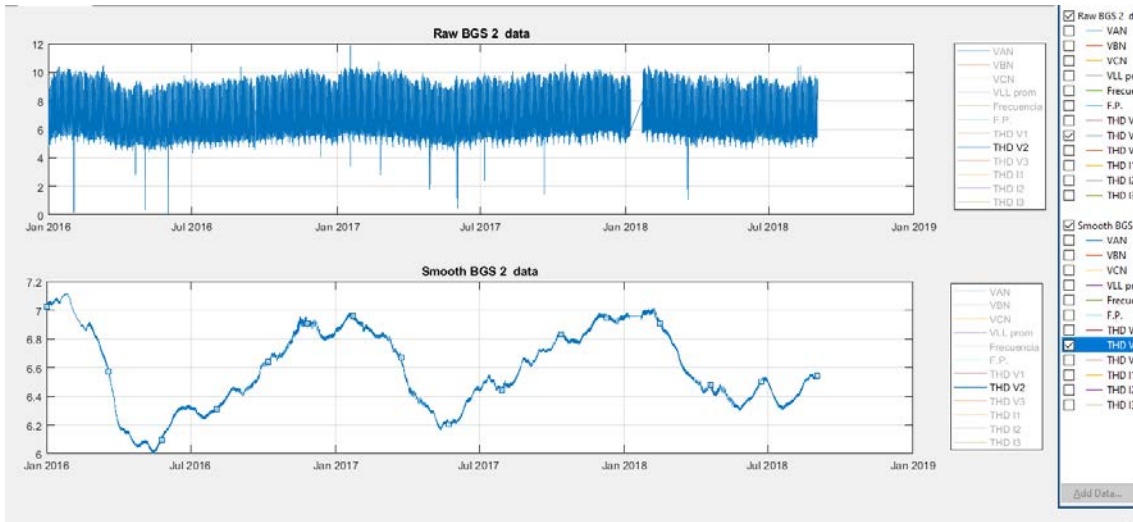


Figura 11.11.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 2

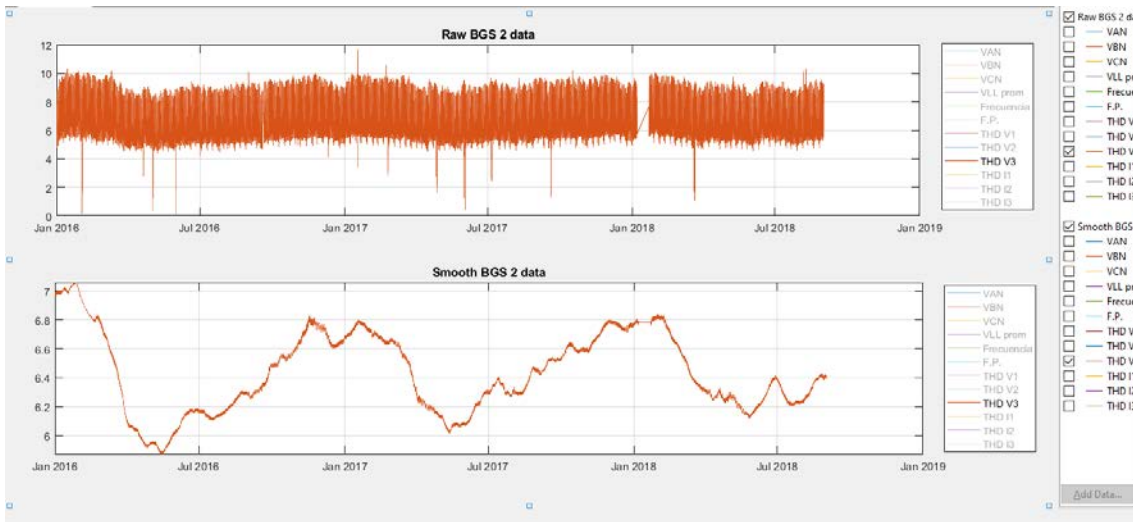


Figura 11.11.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 2

### Alimentador BGS 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.54	0.16	6.59
THD V2	11.80	0.18	6.59
THD V3	11.64	0.17	6.43
THD I1	54.95	0.09	6.10
THD I2	59.73	0.10	6.81
THD I3	89.34	0.07	5.35

Tabla 11.11.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 3

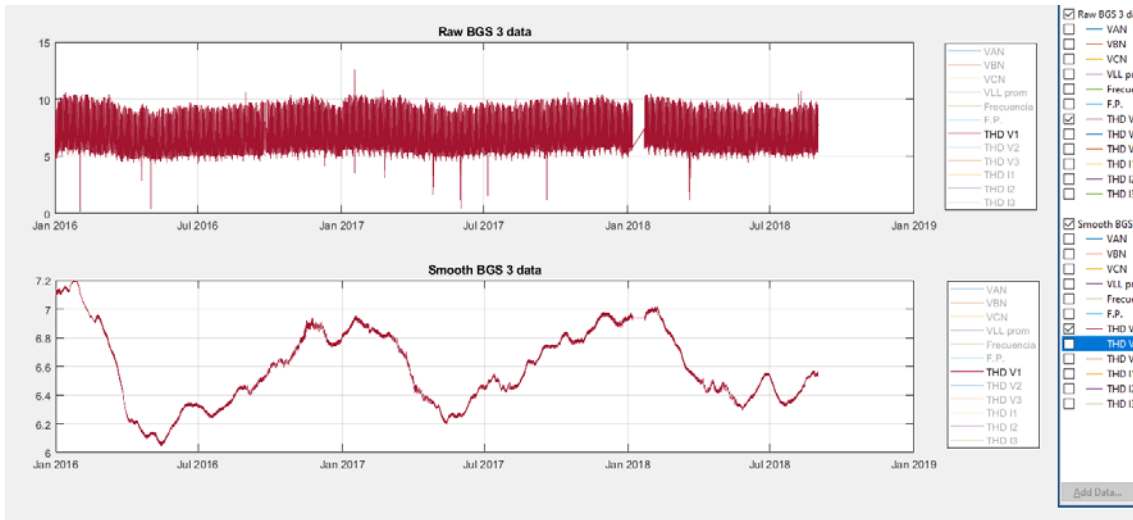


Figura 11.11.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 3

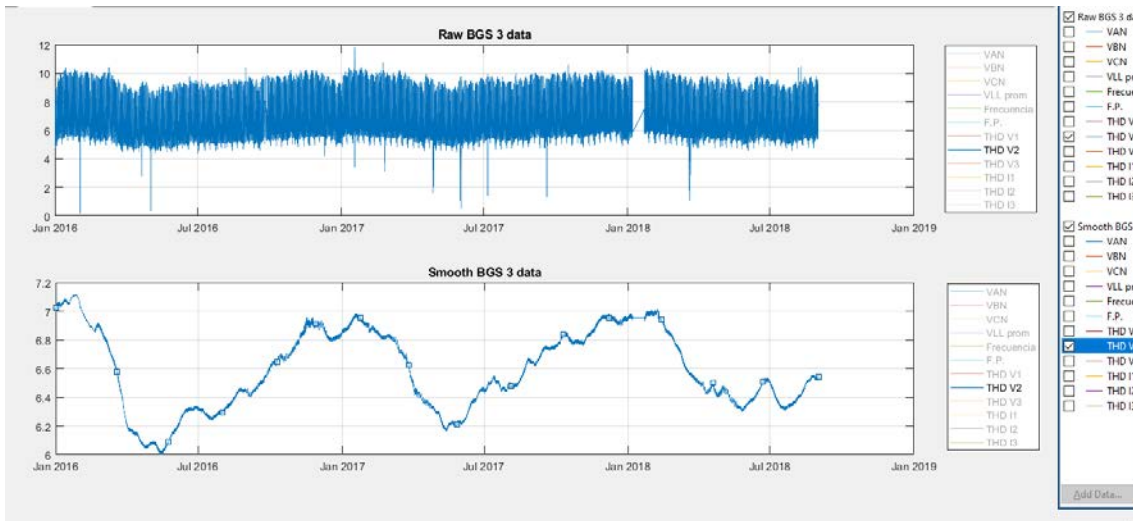


Figura 11.11.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 3

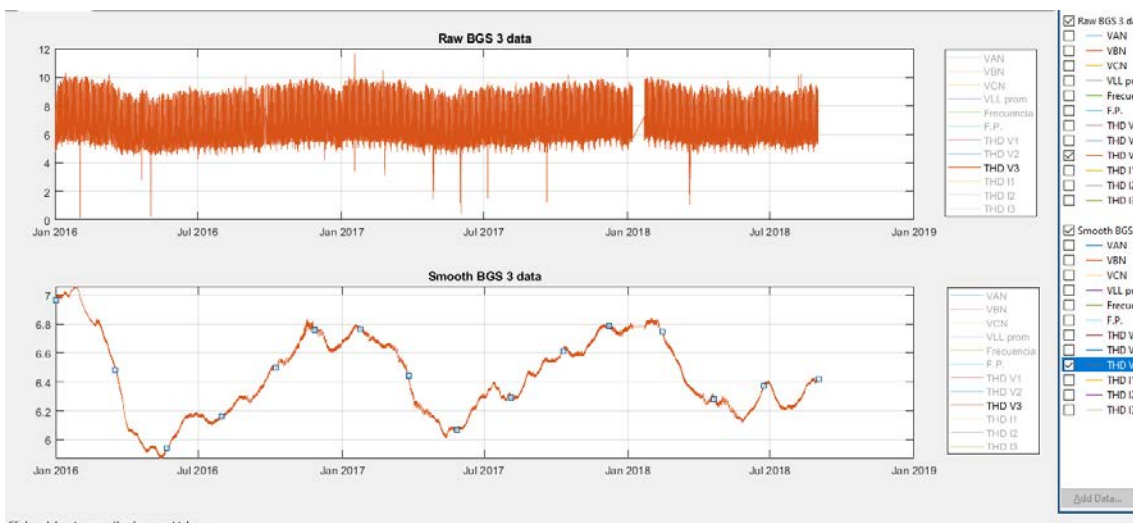


Figura 11.11.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 3

## Alimentador BGS 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.51	0.25	6.59
THD V2	11.78	0.26	6.59
THD V3	11.64	0.24	6.43
THD I1	12.10	0.08	6.59
THD I2	12.30	0.08	6.90
THD I3	9.23	0.07	6.40

Tabla 11.11.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 4

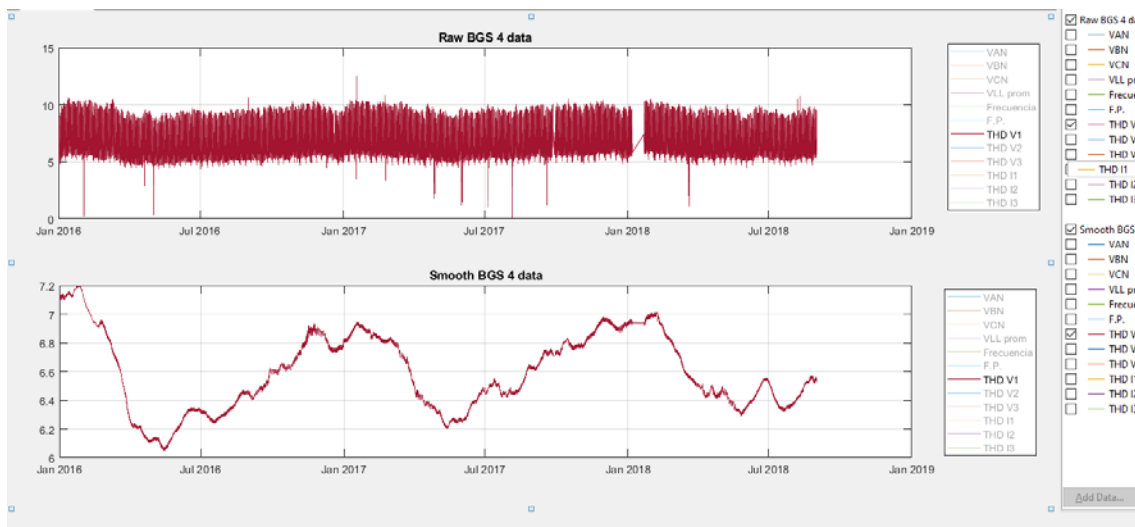


Figura 11.11.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 4

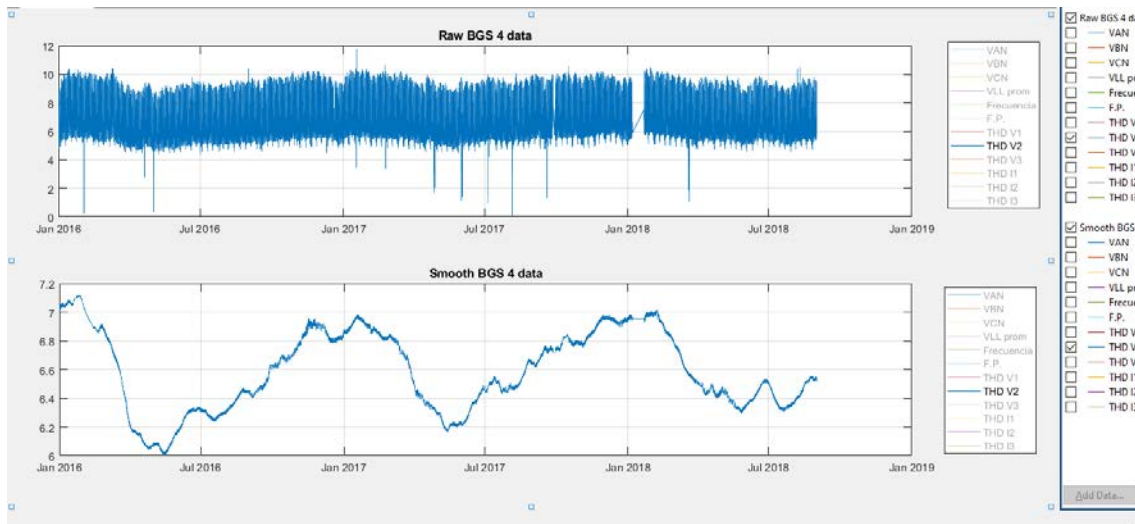


Figura 11.11.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 4

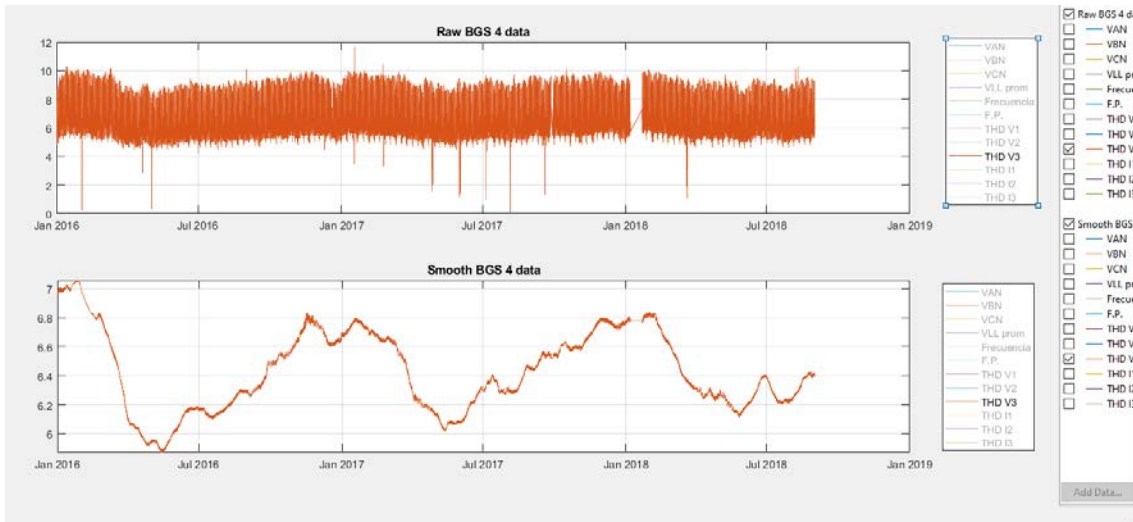


Figura 11.11.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 4

### Alimentador BGS 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.53	0.15	6.59
THD V2	11.80	0.16	6.59
THD V3	11.64	0.14	6.43
THD I1	14.51	0.09	9.63
THD I2	13.20	0.08	8.89
THD I3	10.52	0.07	6.93

Tabla 11.11.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 5

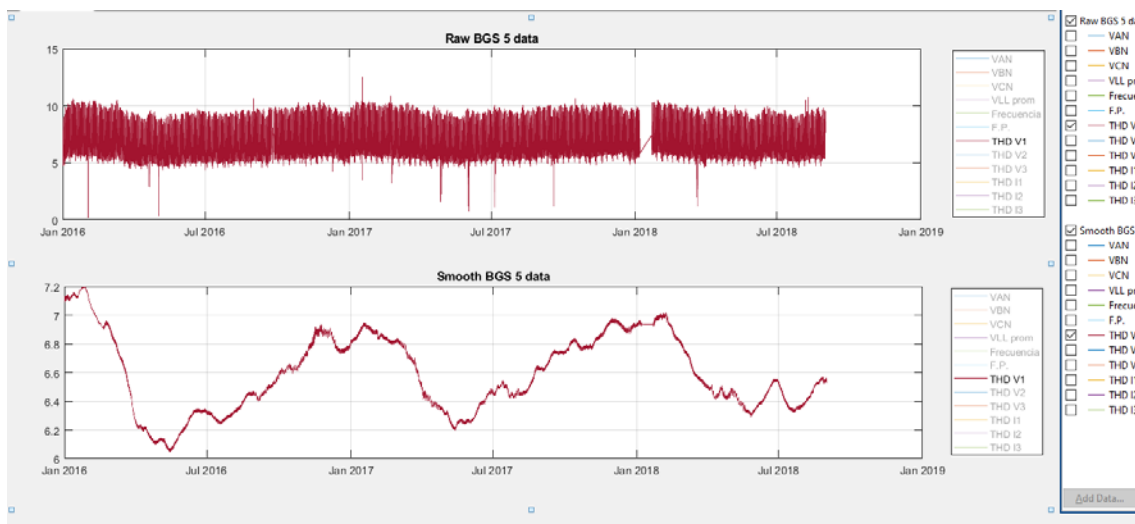


Figura 11.11.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 5

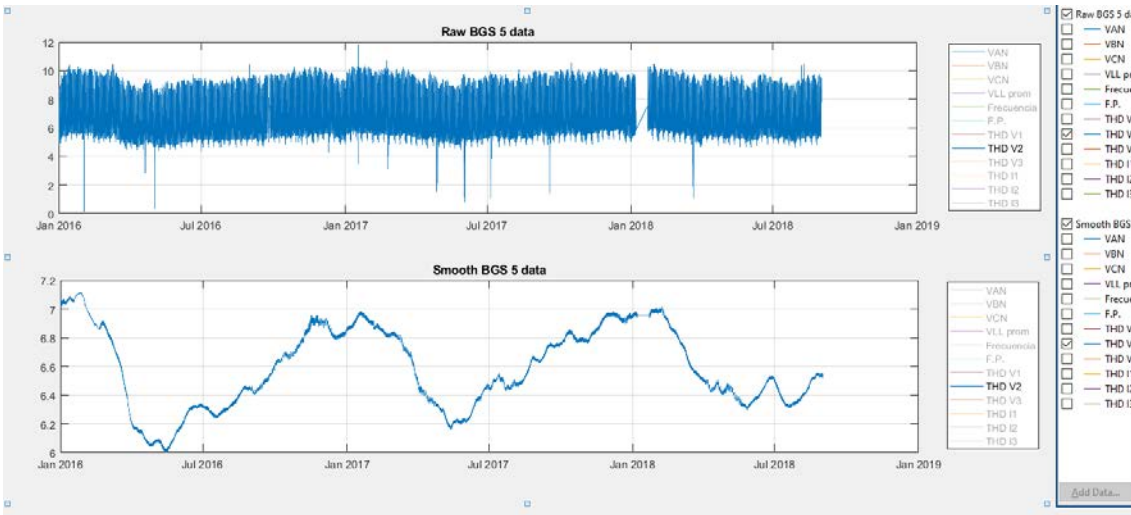


Figura 11.11.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 5

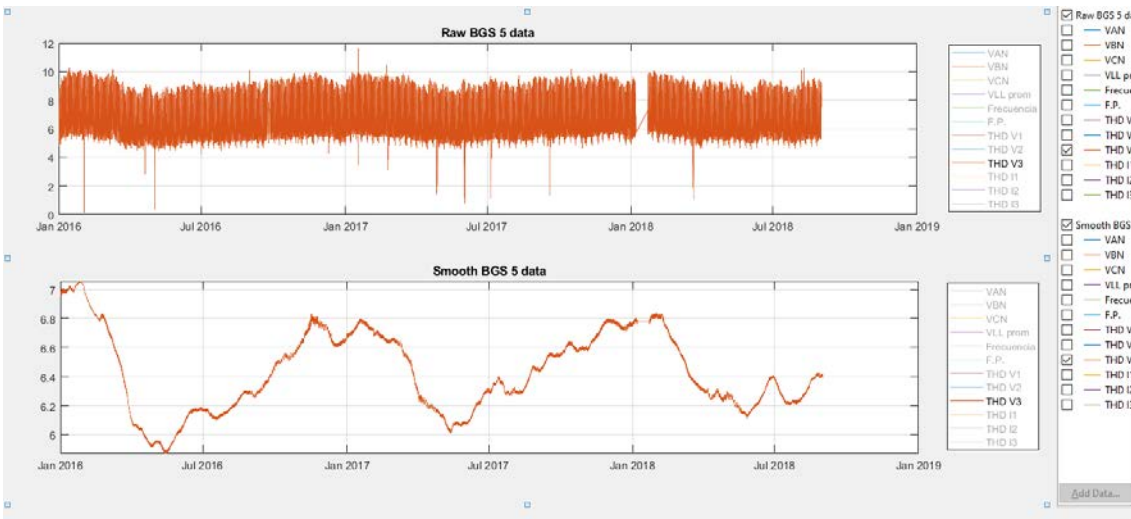


Figura 11.11.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 5

## Alimentador BGS 6

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.51	0.01	6.59
THD V2	11.77	0.01	6.59
THD V3	11.64	0.01	6.43
THD I1	49.07	0.08	9.50
THD I2	32.62	1.06	10.01
THD I3	66.17	0.01	7.84

Tabla 11.6: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 6

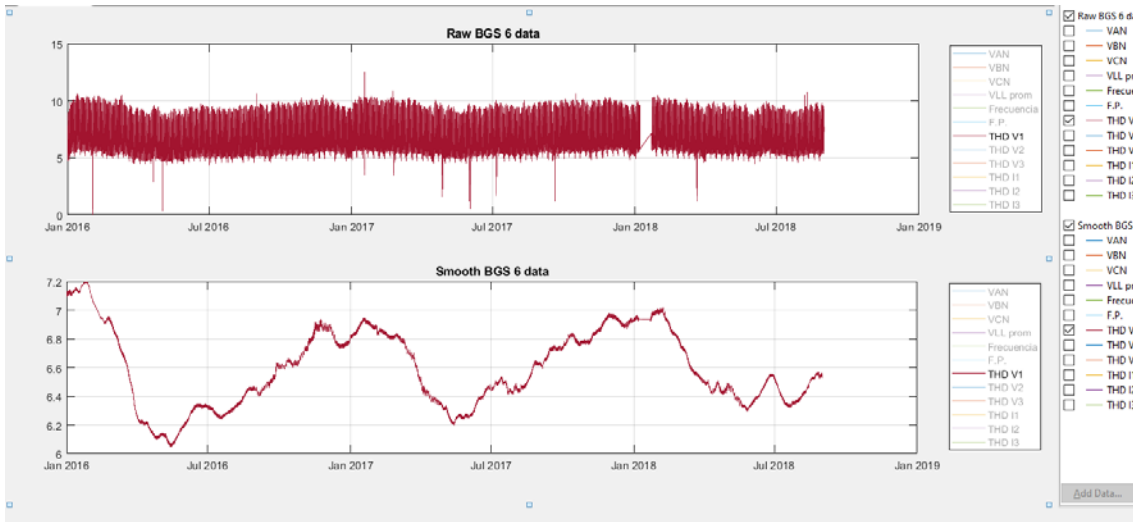


Figura 11.11.16: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 6

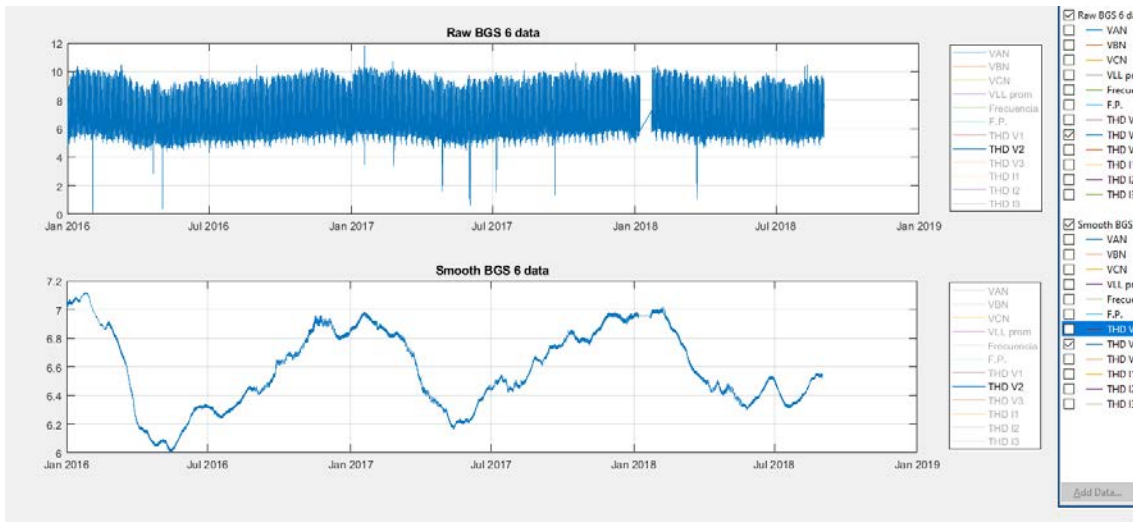


Figura 11.11.17: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 6

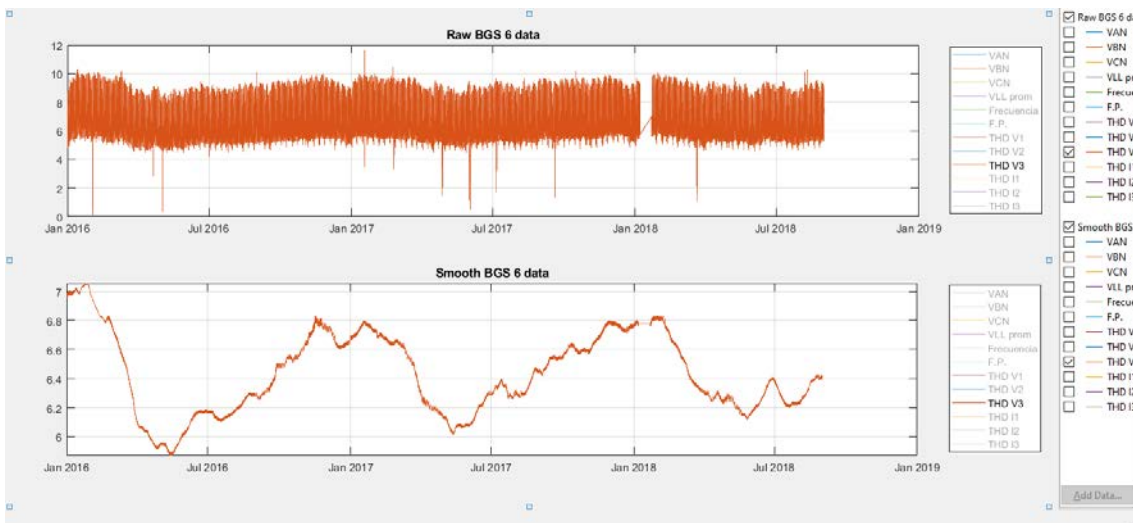


Figura 11.11.18: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 6

## Alimentador BGS 7

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	12.55	0.18	6.60
THD V2	11.81	0.20	6.59
THD V3	11.64	0.18	6.44
THD I1	13.39	0.07	5.90
THD I2	13.76	0.01	5.87
THD I3	9.86	0.00	5.03

Tabla 11.11.7: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BGS 7

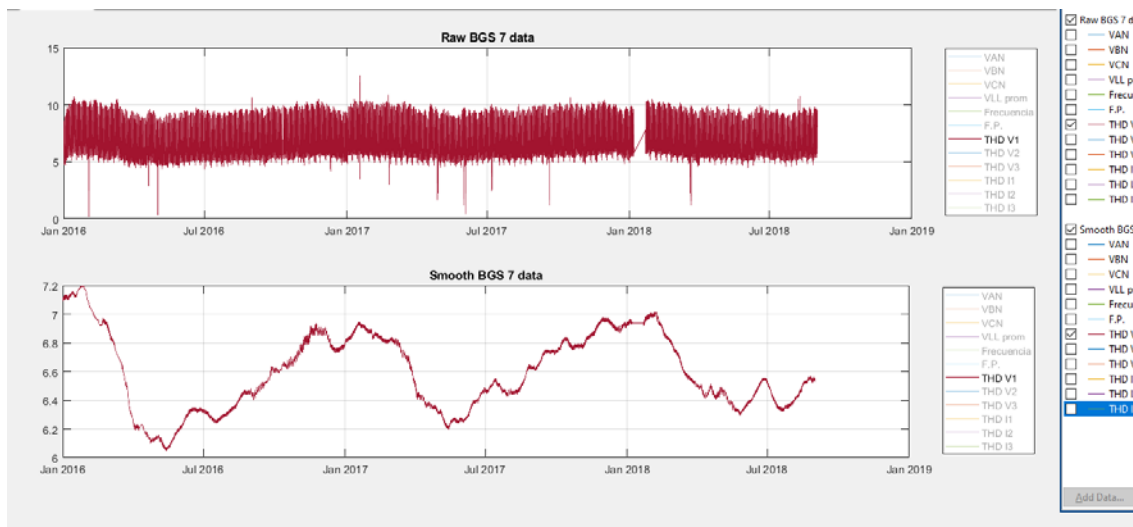


Figura 11.11.19: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BGS 7

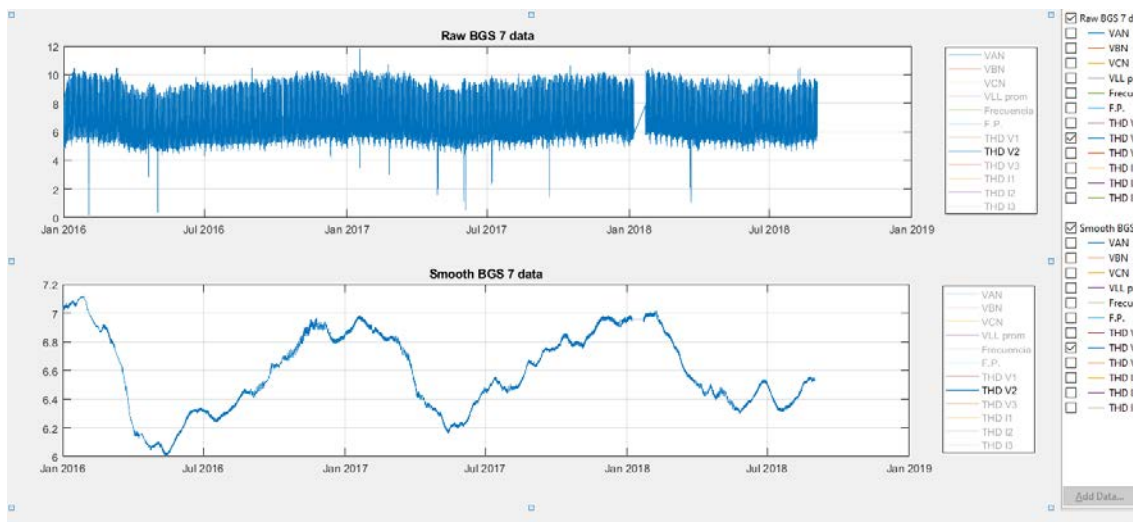


Figura 11.11.20: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BGS 7

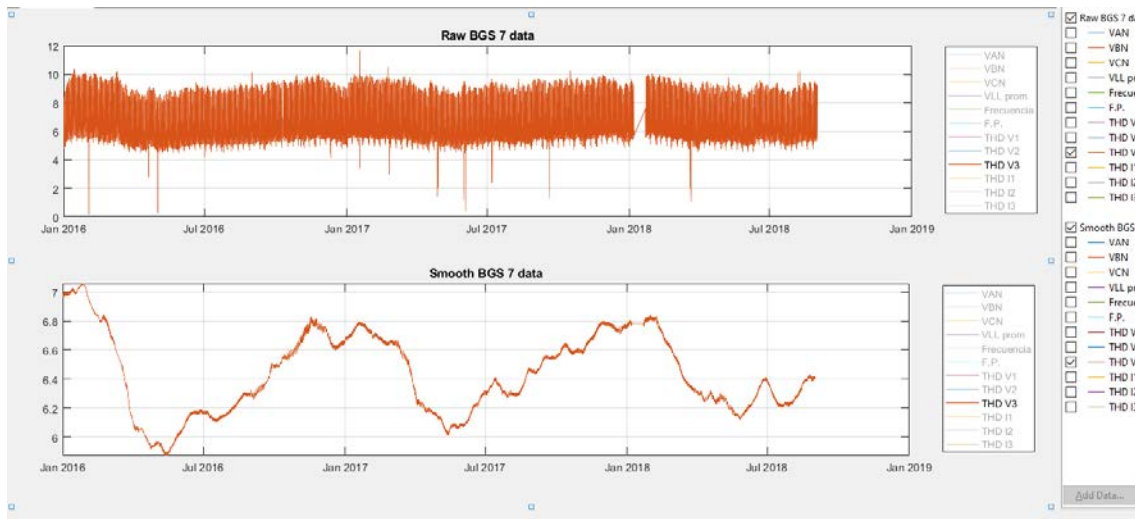


Figura 11.11.21: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BGS 7

## 12. ANEXO E Subestación Bosques (BOE)

### Alimentador BOE 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.43	0.05	5.47
THD V2	11.66	0.05	5.59
THD V3	20.98	0.05	5.34
THD I1	17.24	0.03	9.64
THD I2	16.85	0.03	9.06
THD I3	18.27	0.04	10.17

Tabla 12.12.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 1

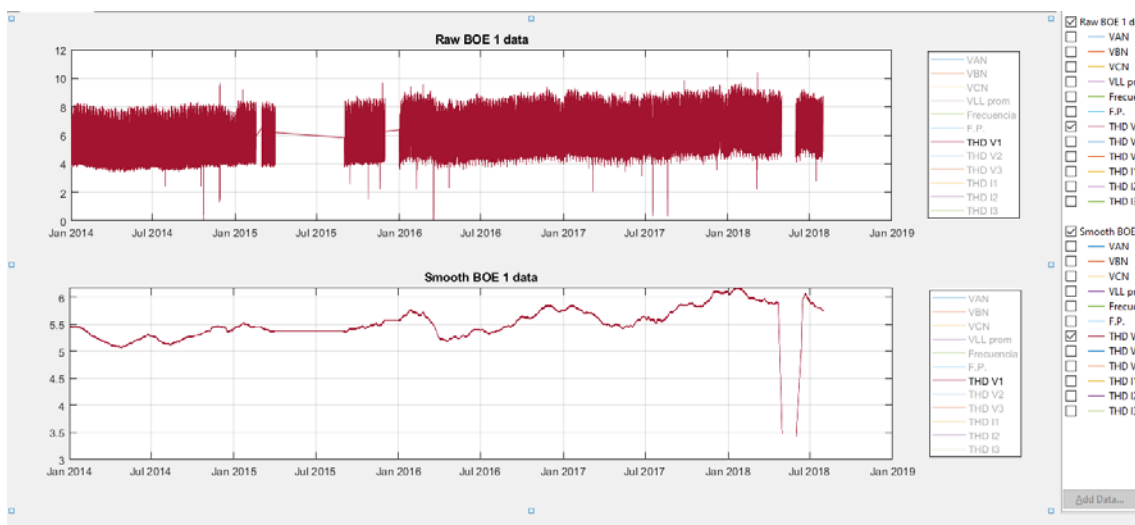


Figura 12.12.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 1

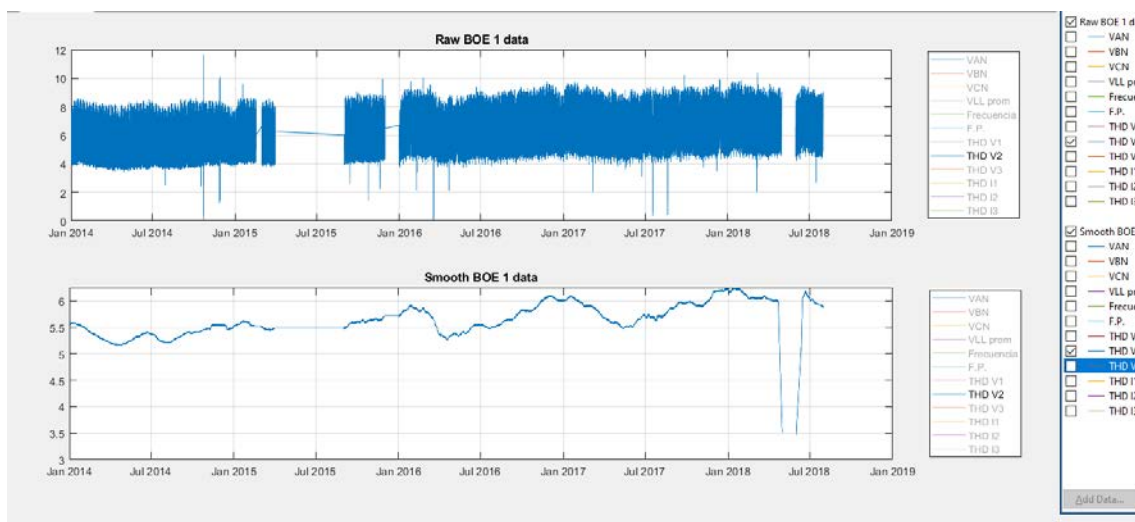


Figura 12.12.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 1

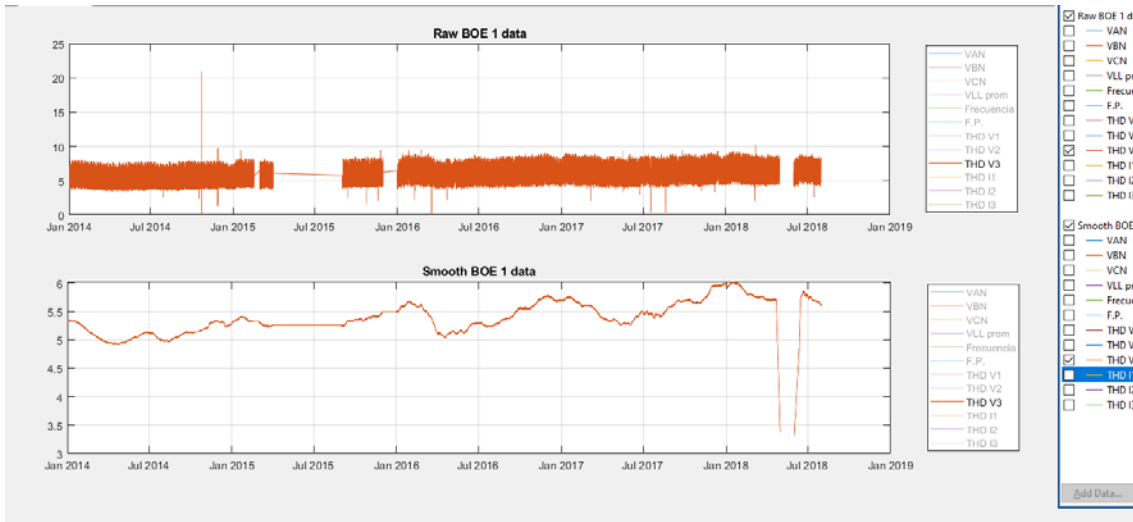


Figura 12.12.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 1

## Alimentador BOE 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.08	0.03	5.45
THD V2	13.75	0.03	5.58
THD V3	24.54	0.03	5.33
THD I1	22.45	0.37	15.05
THD I2	21.59	0.36	14.45
THD I3	26.28	0.42	17.08

Tabla 12.12.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 2

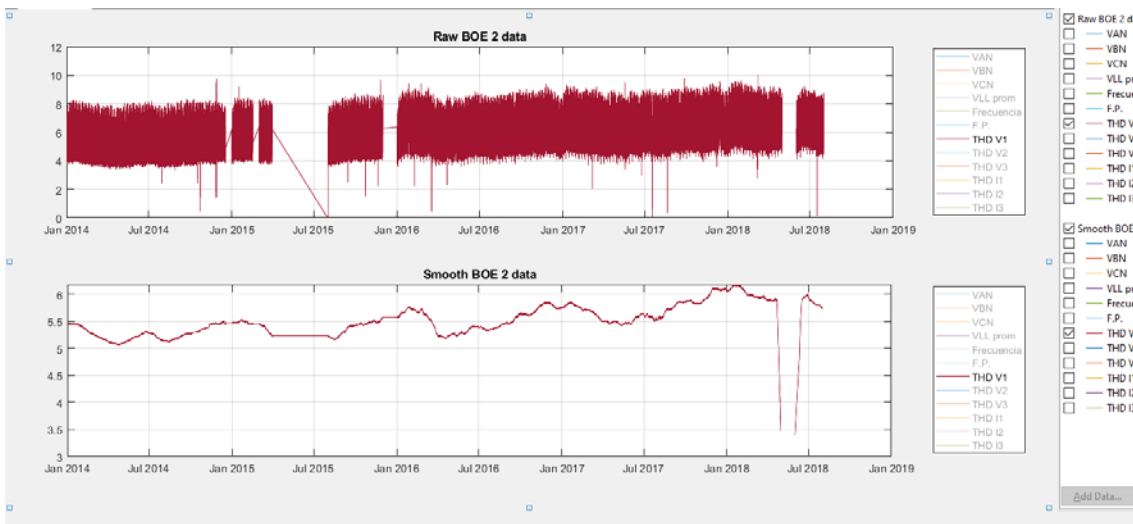


Figura 12.12.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 2

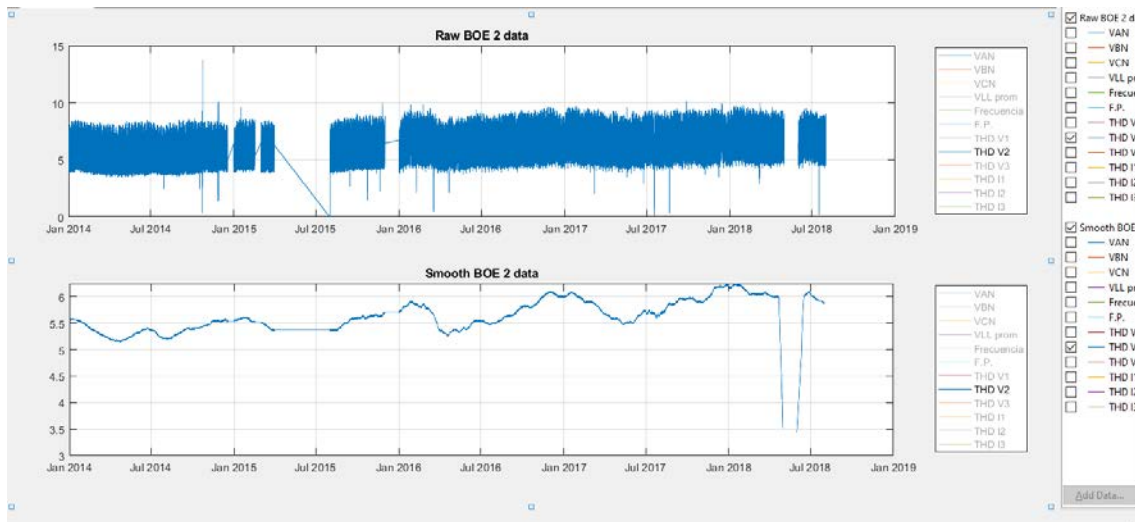


Figura 12.12.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 2

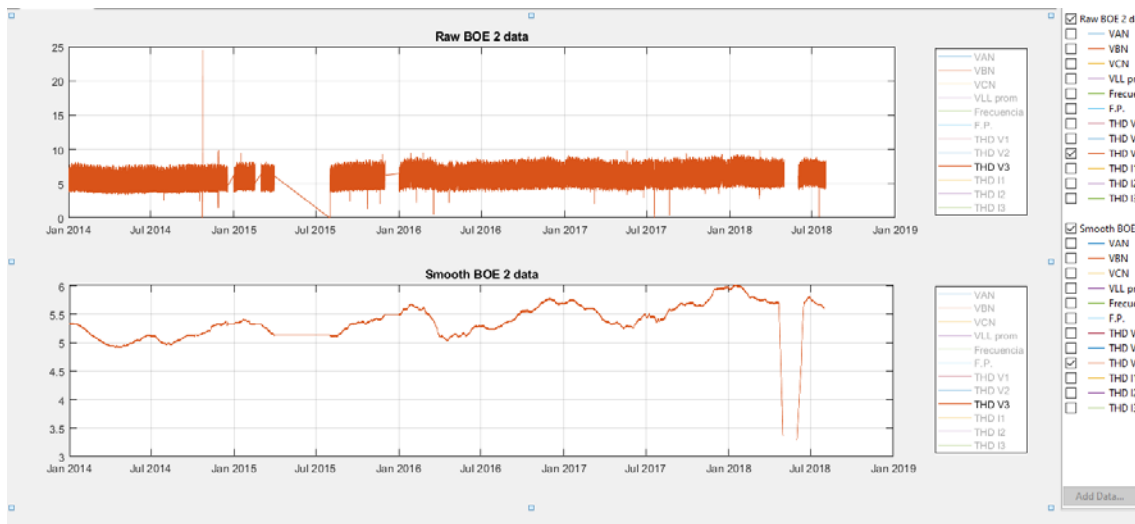


Figura 12.12.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 2

### Alimentador BOE 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.50	0.10	5.46
THD V2	13.66	0.09	5.58
THD V3	24.42	0.09	5.33
THD I1	23.63	0.36	12.72
THD I2	19.01	0.33	9.52
THD I3	23.91	0.43	14.09

Tabla 12.12.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 3

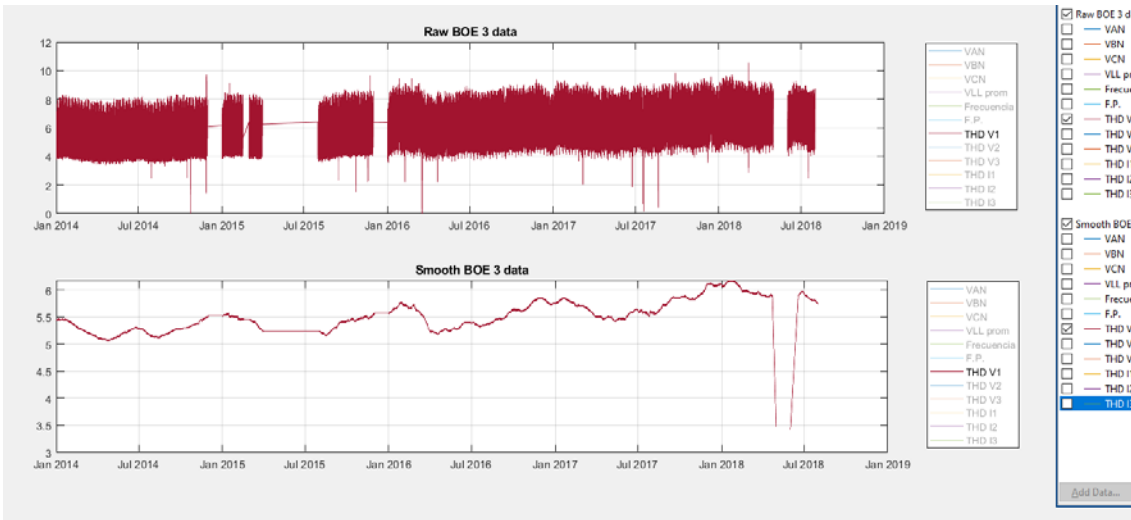


Figura 12.12.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 3

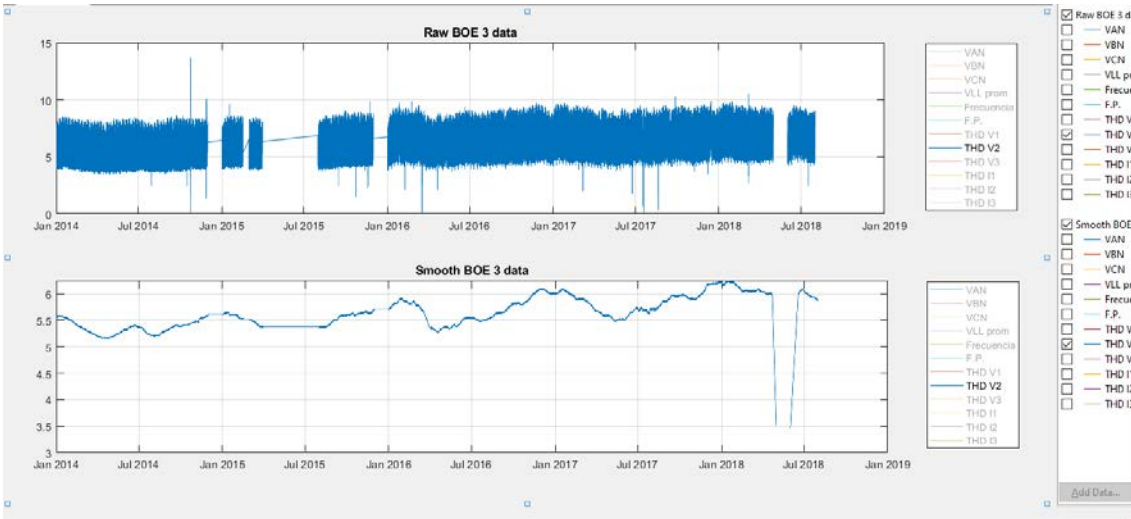


Figura 12.12.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 3

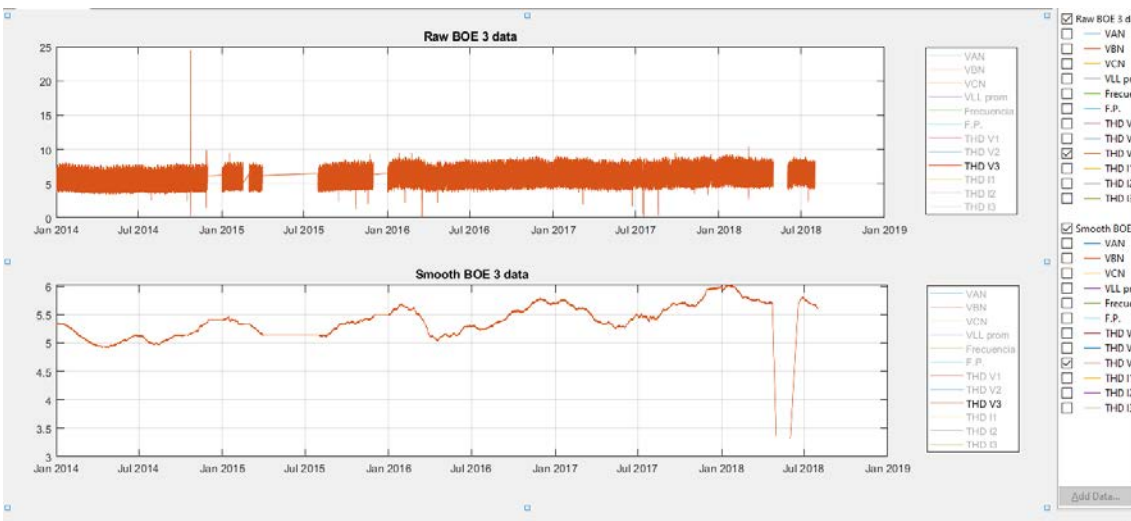


Figura 12.12.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 3

## Alimentador BOE 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.42	0.15	5.45
THD V2	10.34	0.15	5.57
THD V3	10.28	0.15	5.32
THD I1	23.28	0.10	16.15
THD I2	32.93	0.12	15.50
THD I3	24.55	0.11	16.12

Tabla 12.12.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 4

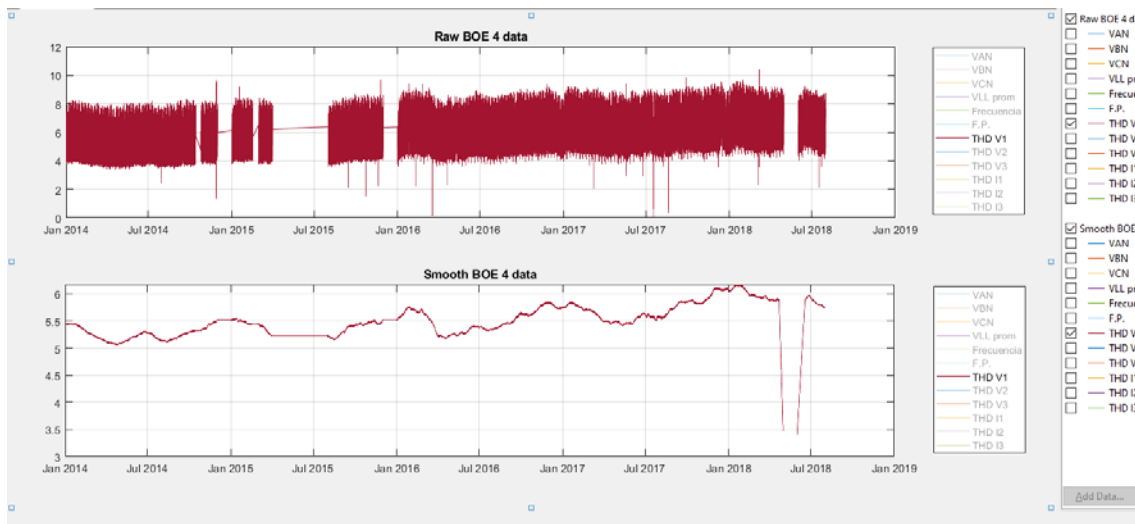


Figura 12.12.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 4

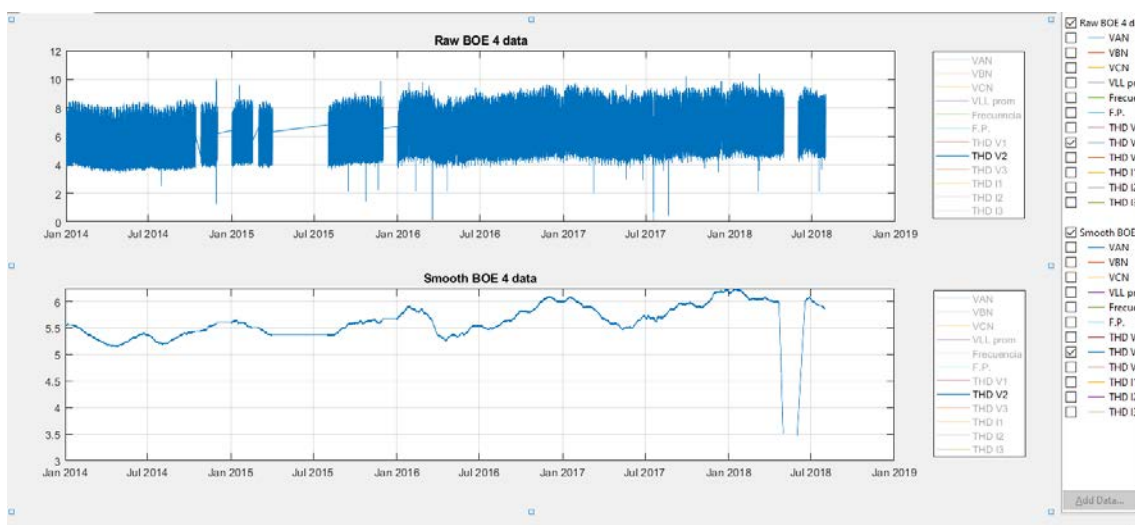


Figura 12.12.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 4

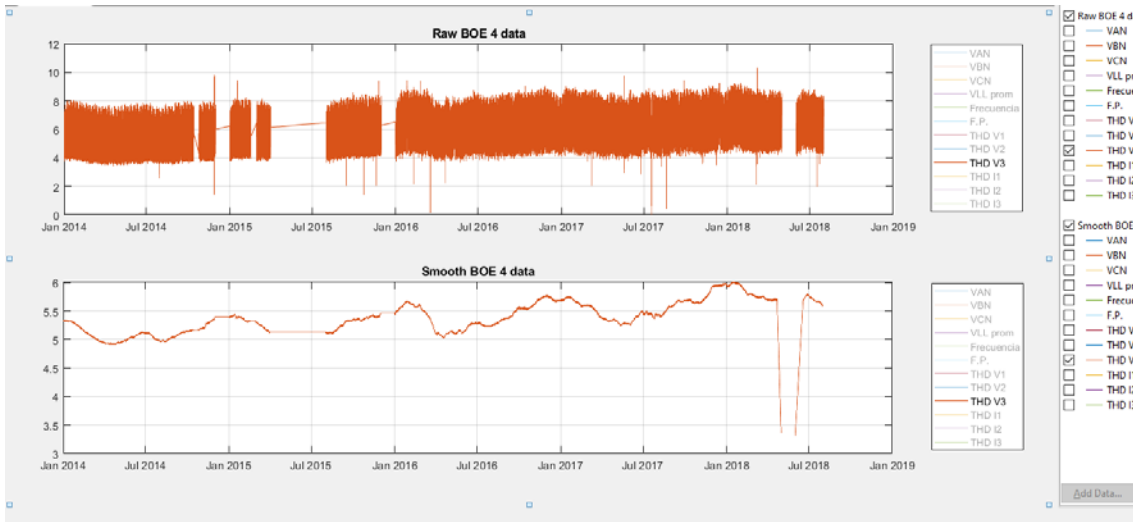


Figura 12.12.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 4

### Alimentador BOE 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.41	0.02	5.46
THD V2	10.34	0.02	5.58
THD V3	10.27	0.02	5.33
THD I1	19.80	0.13	10.83
THD I2	19.00	0.13	10.56
THD I3	22.51	0.14	11.80

Tabla 12.12.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador BOE 5

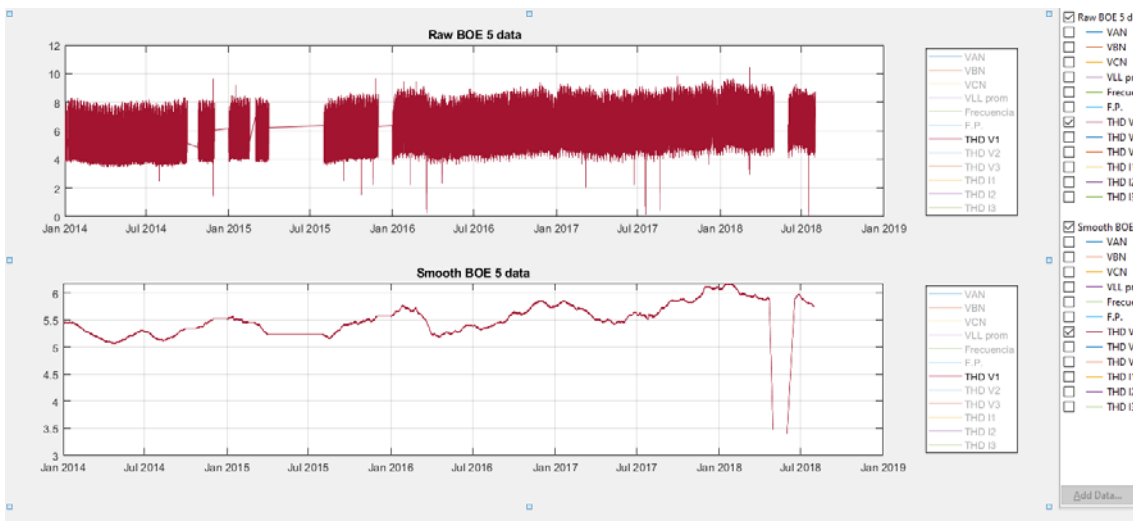


Figura 12.12.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador BOE 5

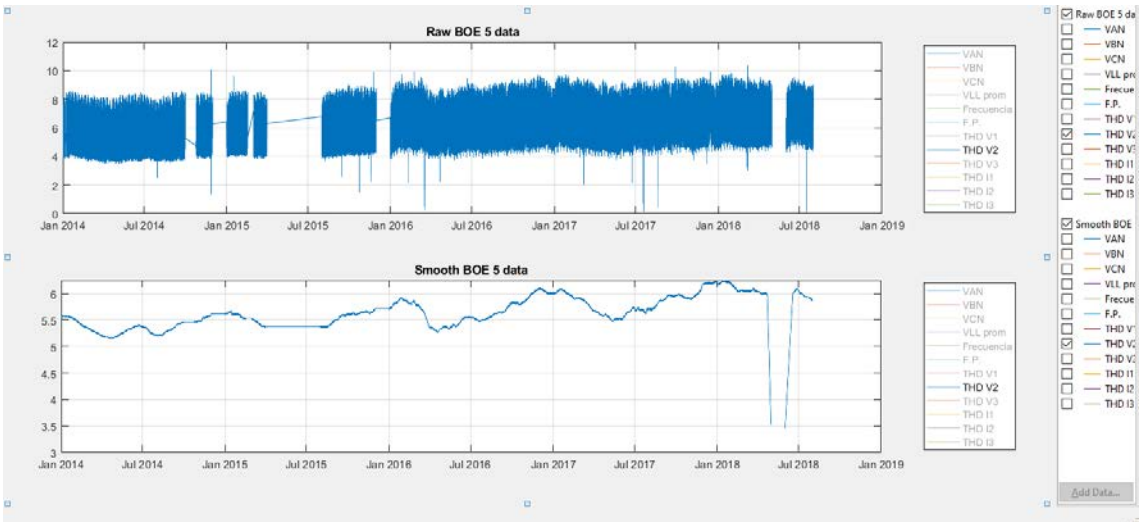


Figura 12.12.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador BOE 5

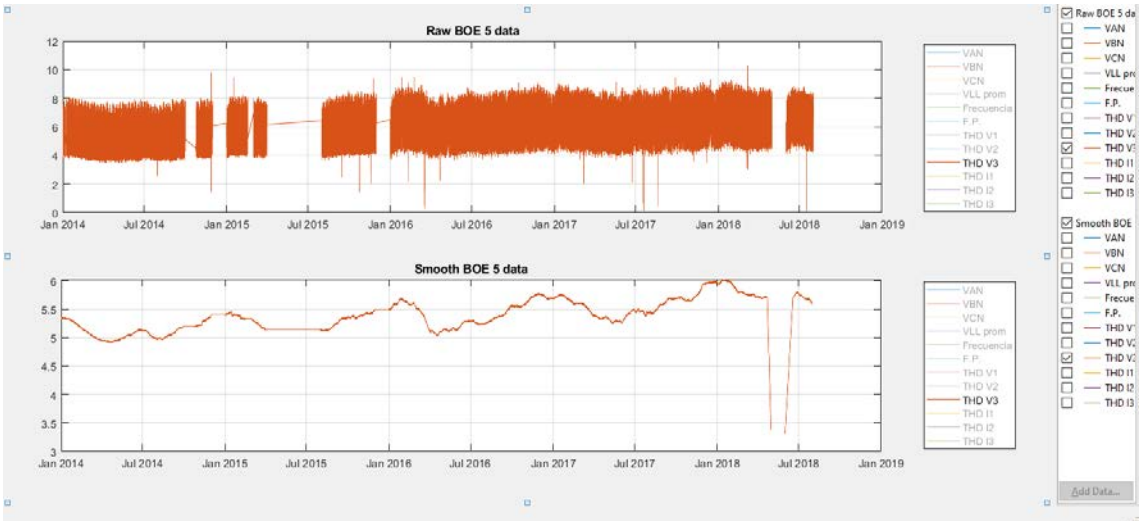


Figura 12.12.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador BOE 5

## 13. ANEXO G Subestación Cinco de Mayo (CIY)

### Alimentador CIY 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.61	0.33	3.26
THD V2	8.59	0.34	3.21
THD V3	8.61	0.33	3.24
THD I1	13.88	0.35	10.09
THD I2	12.79	0.33	8.95
THD I3	14.25	0.33	10.05

Tabla 13.13.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 1

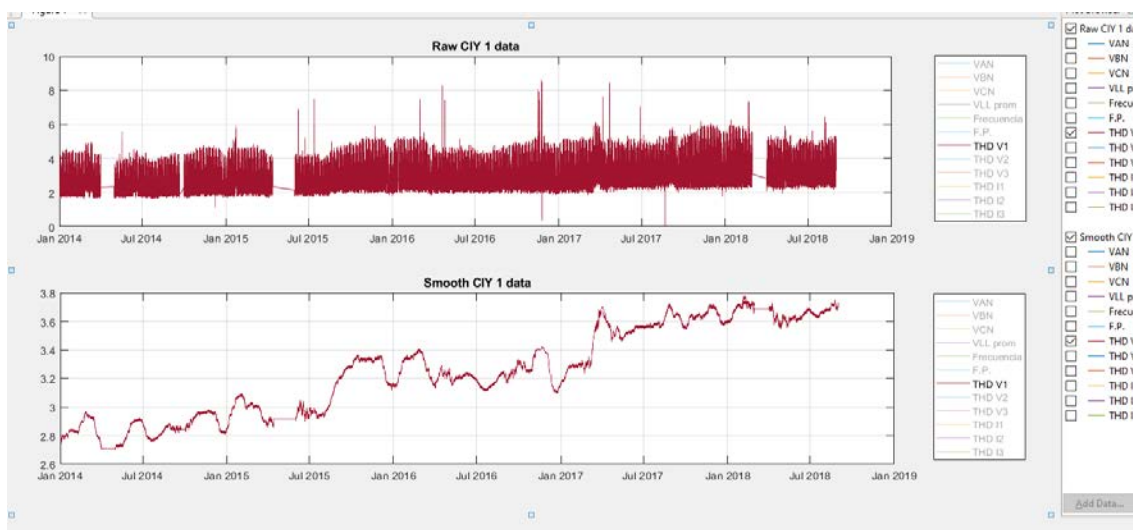


Figura 13.13.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 1

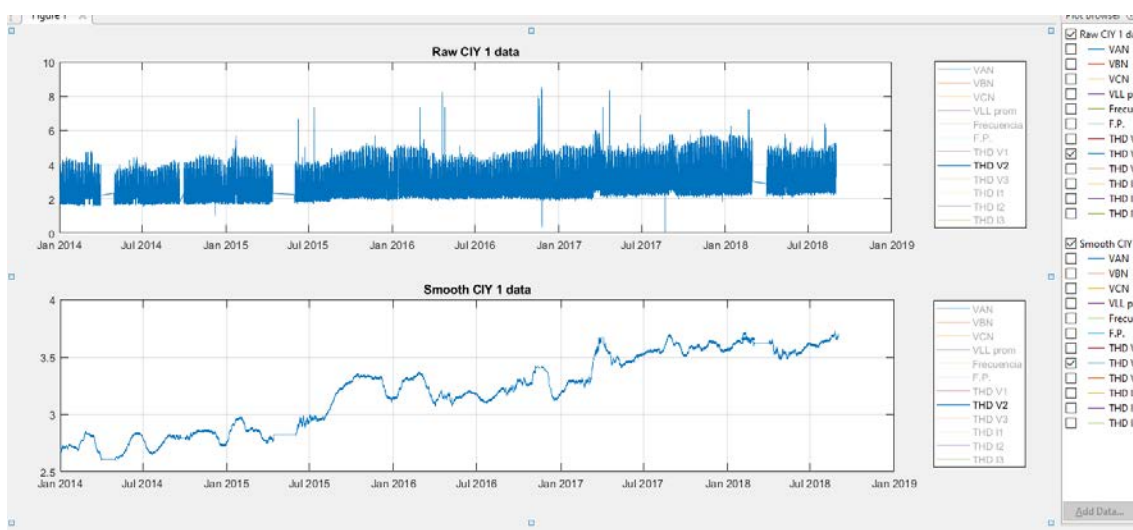


Figura 13.13.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 1

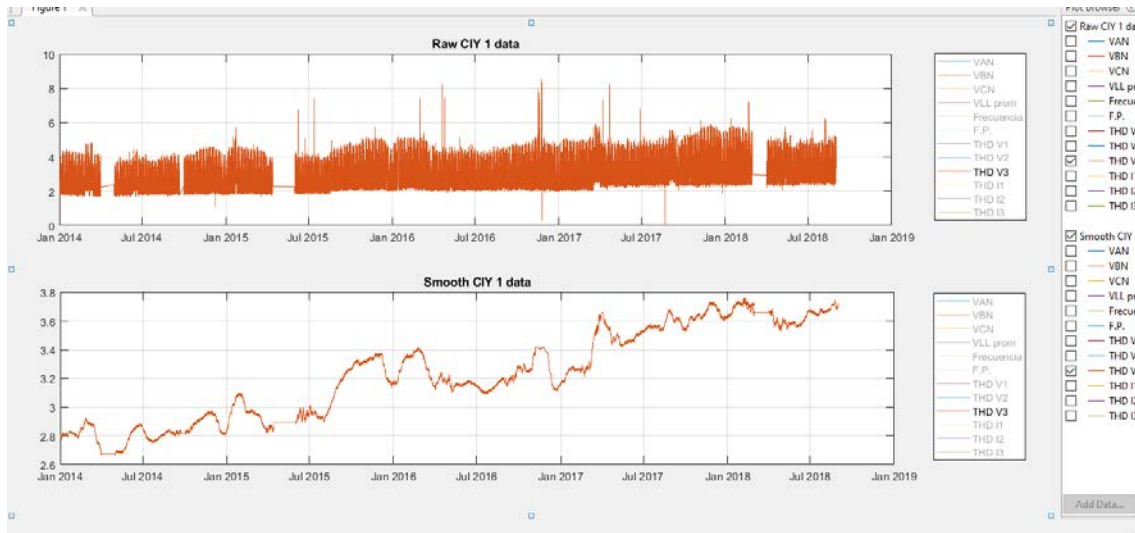


Figura 13.13.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 1

## Alimentador CIY 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.62	1.12	3.27
THD V2	8.59	1.02	3.22
THD V3	8.61	1.07	3.25
THD I1	11.21	0.39	4.07
THD I2	11.48	0.44	4.42
THD I3	66.38	0.47	3.98

Tabla 13.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 2

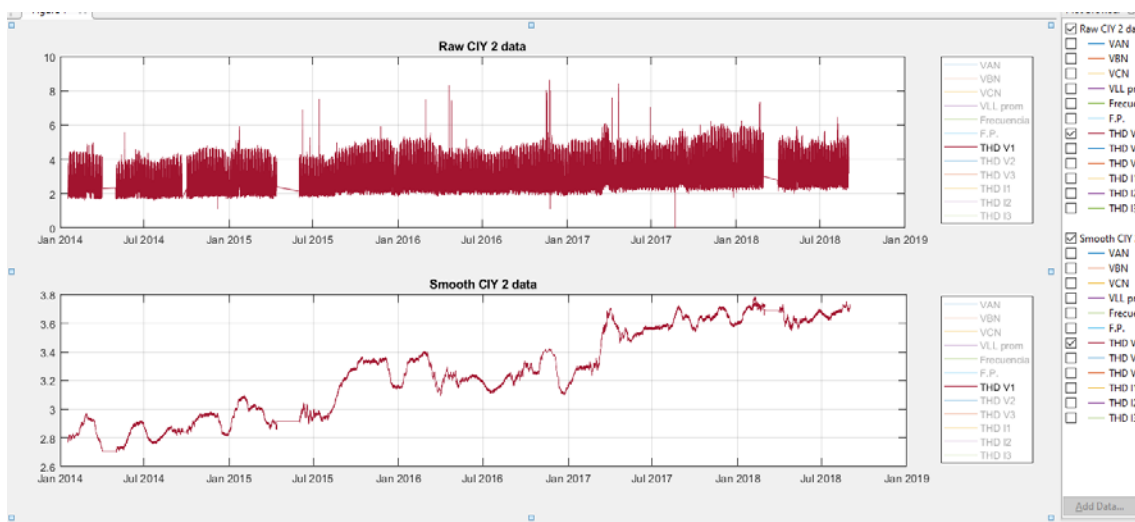


Figura 13.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 2

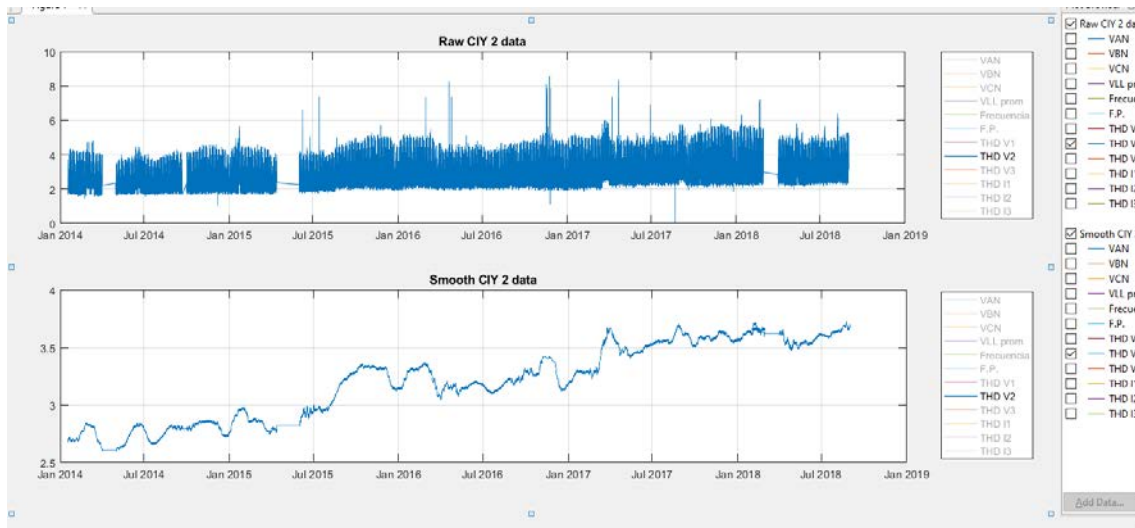


Figura 13.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 2

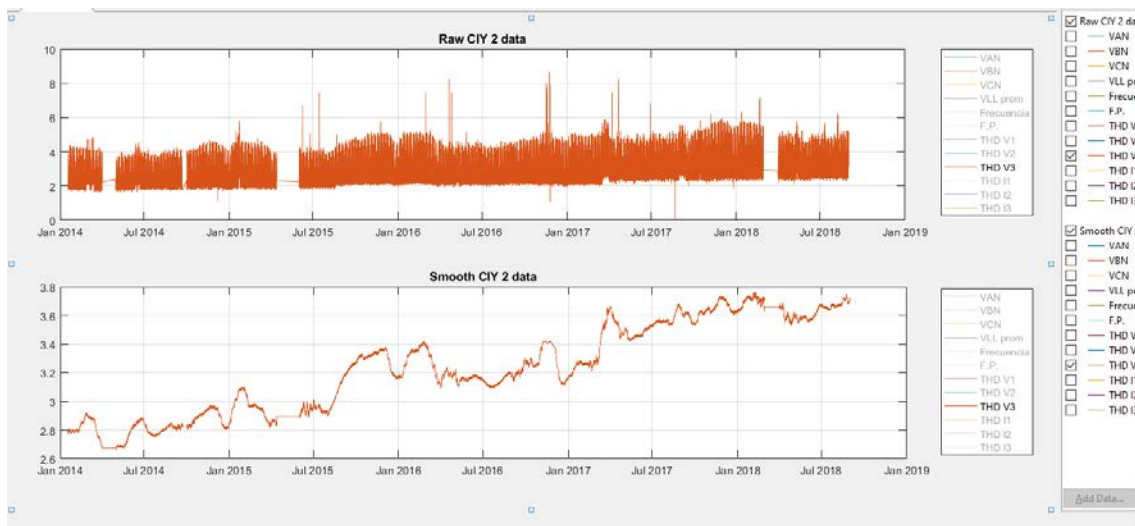


Figura 13.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 2

### Alimentador CIY 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.60	0.44	3.26
THD V2	8.58	0.45	3.21
THD V3	8.60	0.41	3.24
THD I1	17.11	0.06	3.75
THD I2	20.08	0.05	3.72
THD I3	19.44	0.06	3.58

Tabla 13.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 3

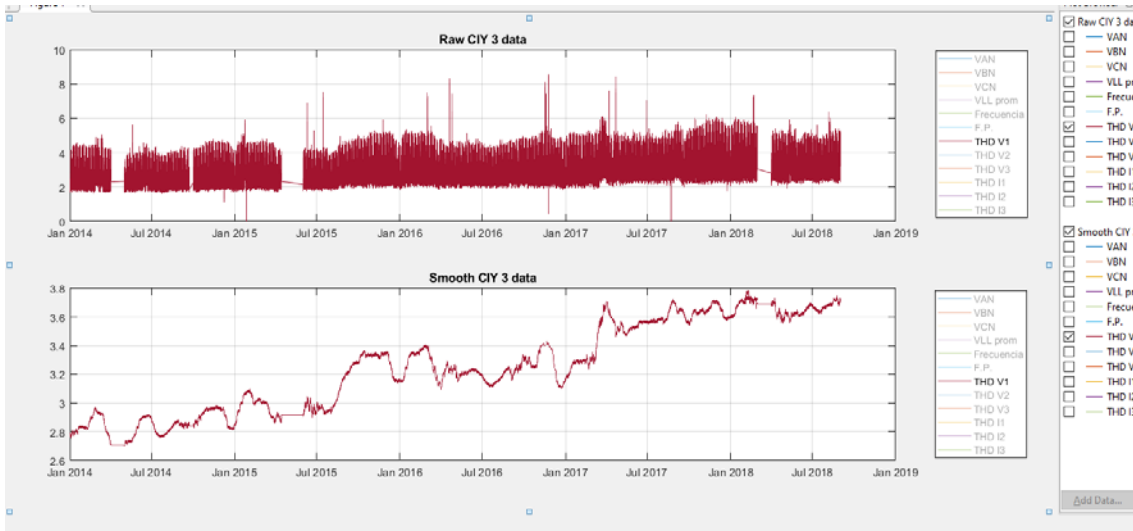


Figura 13.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 3

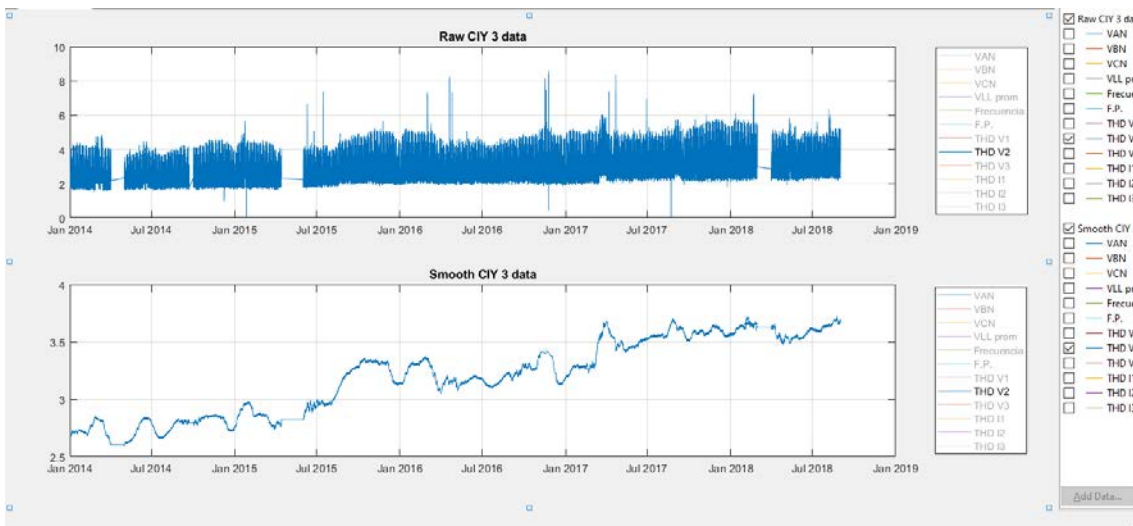


Figura 13.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 3

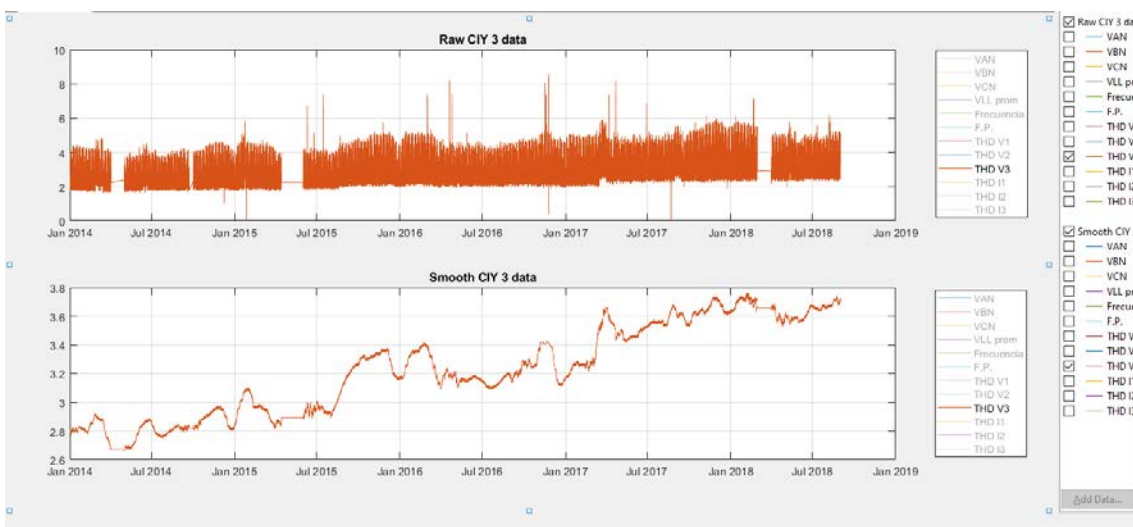


Figura 13.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 3

## Alimentador CIY 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.61	0.21	3.53
THD V2	8.59	0.20	3.48
THD V3	8.60	0.21	3.51
THD I1	19.91	1.41	14.66
THD I2	18.56	1.43	14.54
THD I3	20.48	1.67	15.83

Tabla 13.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 4

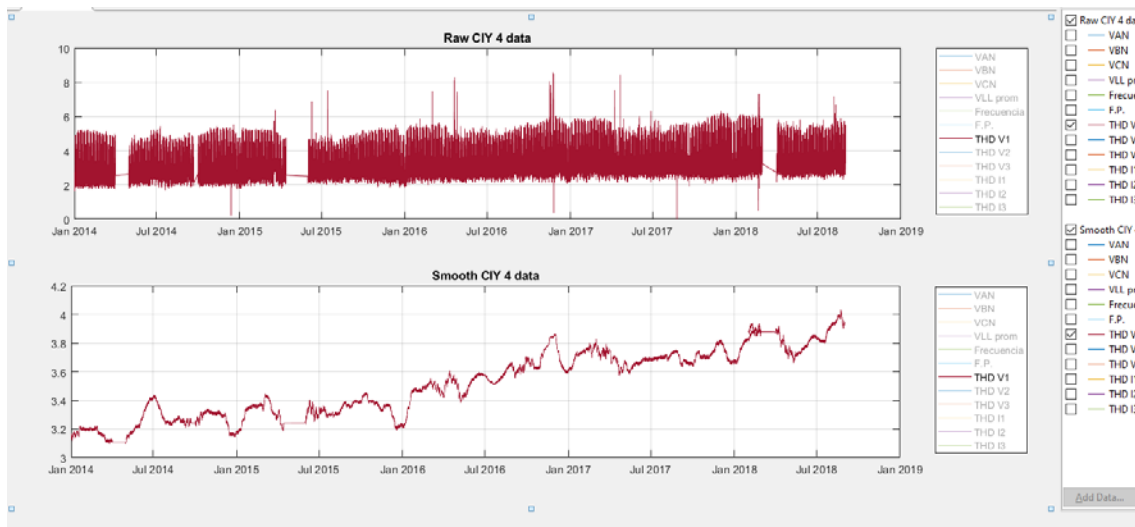


Figura 13.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 4

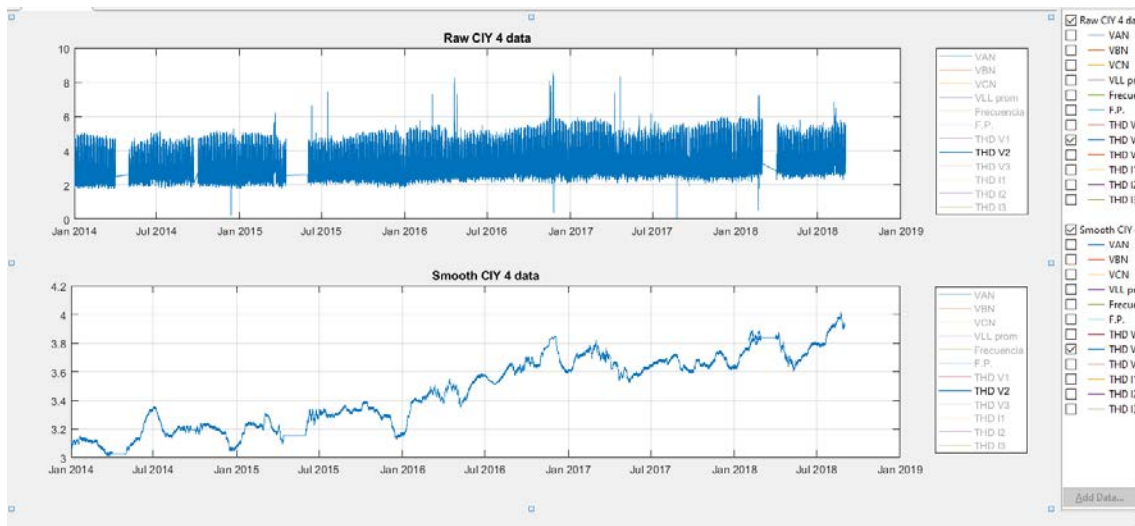


Figura 13.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 4

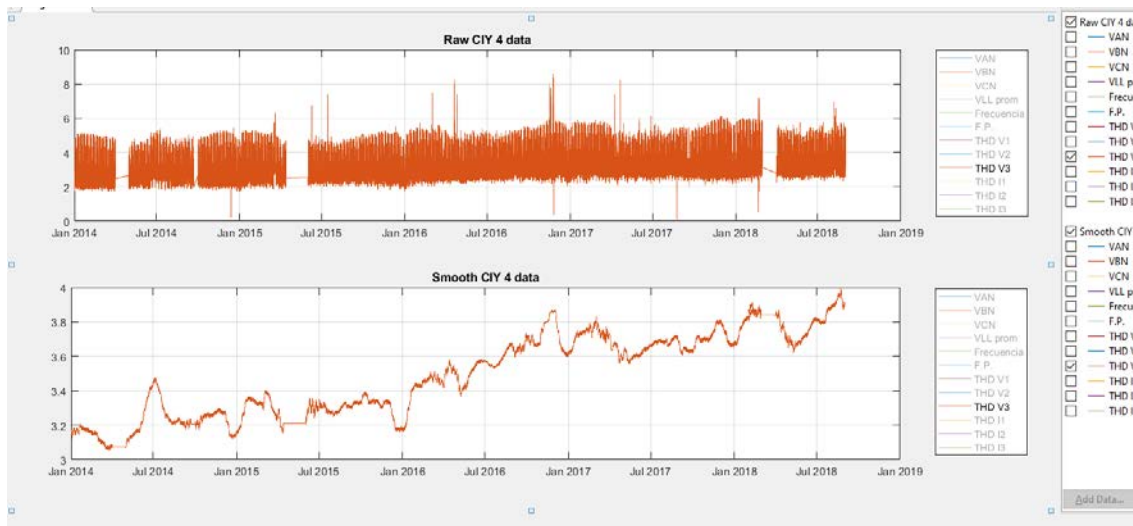


Figura 13.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 4

### Alimentador CIY 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.59	0.10	3.53
THD V2	8.58	0.11	3.48
THD V3	8.59	0.10	3.51
THD I1	11.73	0.24	5.88
THD I2	14.15	0.28	7.04
THD I3	13.03	0.26	6.66

Tabla 13.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador CIY 5

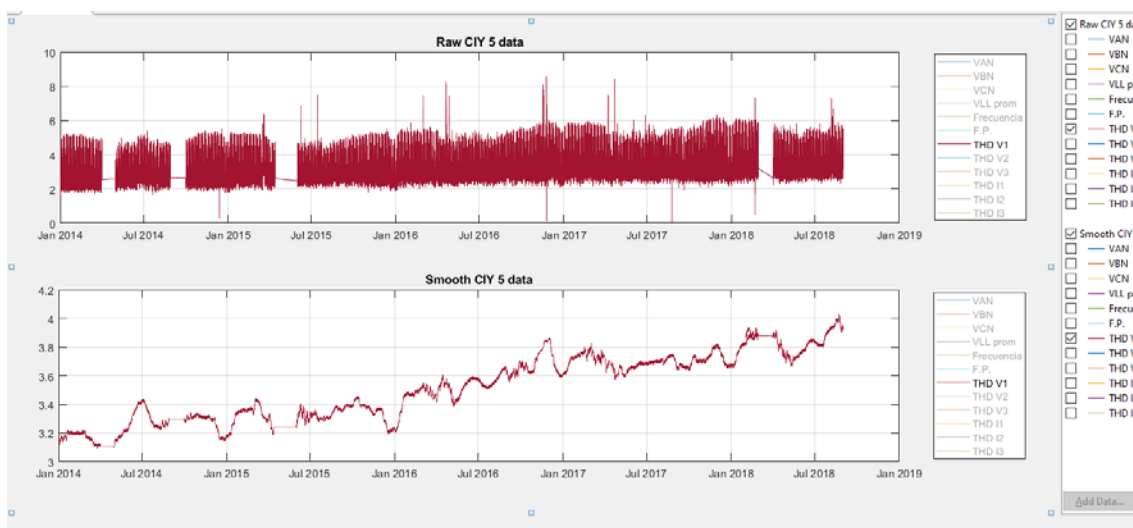


Figura 13.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador CIY 5

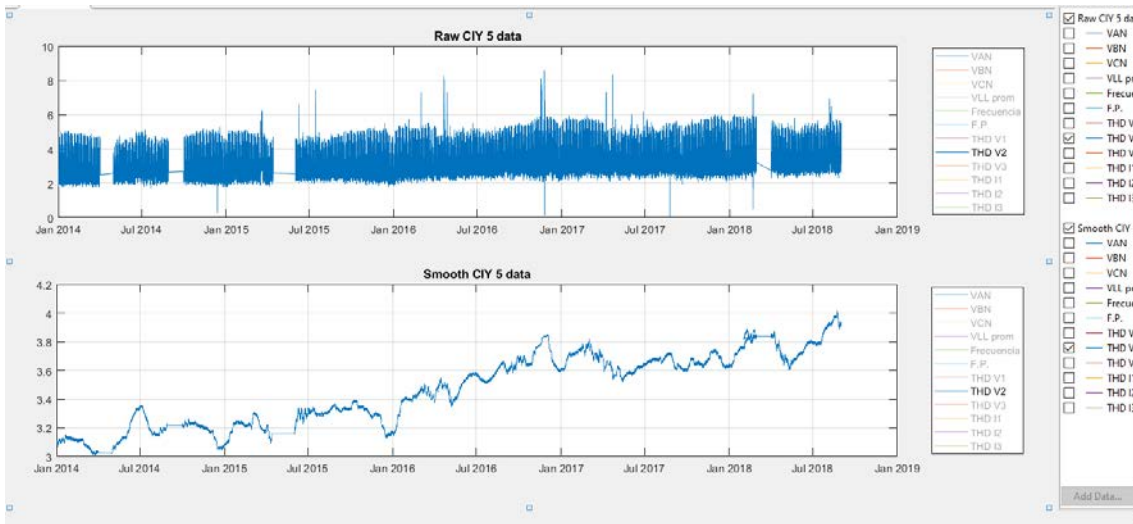


Figura 13.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador CIY 5

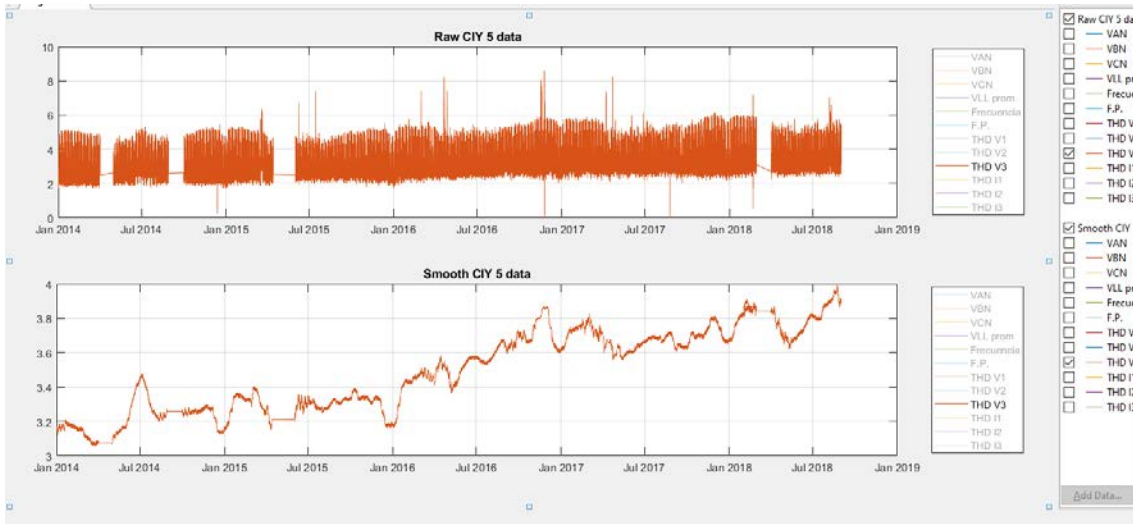


Figura 13.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador CIY 5

## 14. ANEXO H Subestación Fuertes (FUE)

### Alimentador FUE 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	9.20	0.00	3.10
THD V2	9.32	0.30	3.06
THD V3	9.67	0.36	3.20
THD I1	39.00	0.07	5.77
THD I2	36.48	0.08	7.91
THD I3	21.08	0.10	8.79

Tabla 14.14.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 1

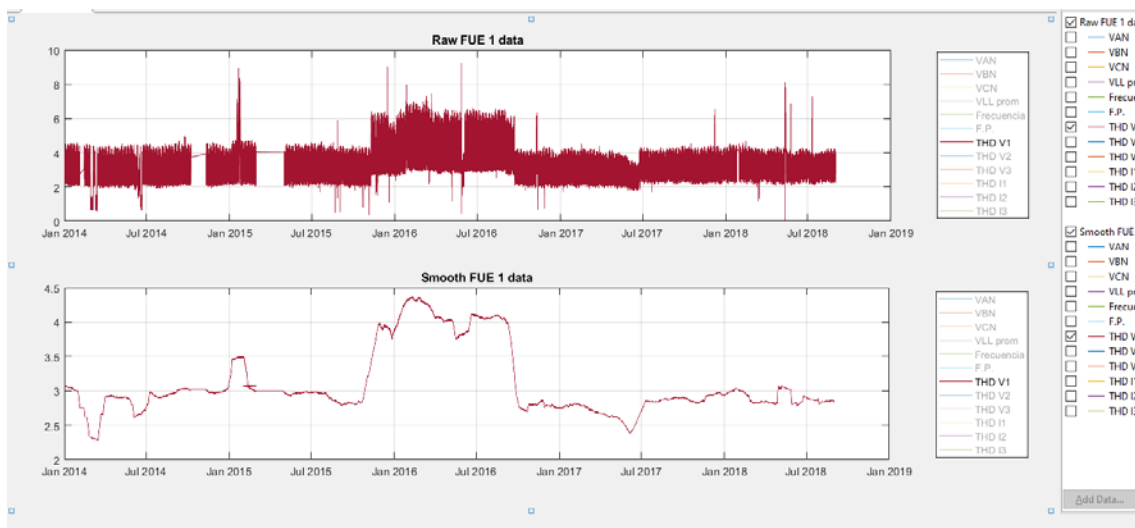


Figura 14.14.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 1

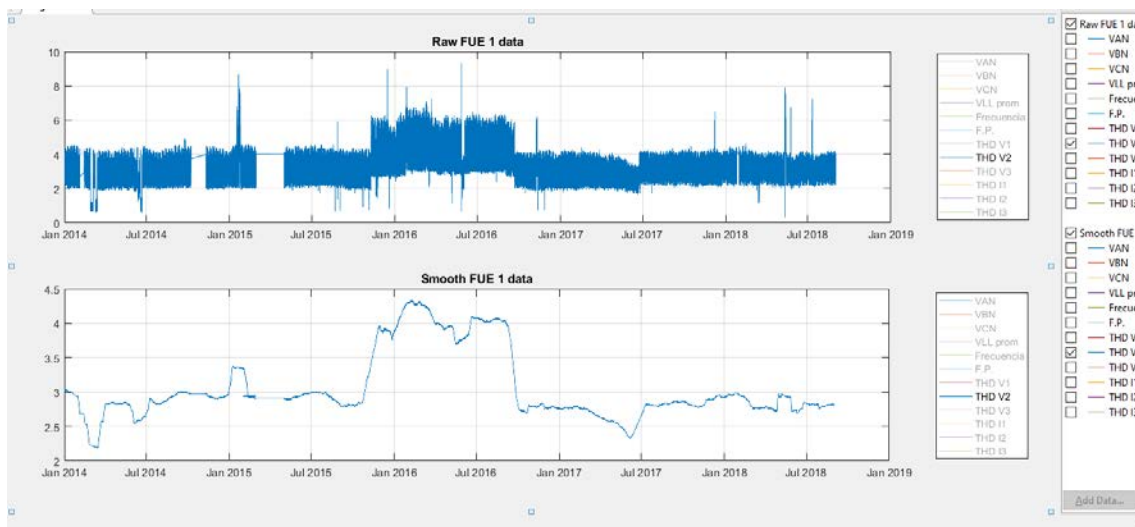


Figura 14.14.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 1

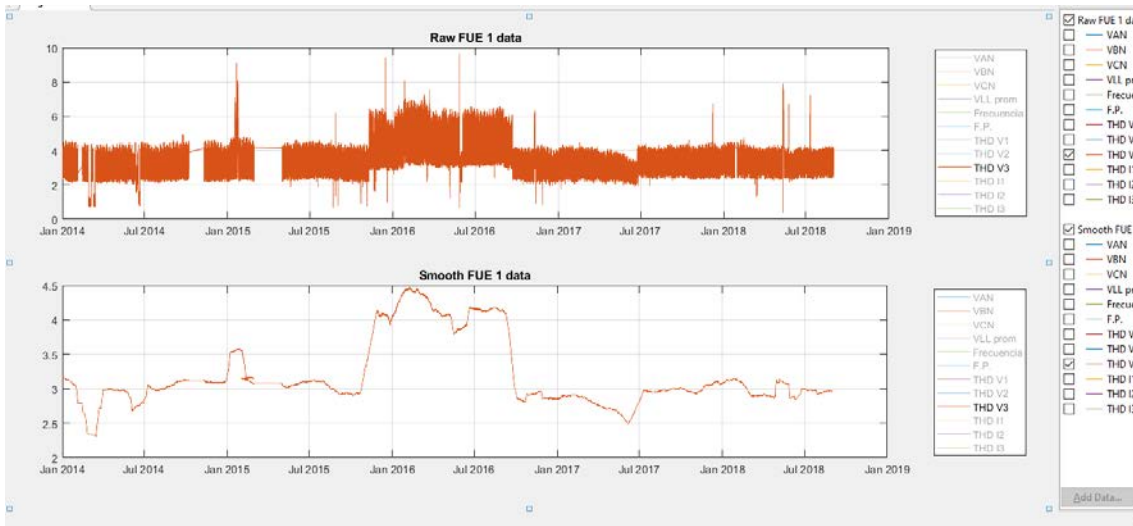


Figura 14.14.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 1

## Alimentador FUE 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	9.17	0.00	3.10
THD V2	9.28	0.30	3.06
THD V3	9.66	0.14	3.20
THD I1	27.21	0.09	4.85
THD I2	27.48	0.10	4.73
THD I3	31.97	0.10	5.27

Tabla 14.14.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 2

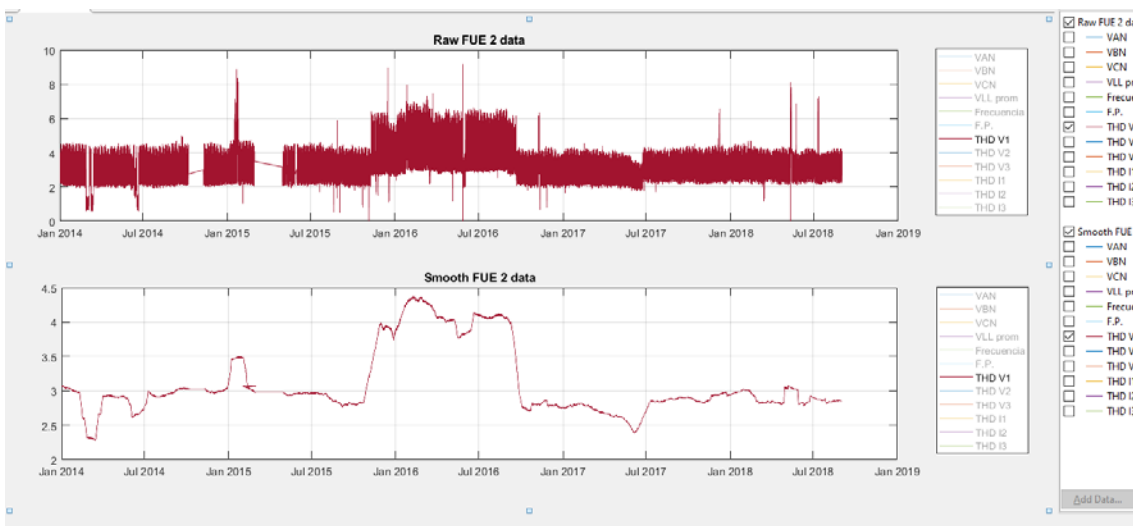


Figura 14.14.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 2

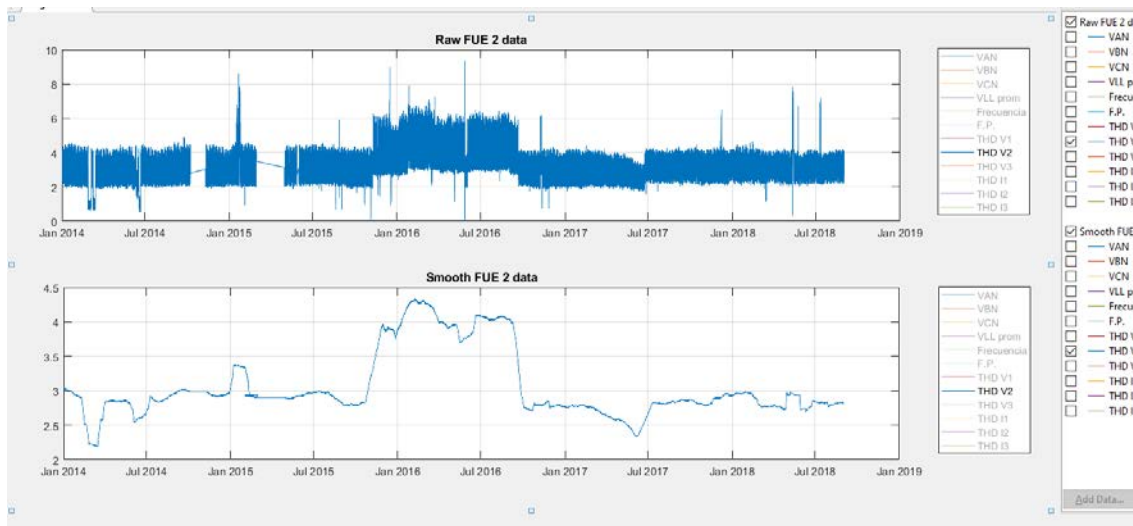


Figura 14.14.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 2

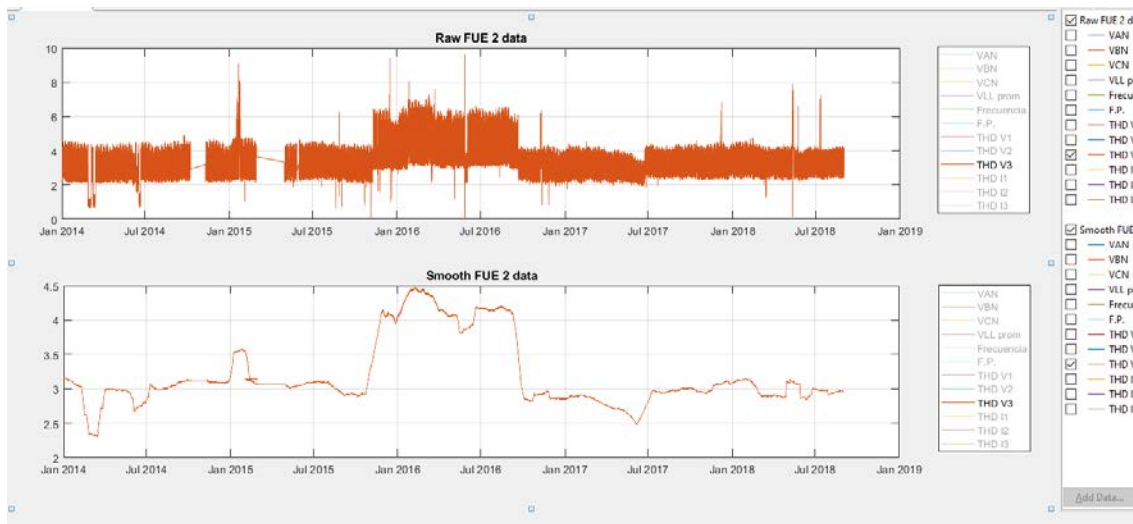


Figura 14.14.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 2

### Alimentador FUE 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	9.19	0.00	3.10
THD V2	9.30	0.31	3.06
THD V3	9.67	0.12	3.19
THD I1	20.68	0.22	6.54
THD I2	28.59	0.25	7.39
THD I3	26.03	0.24	6.98

Tabla 14.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 3

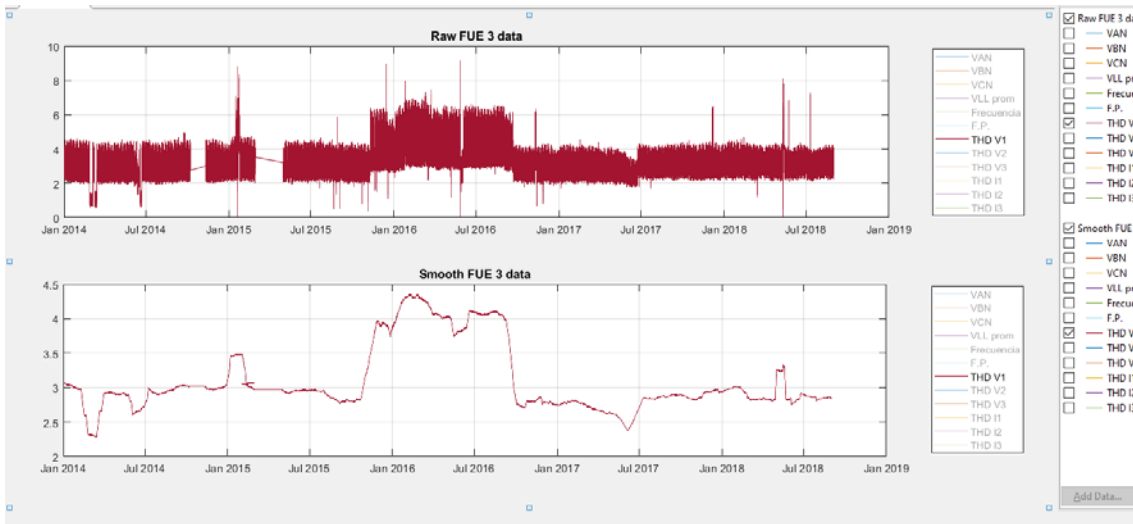


Figura 14.14.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 3

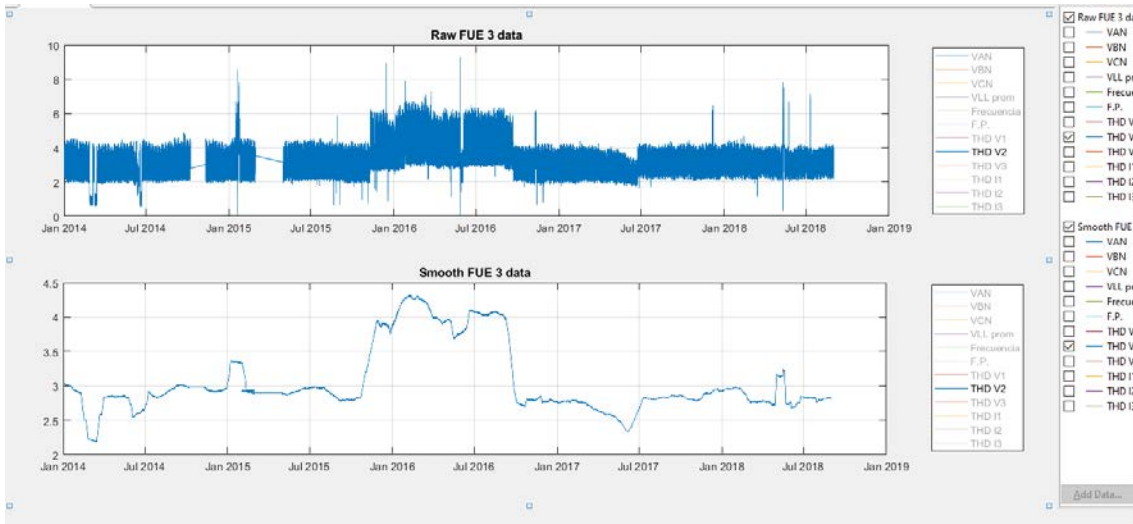


Figura 14.14.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 3

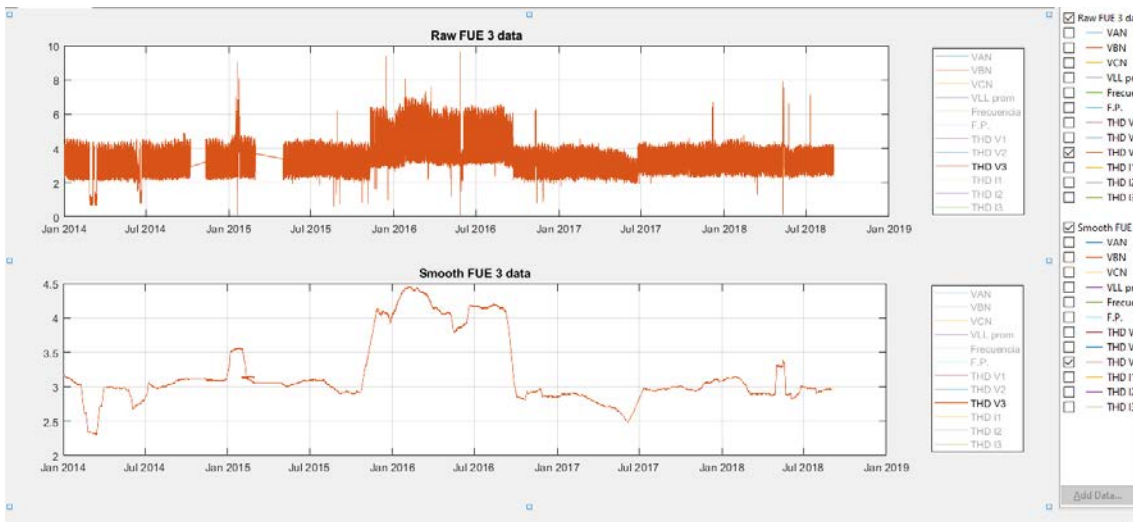


Figura 14.14.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 3

## Alimentador FUE 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	9.20	0.03	3.11
THD V2	9.32	0.28	3.06
THD V3	9.68	0.37	3.20
THD I1	20.85	0.04	10.71
THD I2	15.36	0.03	9.88
THD I3	40.27	0.03	9.03

Tabla 14.14.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 4

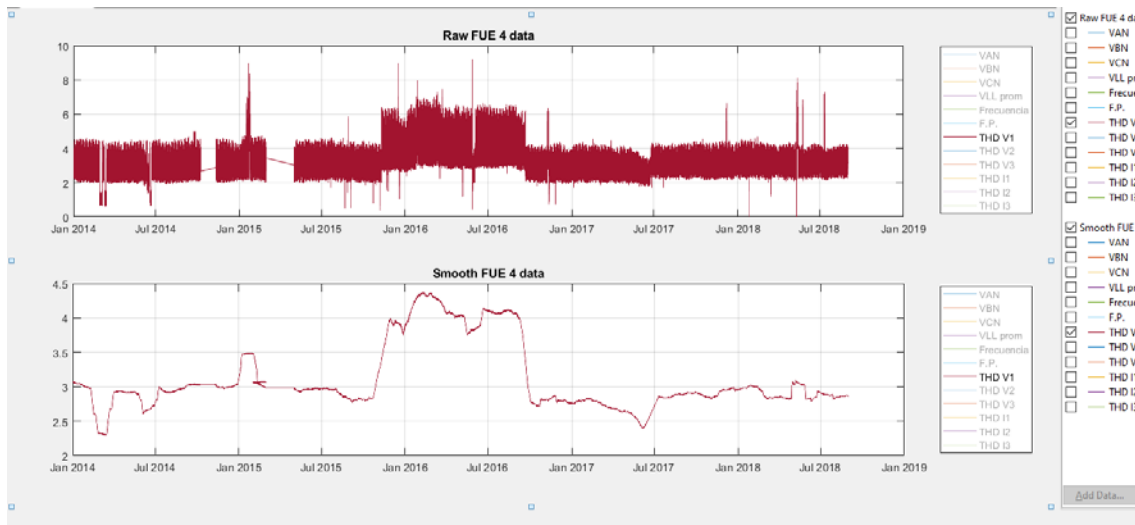


Figura 14.14.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 4

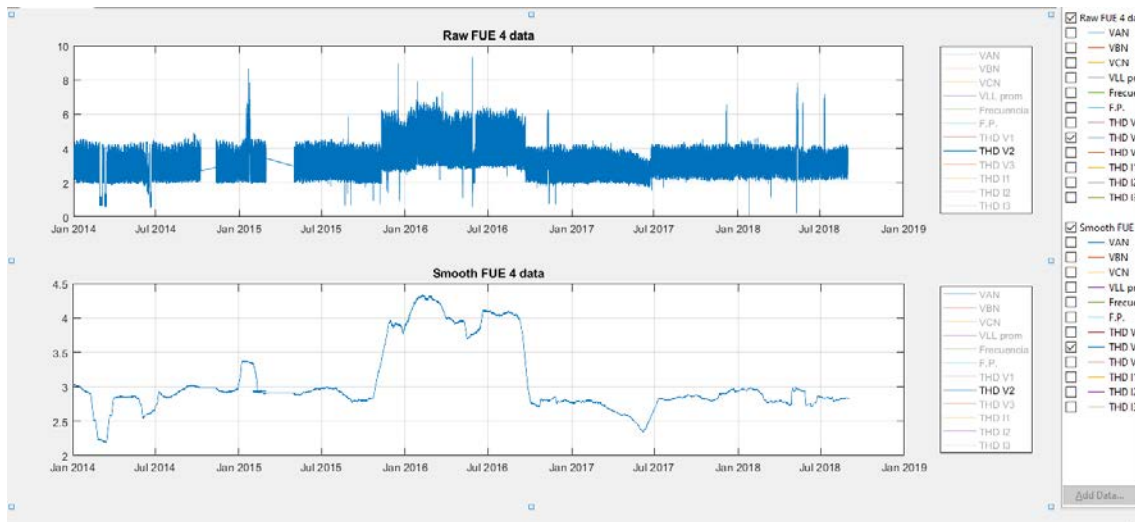


Figura 14.14.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 4

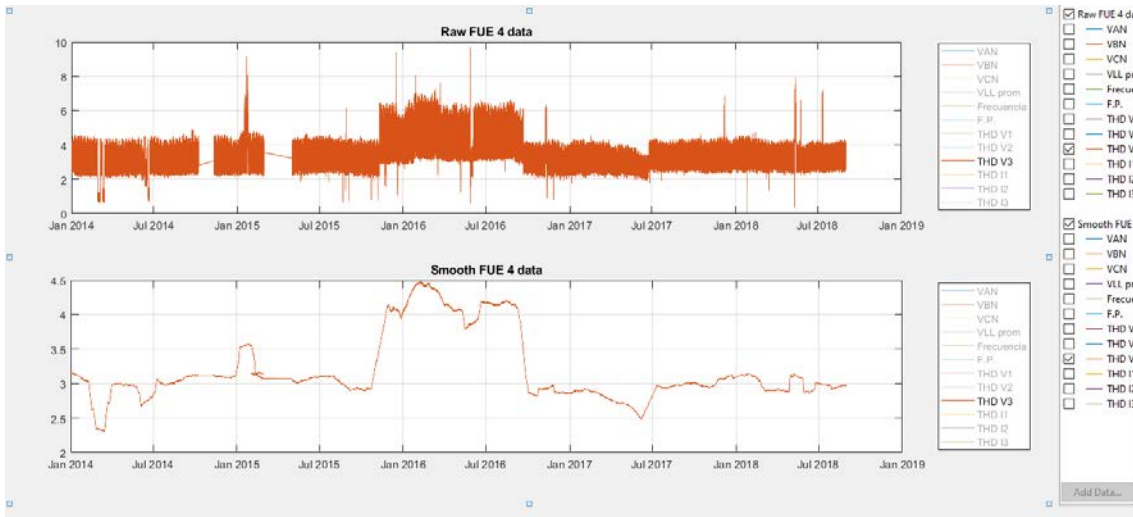


Figura 14.14.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 4

### Alimentador FUE 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	8.97	0.07	2.36
THD V2	9.42	0.28	2.45
THD V3	8.88	0.23	2.41
THD I1	11.45	0.39	6.11
THD I2	13.58	0.44	7.01
THD I3	18.97	0.40	6.18

Tabla 14.14.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador FUE 5

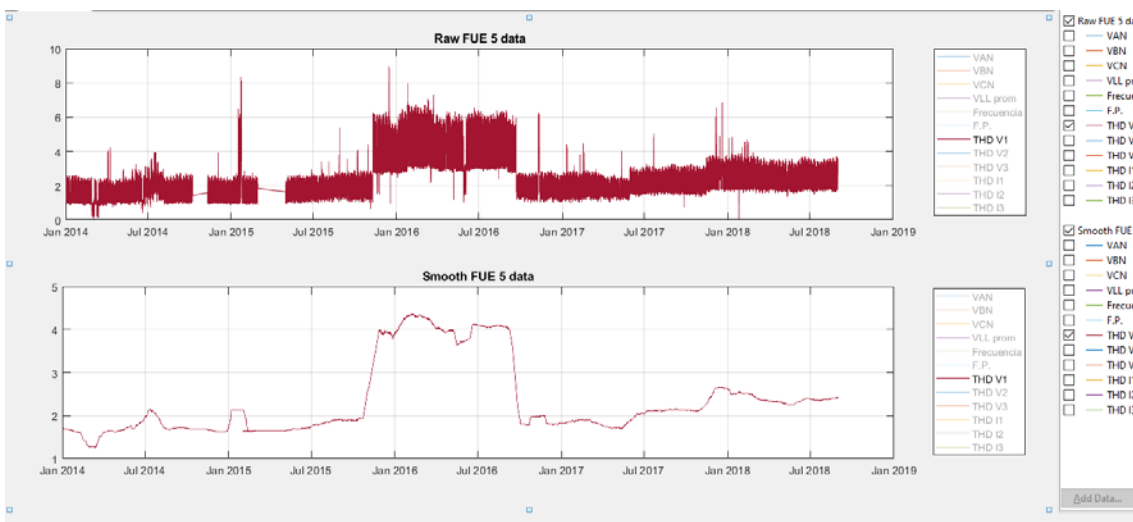


Figura 14.14.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador FUE 5

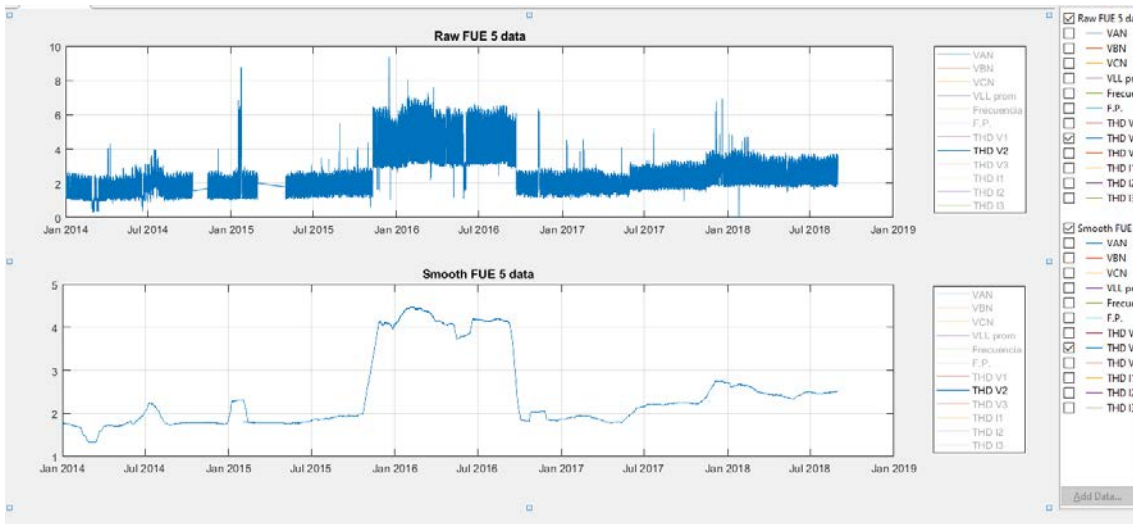


Figura 14.14.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador FUE 5

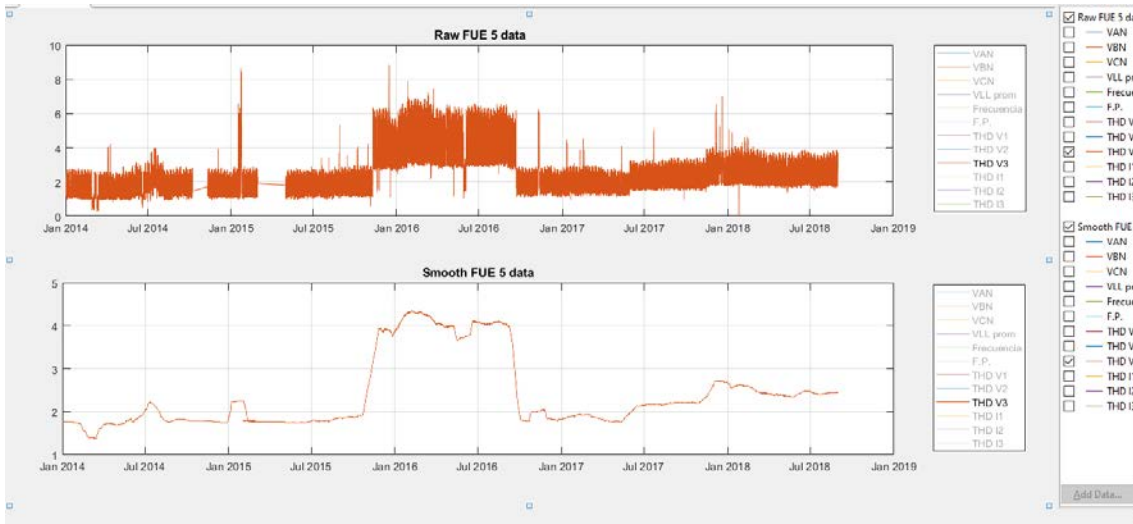


Figura 14.14.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador FUE 5

## 15. ANEXO I Subestación Guadalupe Analco (GAN)

### Alimentador GAN 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.96	0.60	3.80
THD V2	10.38	0.78	3.80
THD V3	10.97	0.68	3.78
THD I1	50.11	0.64	11.04
THD I2	29.61	0.37	8.66
THD I3	85.99	0.47	9.75

Tabla 15.15.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 1

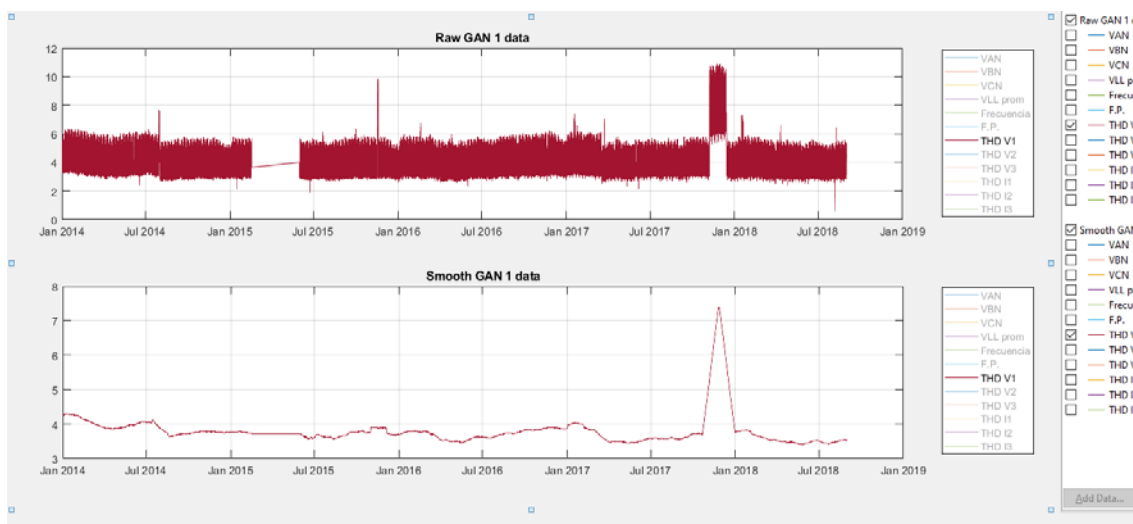


Figura 15.15.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 1

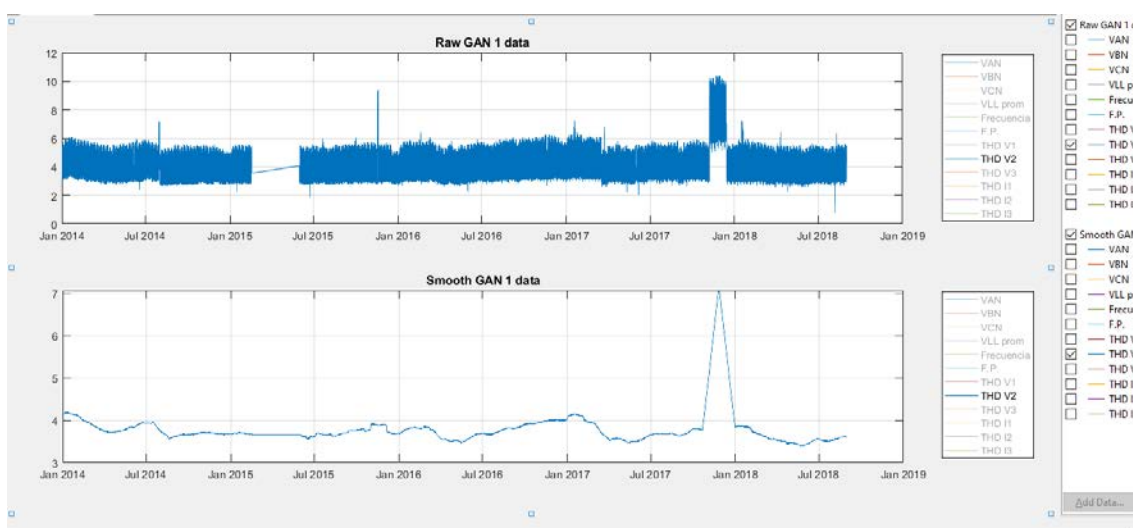


Figura 15.15.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 1

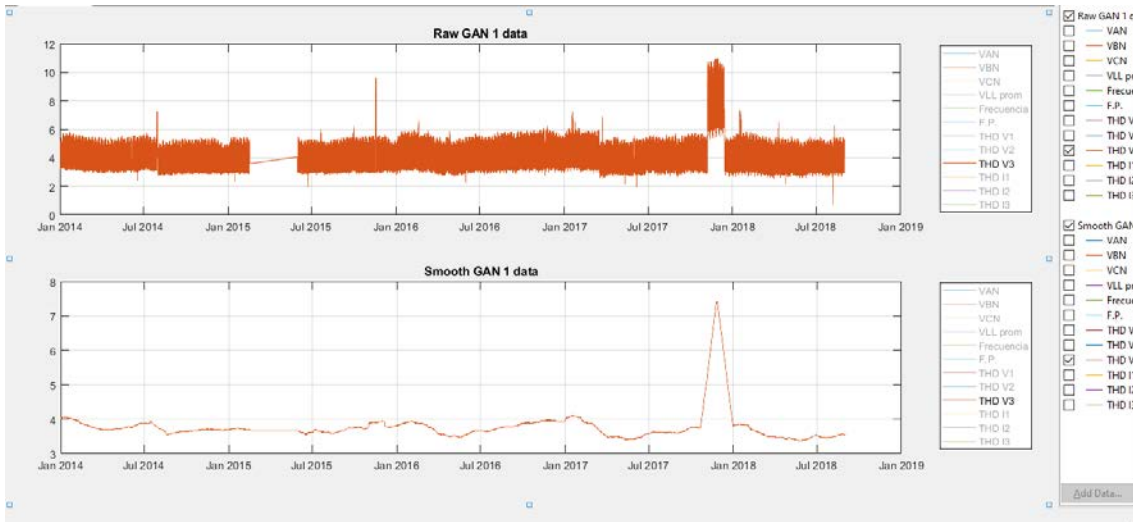


Figura 15.15.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 1

## Alimentador GAN 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.96	0.51	4.63
THD V2	10.95	0.39	4.70
THD V3	10.41	0.47	4.45
THD I1	25.03	0.01	6.43
THD I2	19.48	0.01	6.57
THD I3	29.70	0.26	5.79

Tabla 15.15.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 2

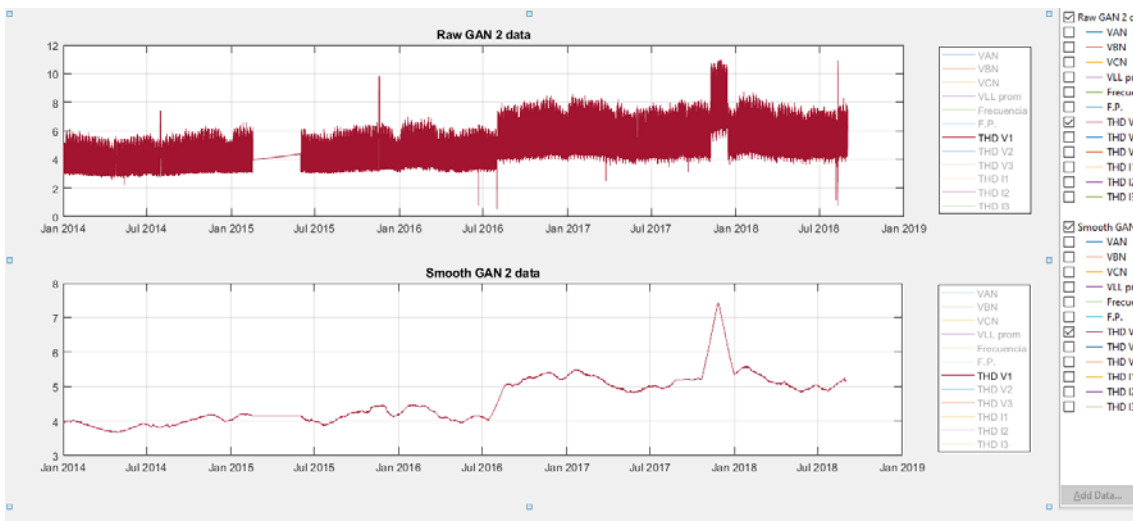


Figura 15.15.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 2

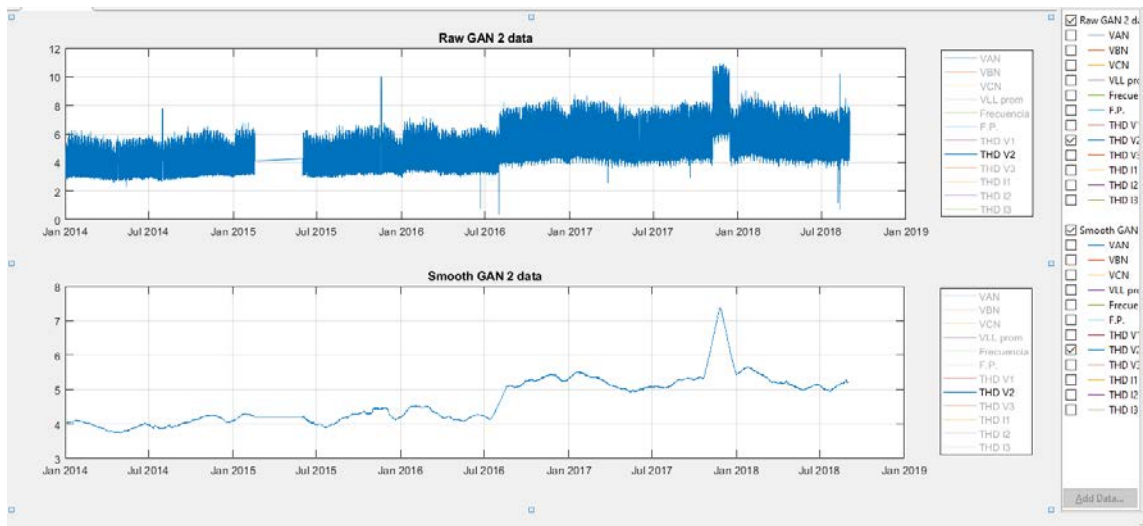


Figura 15.15.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 2

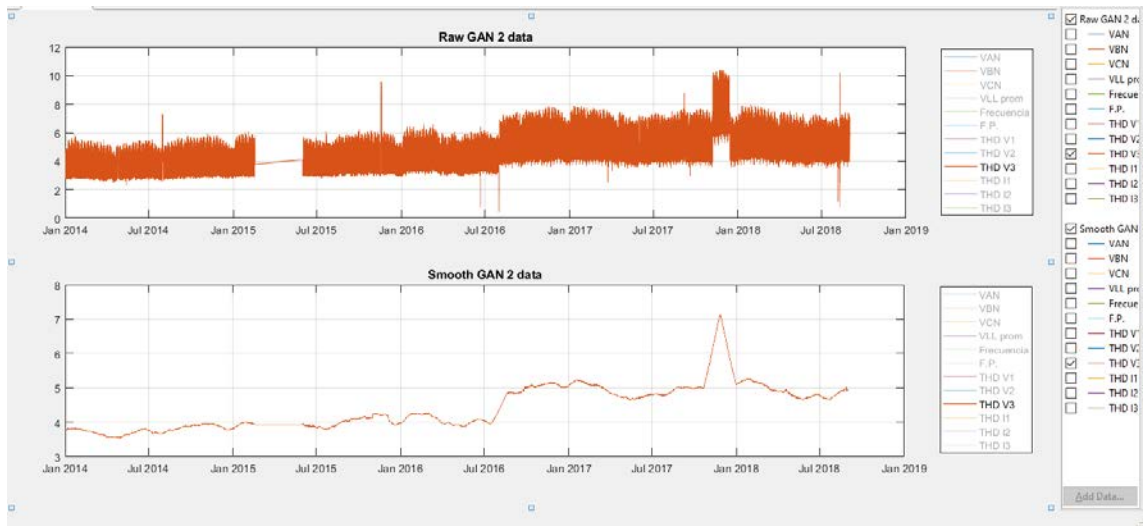


Figura 15.15.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 2

### Alimentador GAN 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.95	0.39	4.70
THD V2	10.40	0.47	4.44
THD V3	10.96	0.51	4.63
THD I1	62.24	0.10	7.74
THD I2	16.77	0.01	5.88
THD I3	14.56	0.01	6.16

Tabla 15.15.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 3

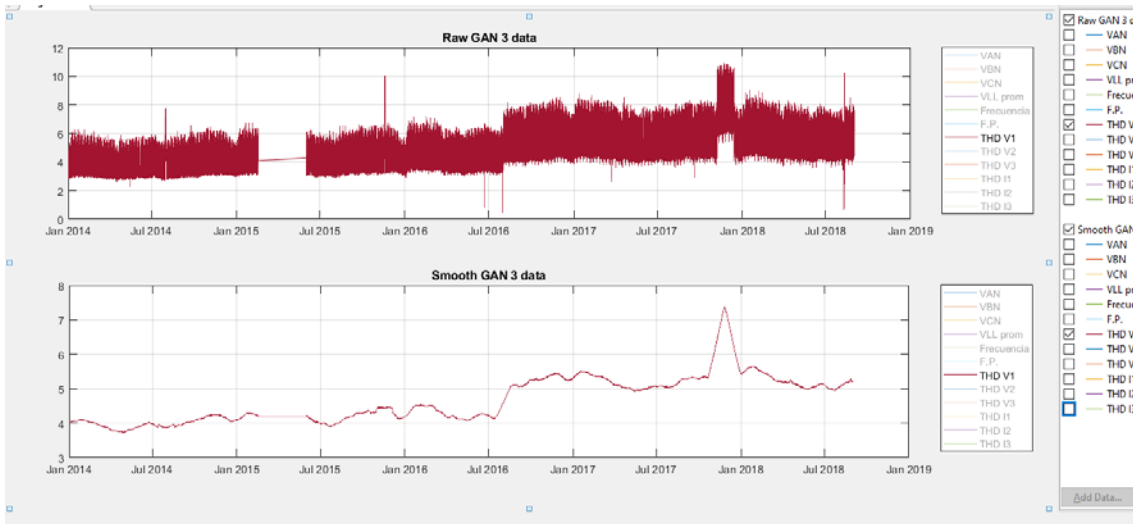


Figura 15.15.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 3

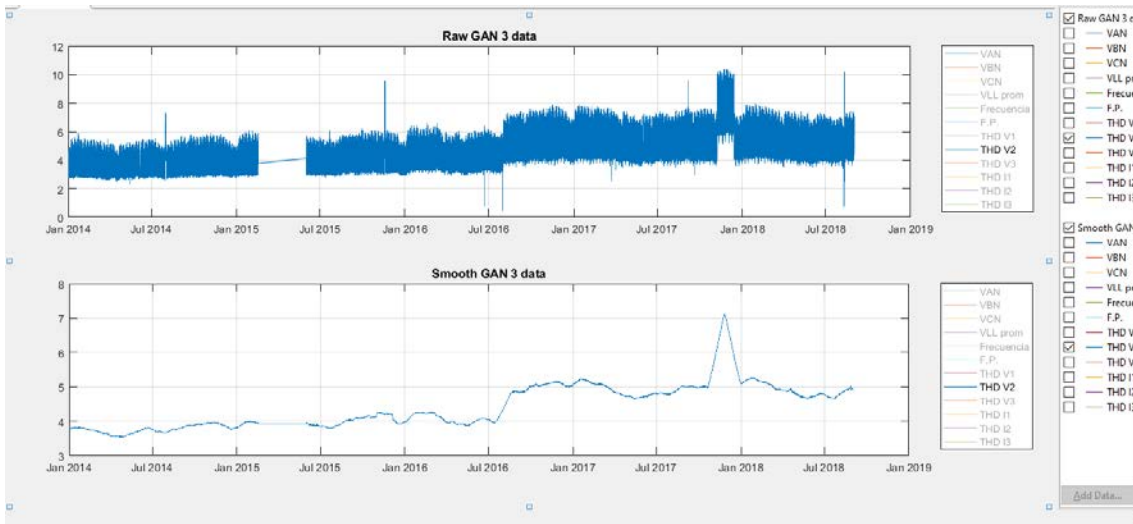


Figura 15.15.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 3

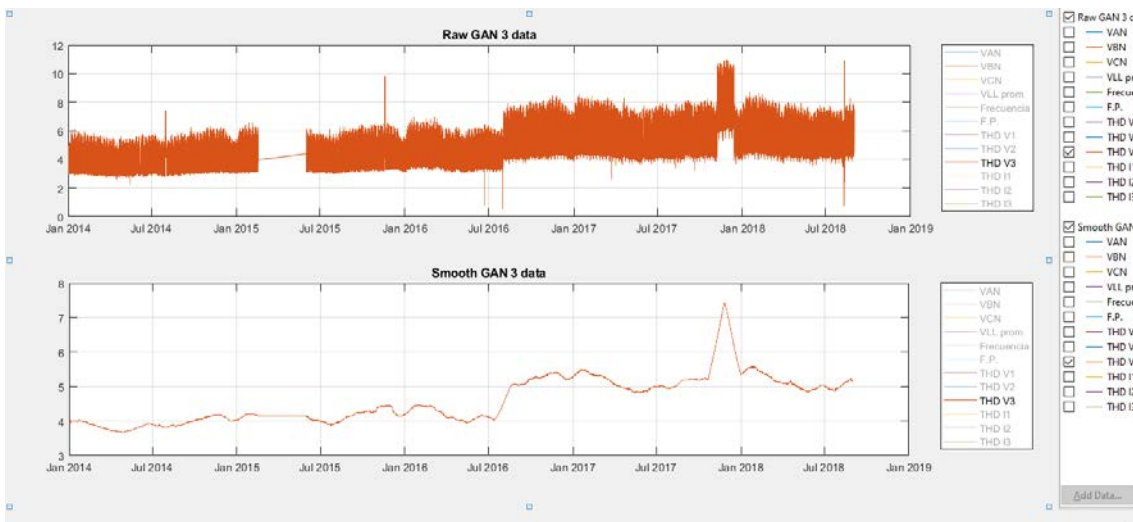


Figura 15.15.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 3

## Alimentador GAN 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.96	0.39	4.70
THD V2	10.40	0.48	4.45
THD V3	10.97	0.52	4.63
THD I1	30.17	0.02	8.45
THD I2	37.15	0.02	7.33
THD I3	27.25	0.02	7.66

Tabla 15.15.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 4

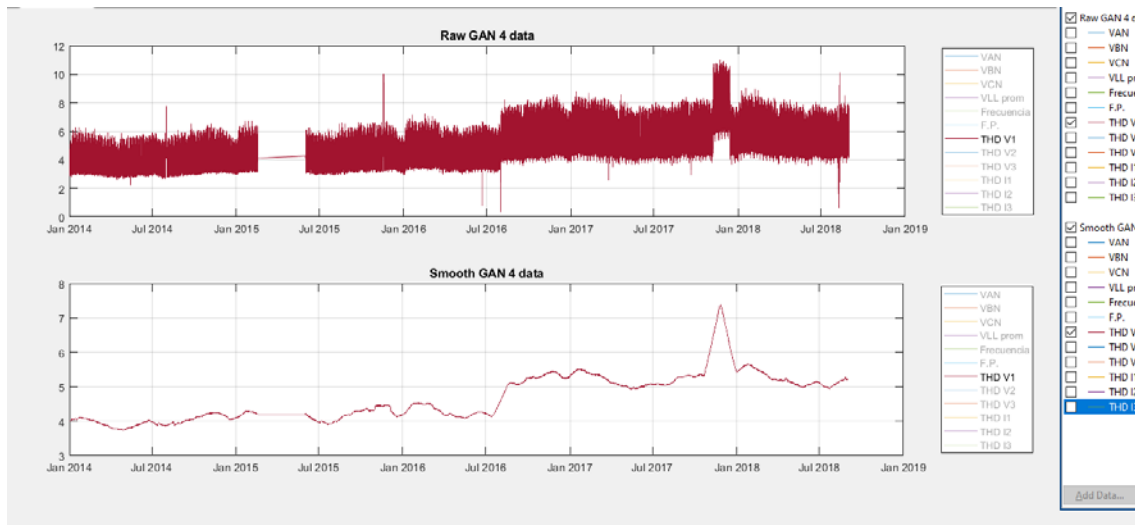


Figura 15.15.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 4

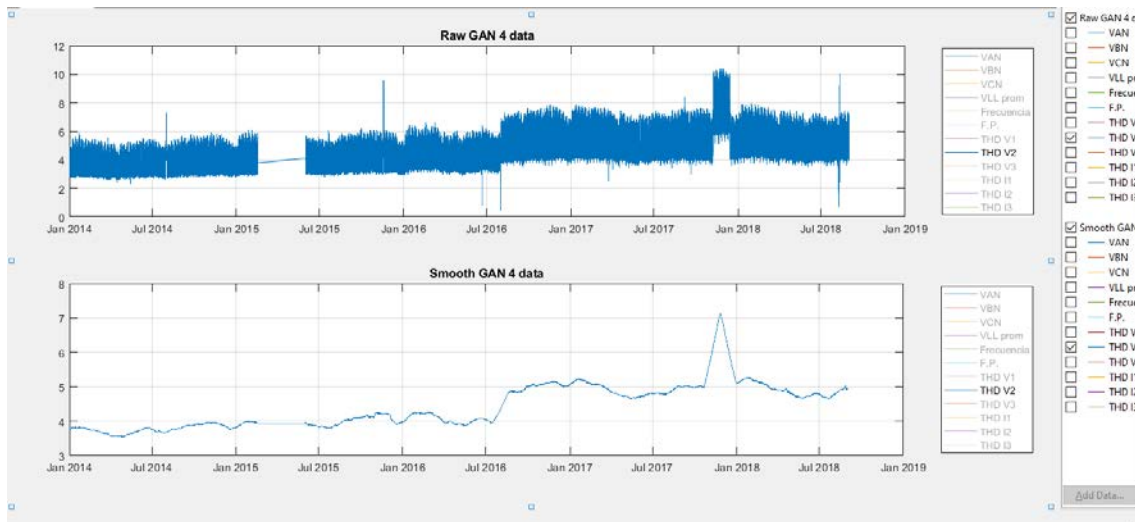


Figura 15.15.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 4

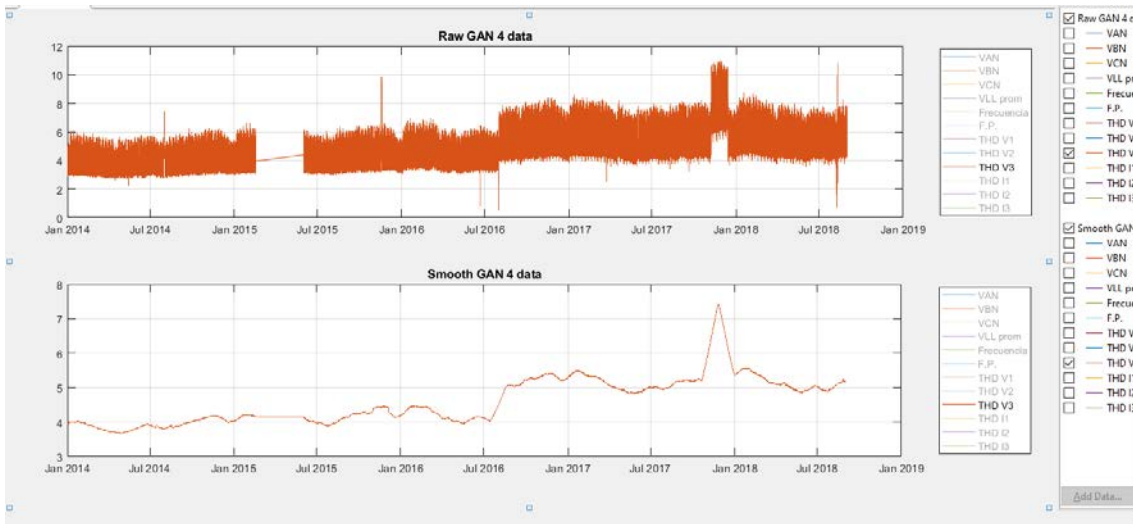


Figura 15.15.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 4

## Alimentador GAN 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	10.97	0.59	3.79
THD V2	10.38	0.78	3.80
THD V3	10.97	0.69	3.78
THD I1	11.18	0.09	5.18
THD I2	11.94	0.16	6.88
THD I3	15.17	0.05	6.72

Tabla 15.15.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador GAN 5

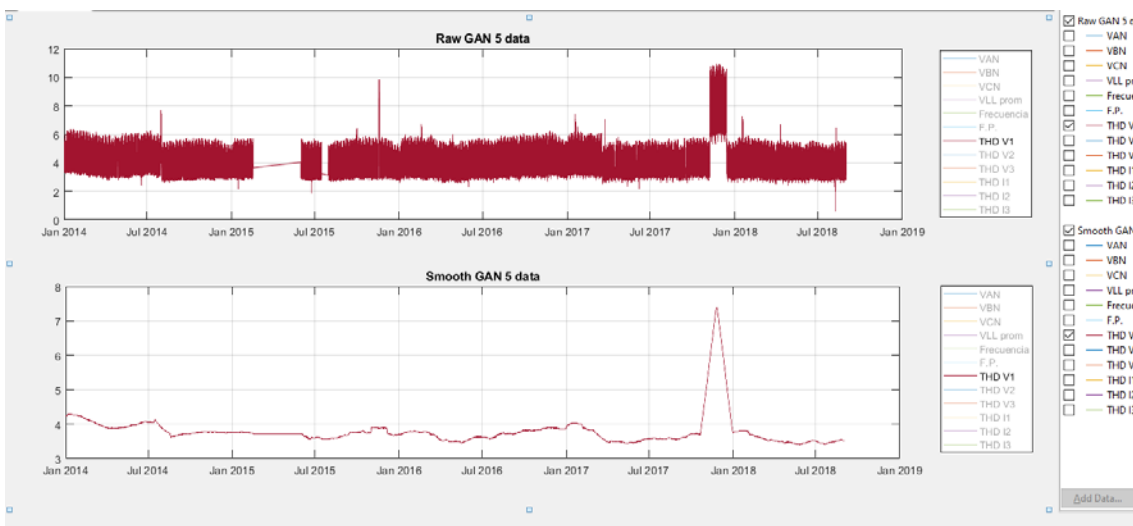


Figura 15.15.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador GAN 5

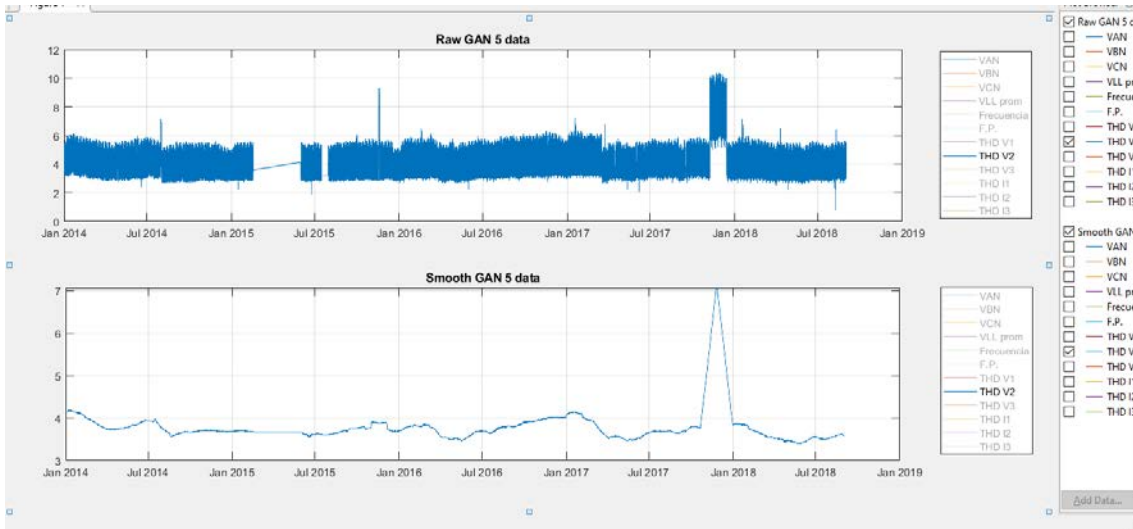


Figura 15.15.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador GAN 5

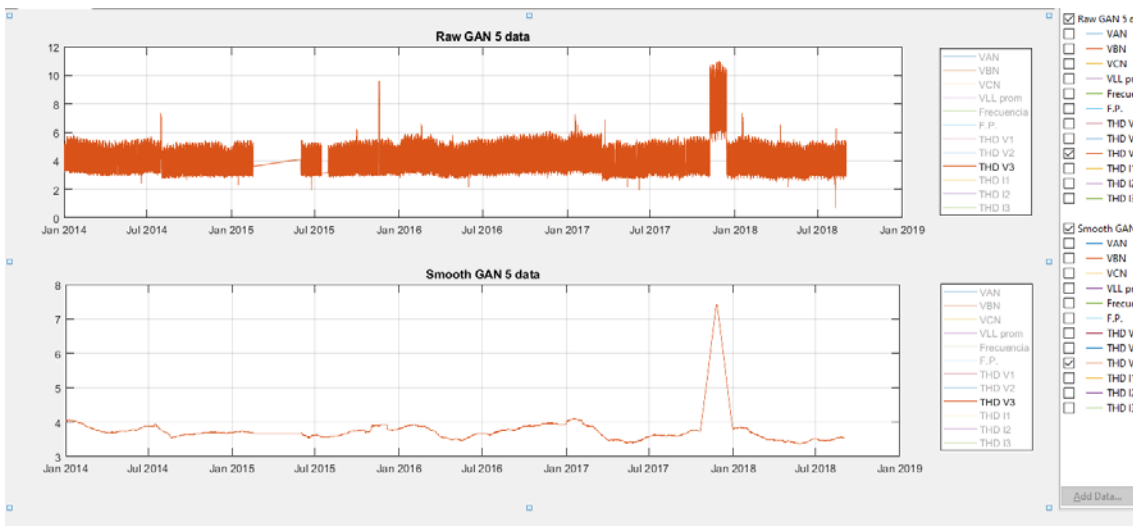


Figura 15.15.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador GAN 5

## 16. ANEXO J Subestación Industrial (INT)

### Alimentador INT 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	5.00	0.19	0.69
THD V2	5.00	0.17	0.72
THD V3	3.72	0.29	0.86
THD I1	51.11	0.05	3.07
THD I2	58.64	0.05	3.10
THD I3	43.44	0.05	2.84

Tabla 16.16.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 1

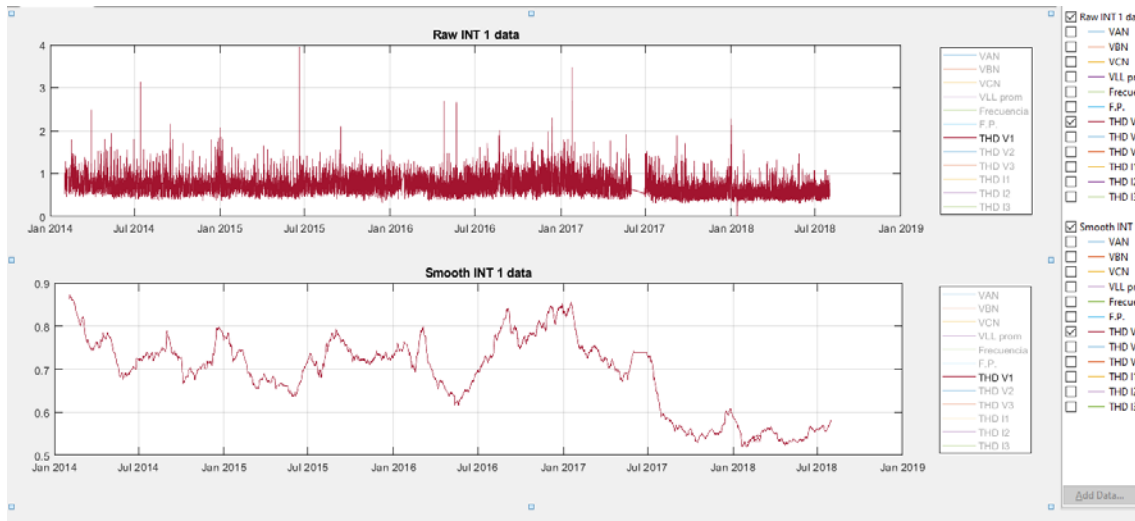


Figura 16.16.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 1

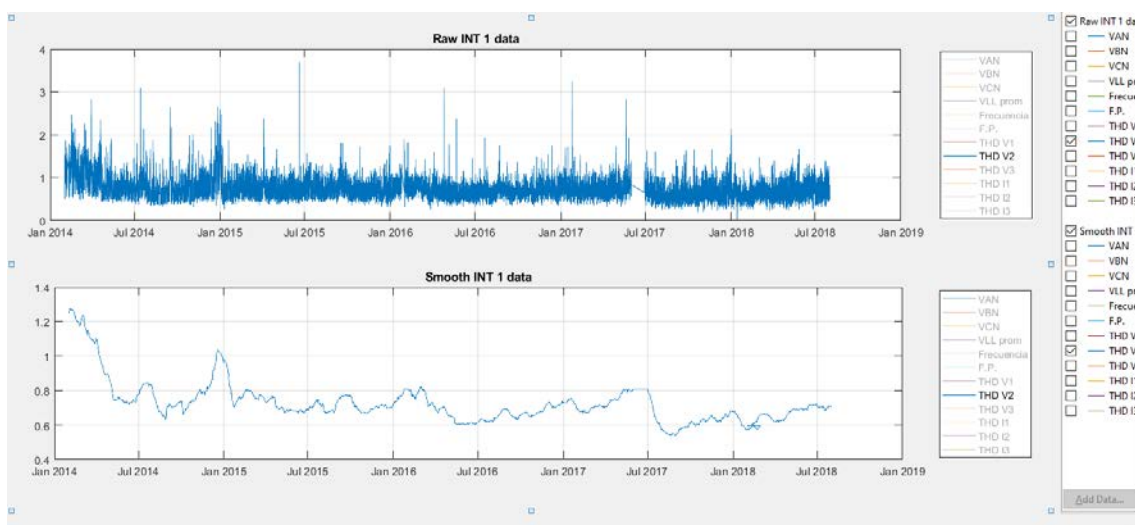


Figura 16.16.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 1

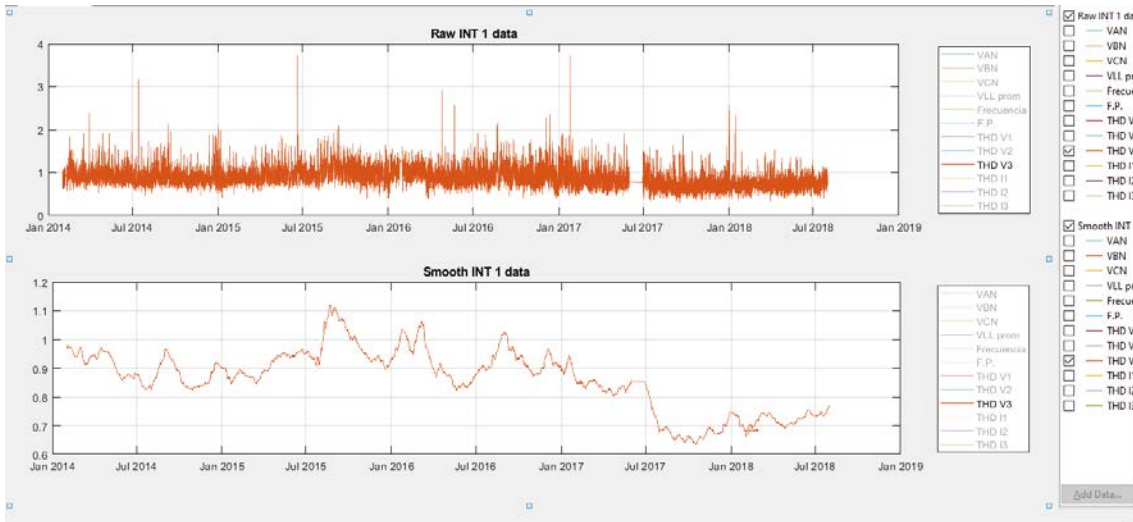


Figura 16.16.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 1

## Alimentador INT 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	5.00	0.06	0.69
THD V2	5.00	0.06	0.72
THD V3	5.00	0.21	0.86
THD I1	21.89	0.04	4.24
THD I2	21.19	0.02	4.37
THD I3	19.46	0.02	4.12

Tabla 16.16.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 2

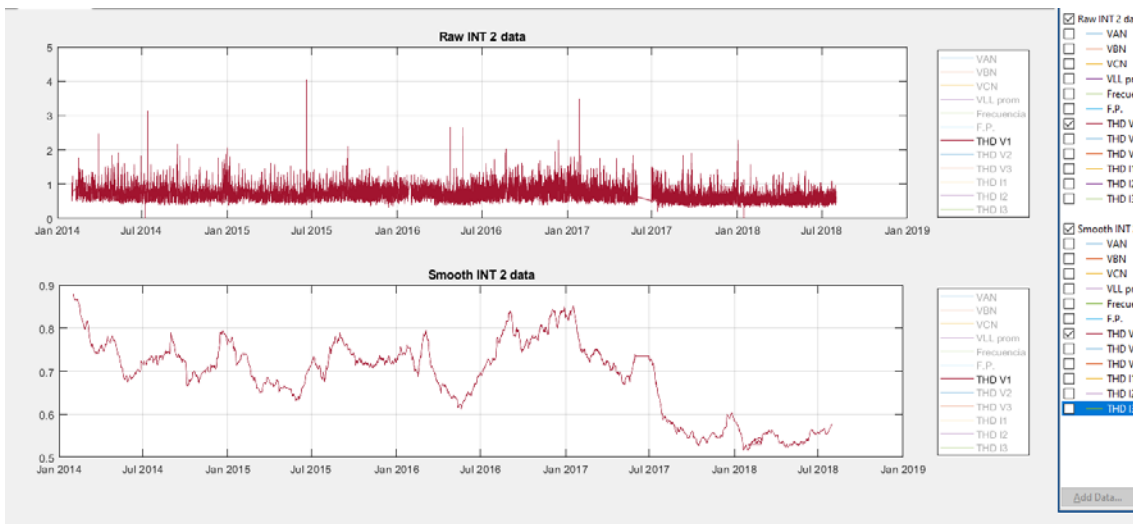


Figura 16.16.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 2

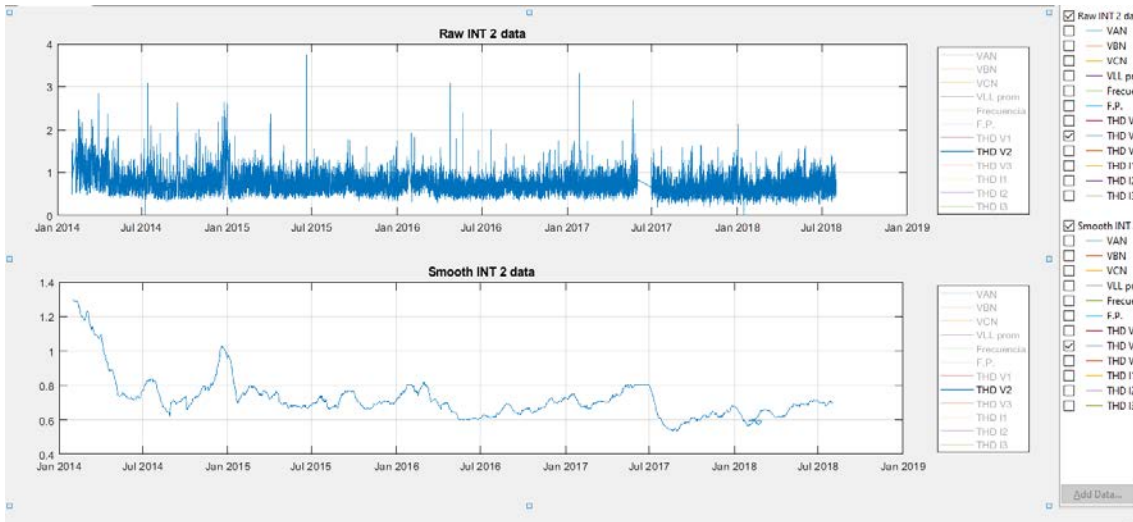


Figura 16.16.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 2

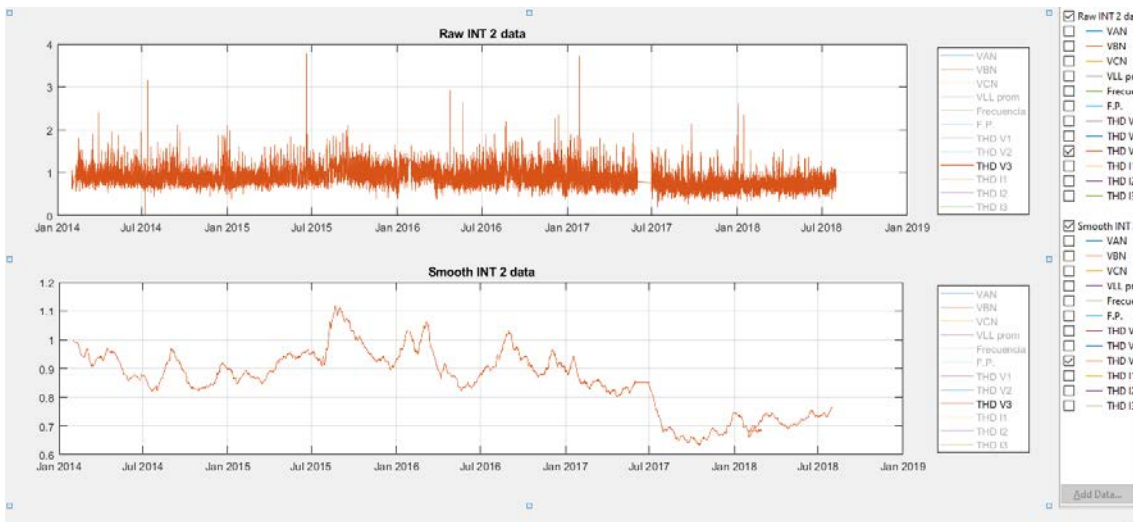


Figura 16.16.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 2

### Alimentador INT 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	5.00	0.30	1.18
THD V2	5.00	0.29	0.97
THD V3	5.00	0.27	0.96
THD I1	37.37	0.05	3.52
THD I2	35.36	0.05	3.75
THD I3	43.62	0.04	3.38

Tabla 16.16.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 3

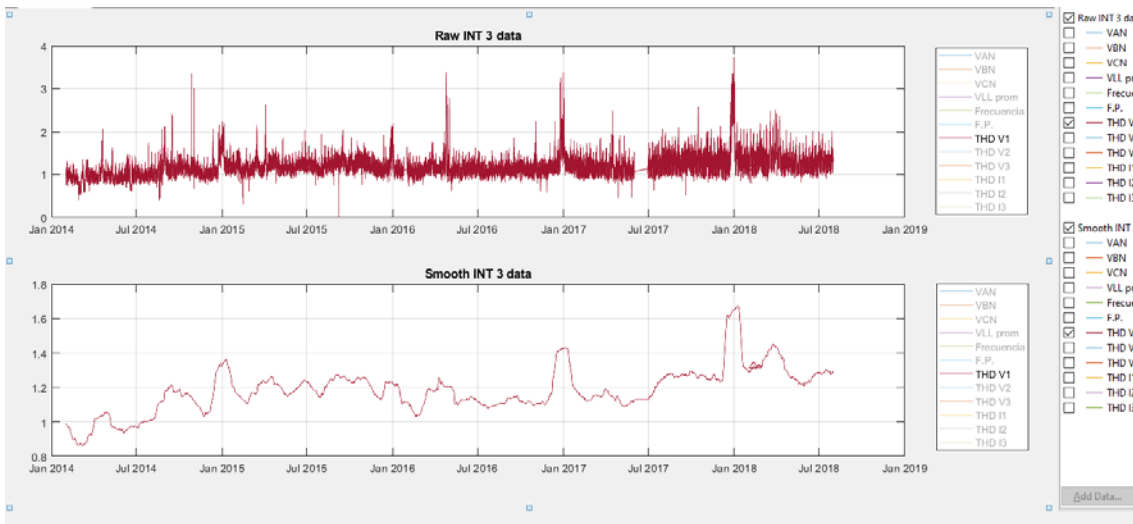


Figura 16.16.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 3

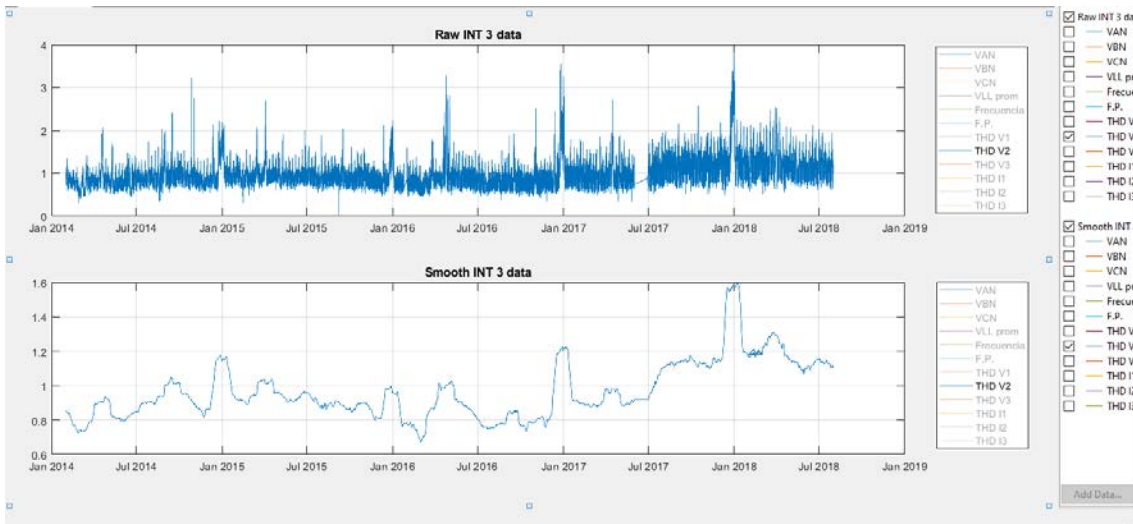


Figura 16.16.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 3

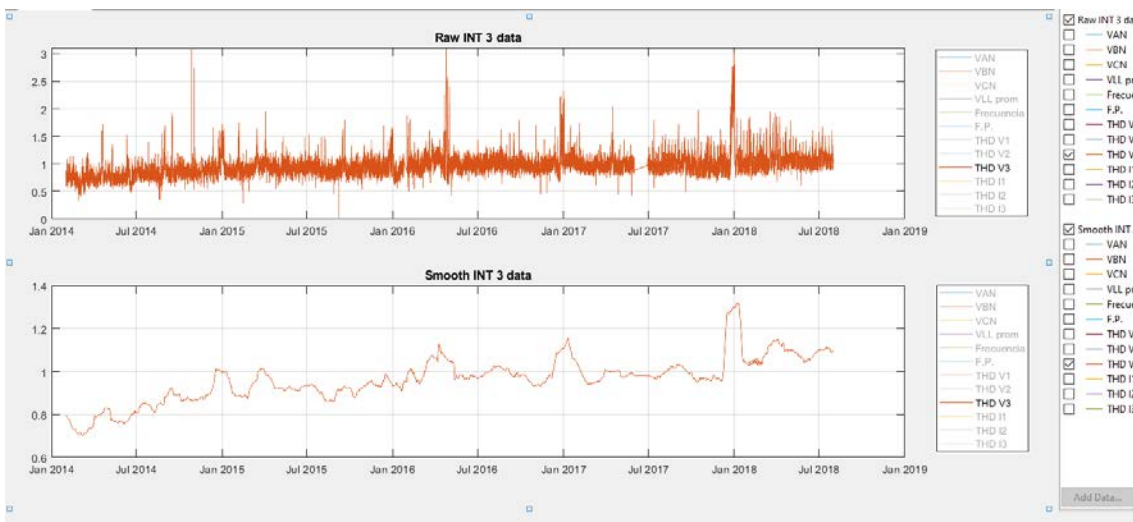


Figura 16.16.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 3

## Alimentador INT 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	5.00	0.14	1.18
THD V2	5.00	0.09	0.97
THD V3	5.00	0.10	0.97
THD I1	22.23	0.12	3.40
THD I2	37.13	0.13	3.52
THD I3	22.61	0.12	3.32

Tabla 16.16.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 4

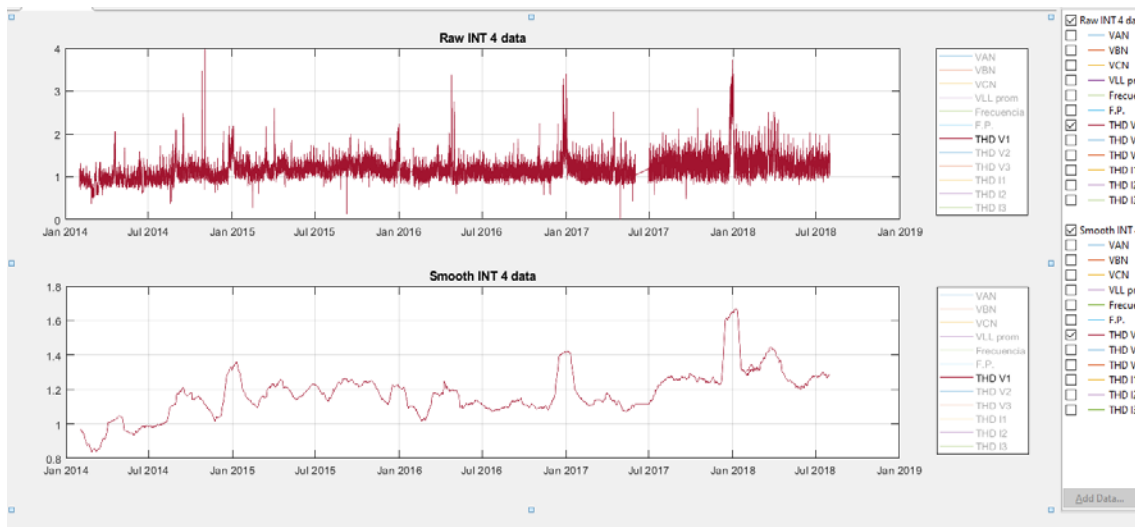


Figura 16.16.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 4

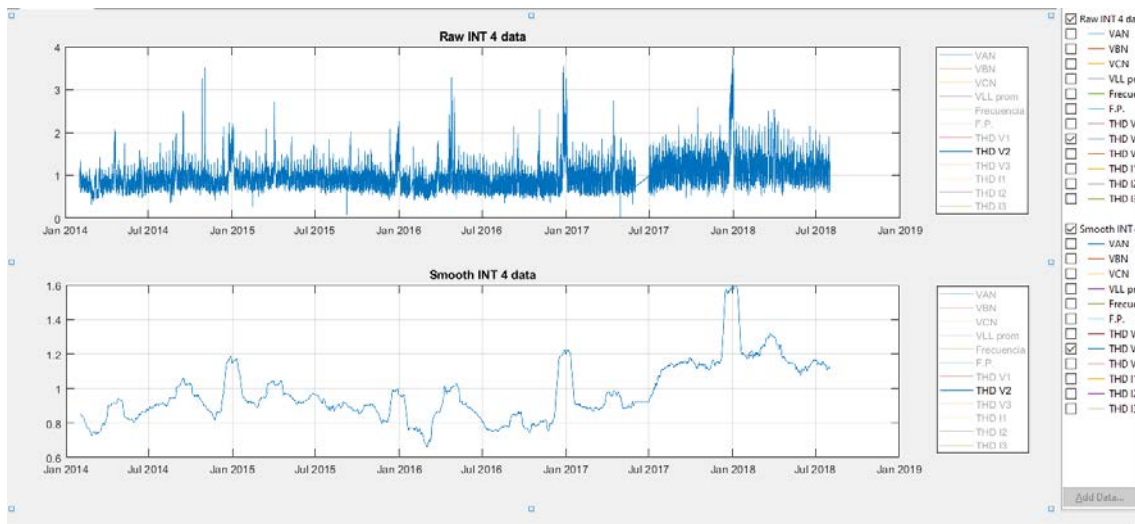


Figura 16.16.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 4

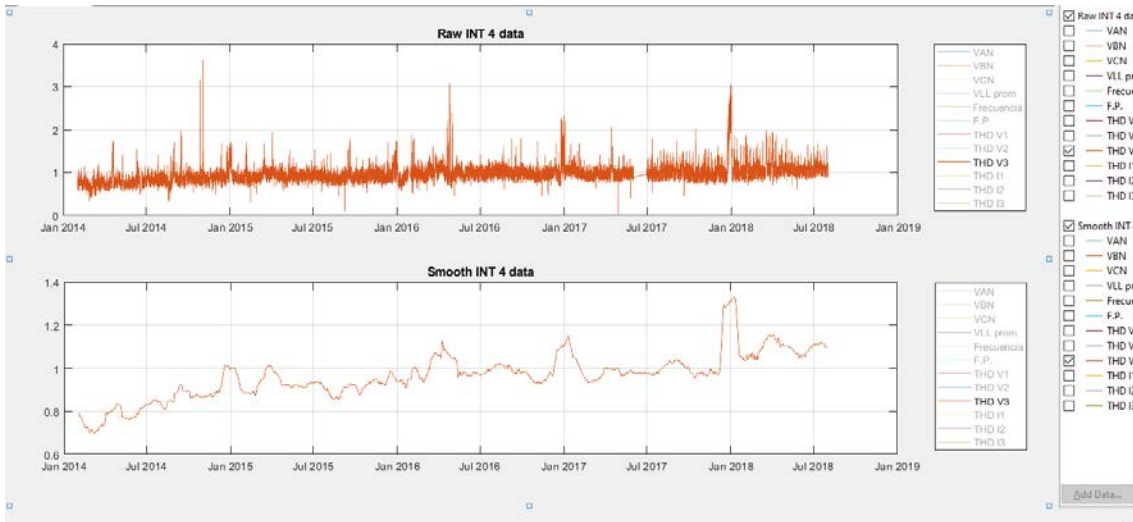


Figura 16.16.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 4

### Alimentador INT 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	3.78	0.13	1.18
THD V2	3.78	0.09	0.97
THD V3	3.39	0.12	0.96
THD I1	25.41	0.05	2.77
THD I2	26.63	0.04	2.61
THD I3	26.97	0.05	2.58

Tabla 16.16.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador INT 5



Figura 16.16.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador INT 5

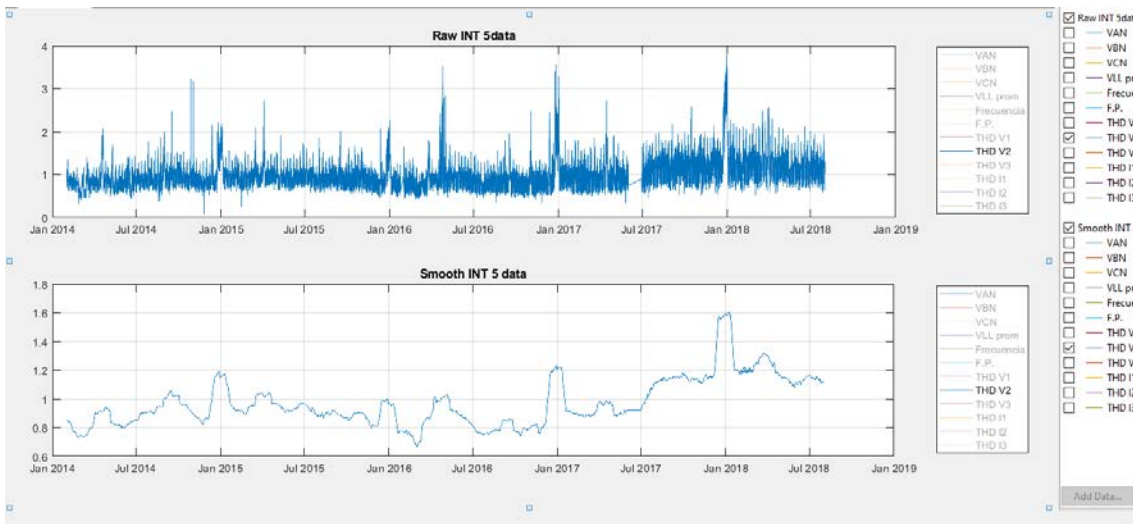


Figura 16.16.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador INT 5

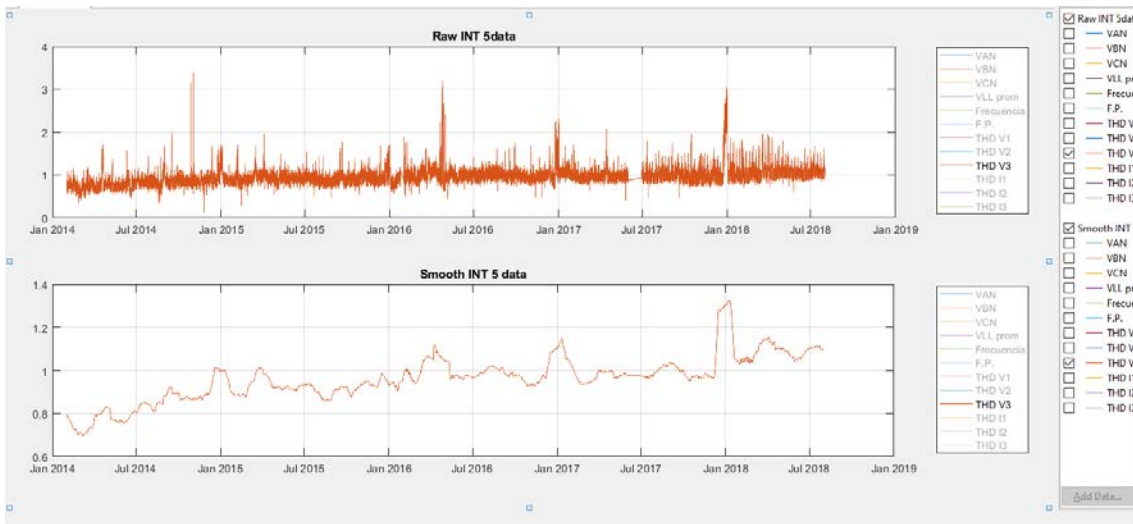


Figura 16.16.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador INT 5

## 17. ANEXO L Subestación Oriente (ORT)

### Alimentador ORT 1

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	14.35	0.07	5.02
THD V2	15.31	0.08	5.10
THD V3	14.40	0.08	5.27
THD I1	90.19	0.01	4.68
THD I2	94.96	0.01	3.43
THD I3	97.86	0.00	3.96

Tabla 17.17.1: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 1

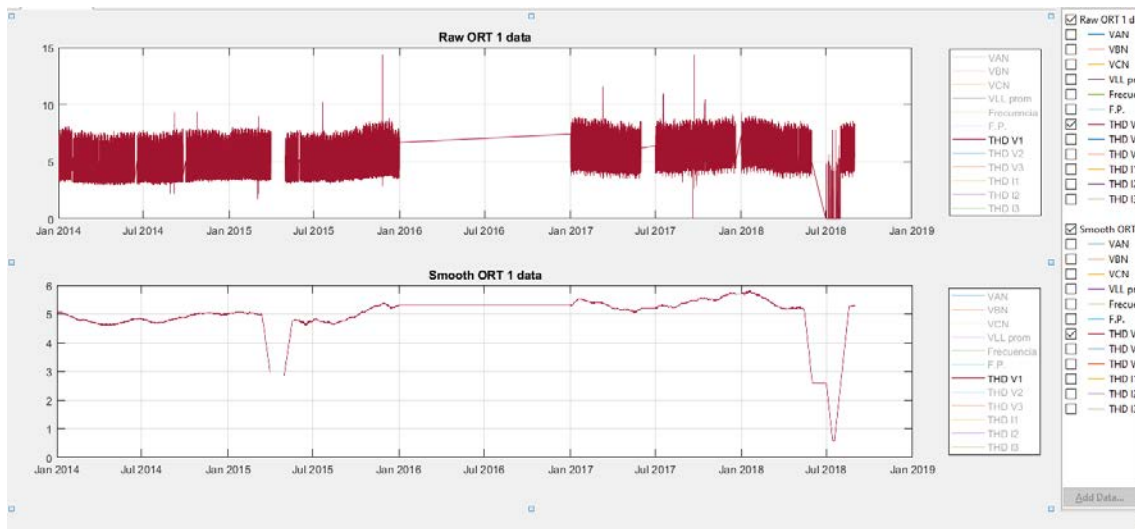


Figura 17.1: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 1

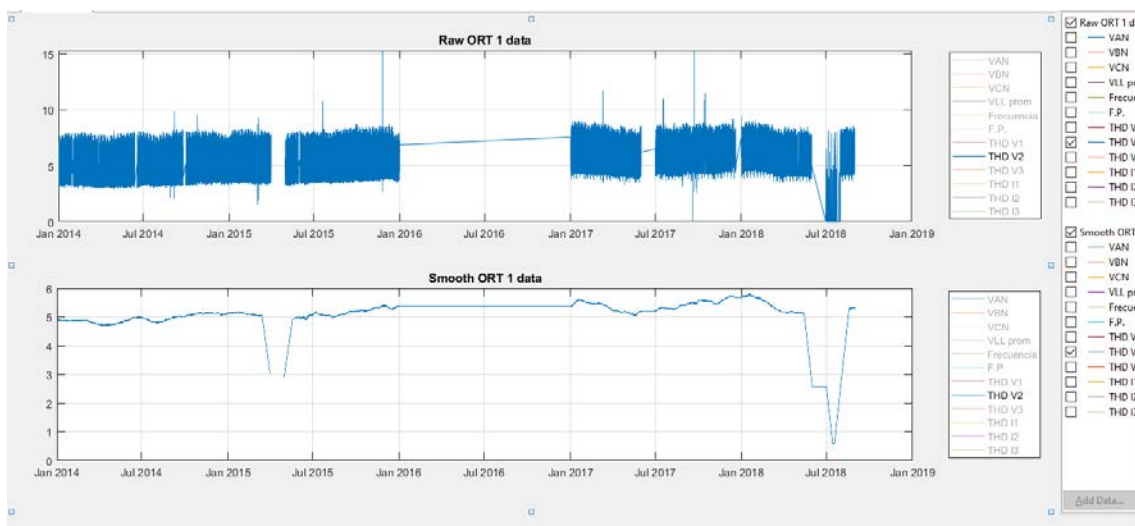


Figura 17.17.2: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 1

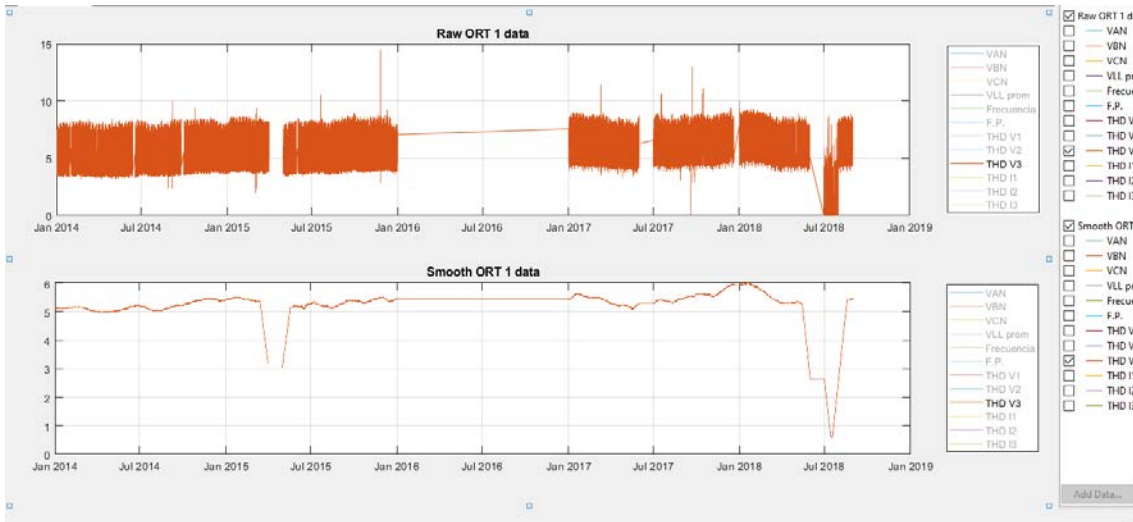


Figura 17.17.3: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 1

## Alimentador OTR 2

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	14.36	0.09	5.02
THD V2	15.28	0.09	5.10
THD V3	14.44	0.10	5.27
THD I1	98.81	0.01	6.16
THD I2	99.25	0.01	7.21
THD I3	99.88	0.01	5.31

Tabla 17.17.2: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 2

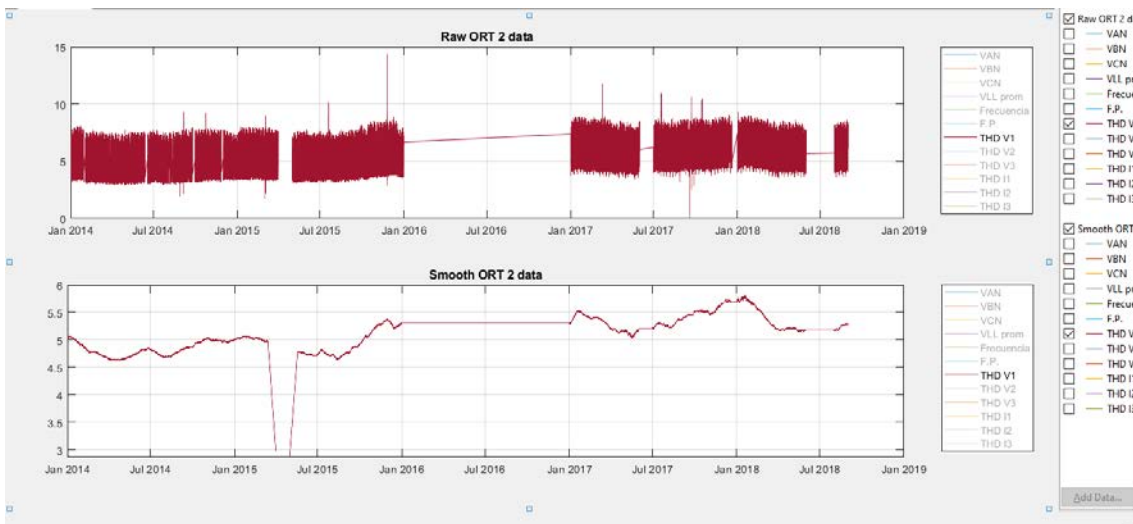


Figura 17.17.4: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 2

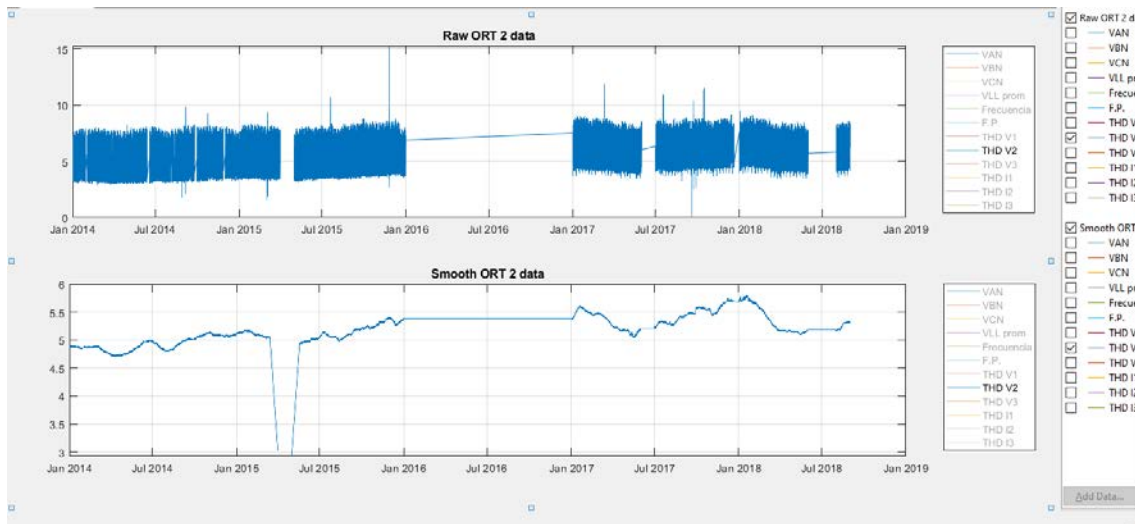


Figura 17.17.5: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 2

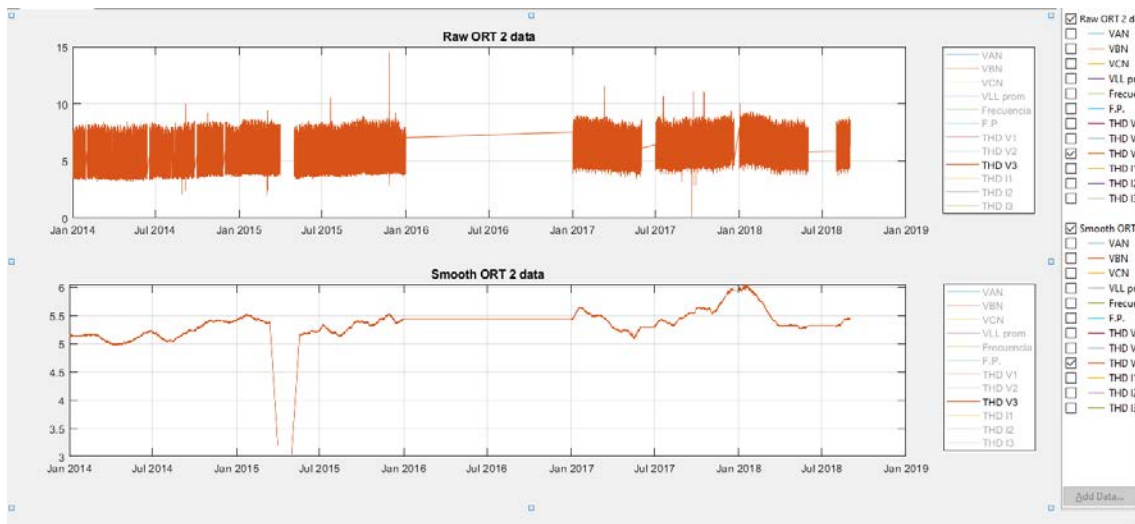


Figura 17.17.6: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 2

### Alimentador ORT 3

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	14.34	0.01	5.02
THD V2	15.22	0.01	5.10
THD V3	14.40	0.01	5.27
THD I1	99.84	0.00	7.28
THD I2	99.03	0.00	7.20
THD I3	97.72	0.00	9.39

Tabla 17.17.3: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 3

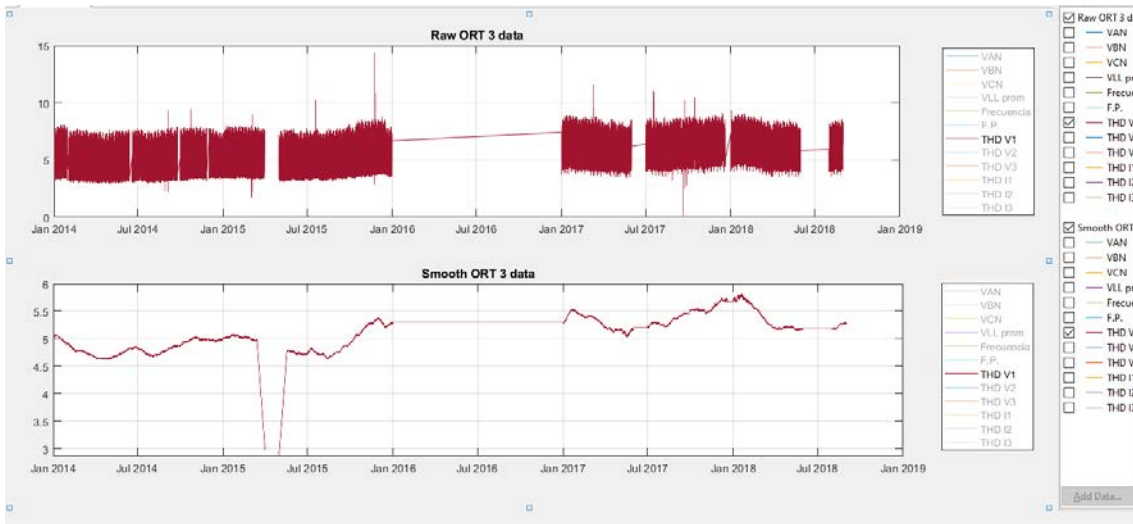


Figura 17.17.7: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 3

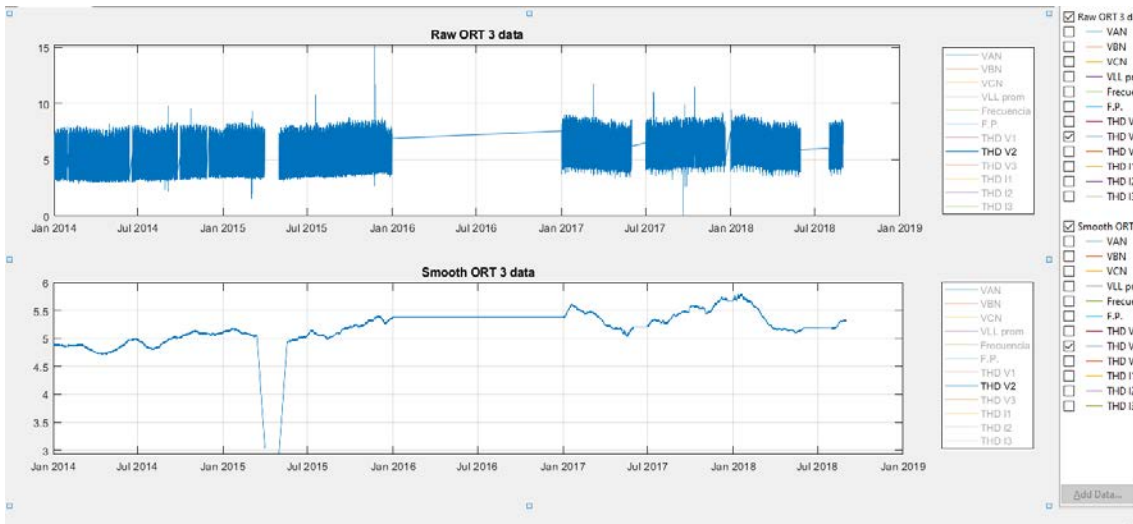


Figura 17.17.8: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 3

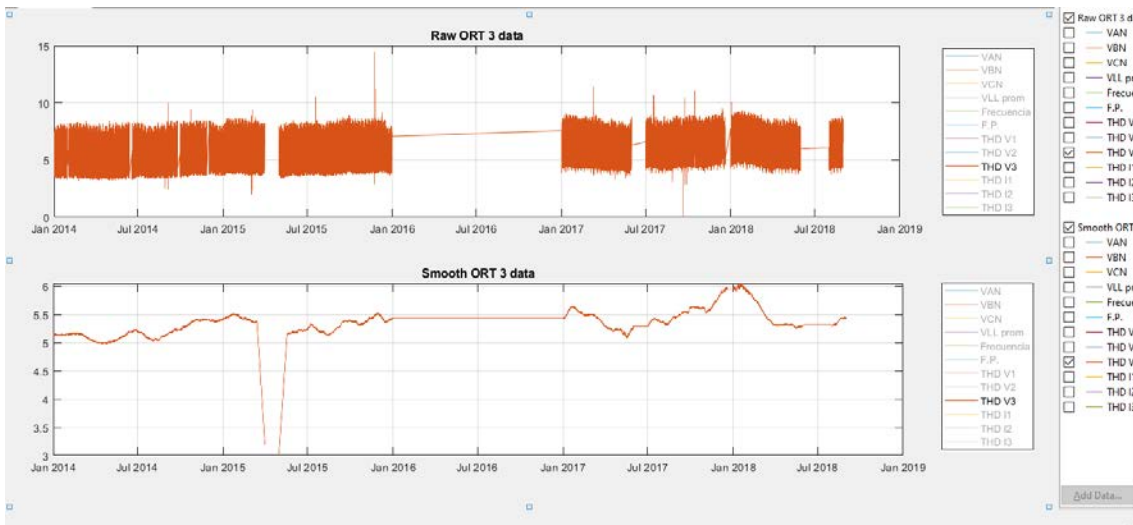


Figura 17.17.9: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 3

## Alimentador ORT 4

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	14.36	0.58	5.02
THD V2	15.28	0.73	5.10
THD V3	14.44	0.69	5.28
THD I1	98.99	0.00	12.72
THD I2	95.22	0.02	10.45
THD I3	99.34	0.07	25.74

Tabla 17.17.4: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 4

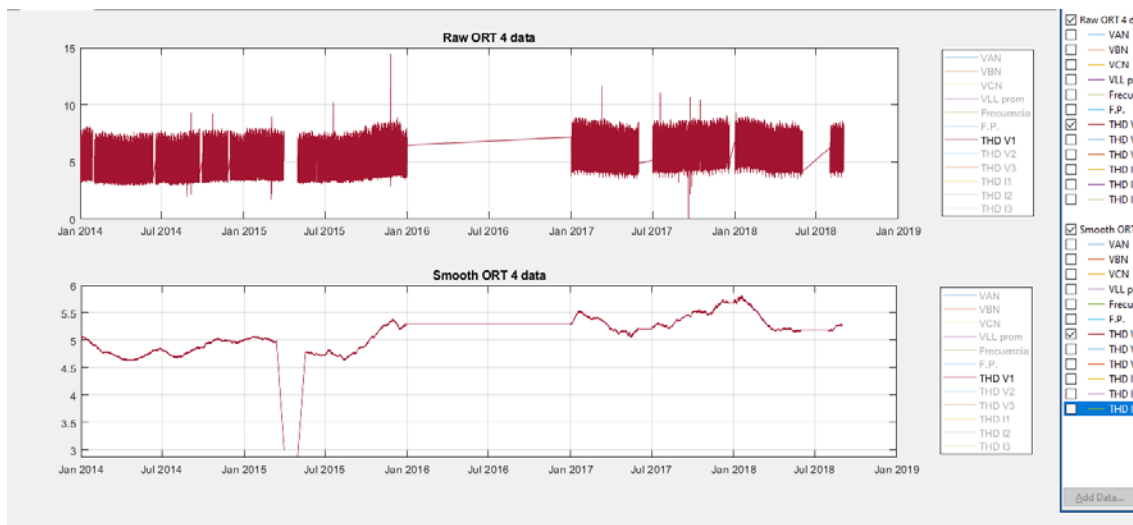


Figura 17.17.10: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 4

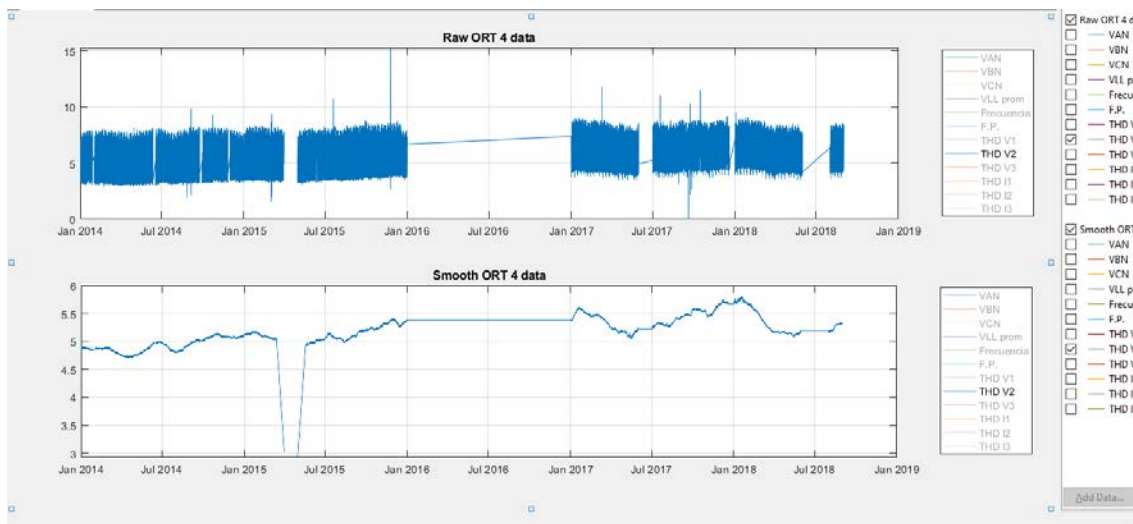


Figura 17.17.11: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 4

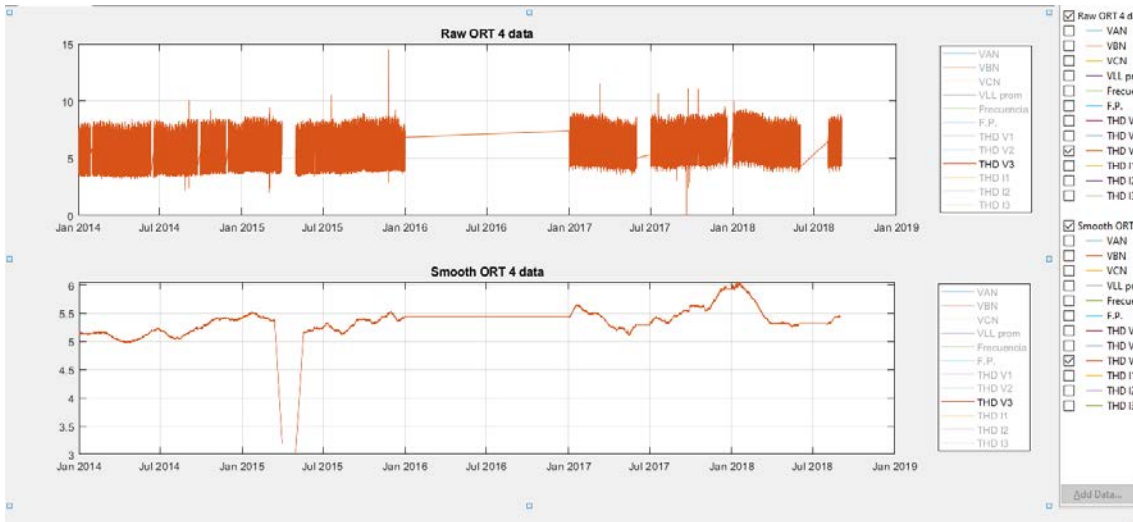


Figura 17.17.12: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 4

### Alimentador ORT 5

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
THD V1	14.35	0.58	4.91
THD V2	15.25	0.59	5.01
THD V3	14.42	0.62	5.18
THD I1	18.33	0.01	5.72
THD I2	46.53	0.10	7.30
THD I3	20.38	0.03	6.17

Tabla 17.17.5: Valores máximos, mínimos y promedios de los THD en voltaje y corriente del alimentador ORT 5

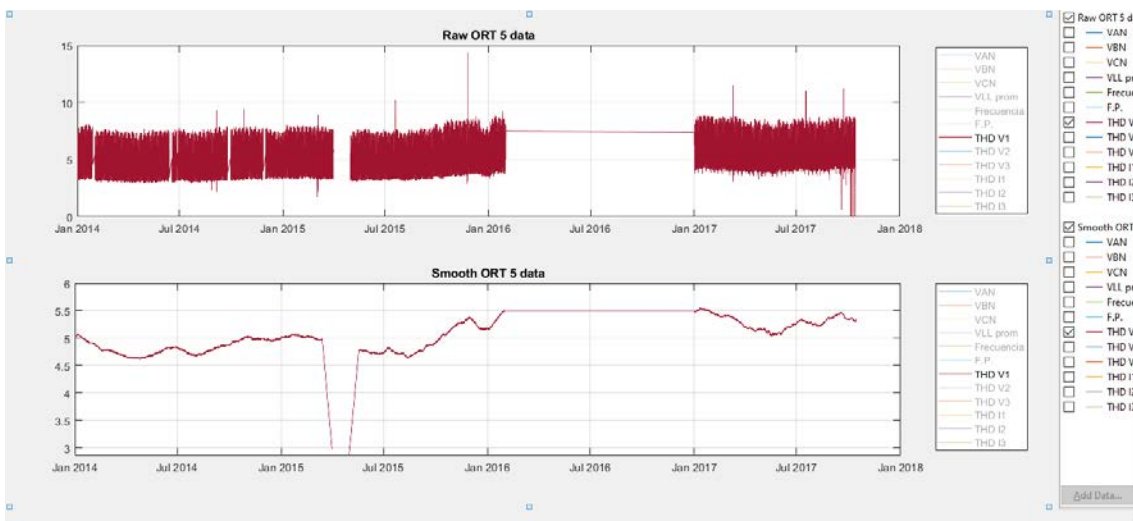


Figura 17.17.13: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V1 del alimentador ORT 5

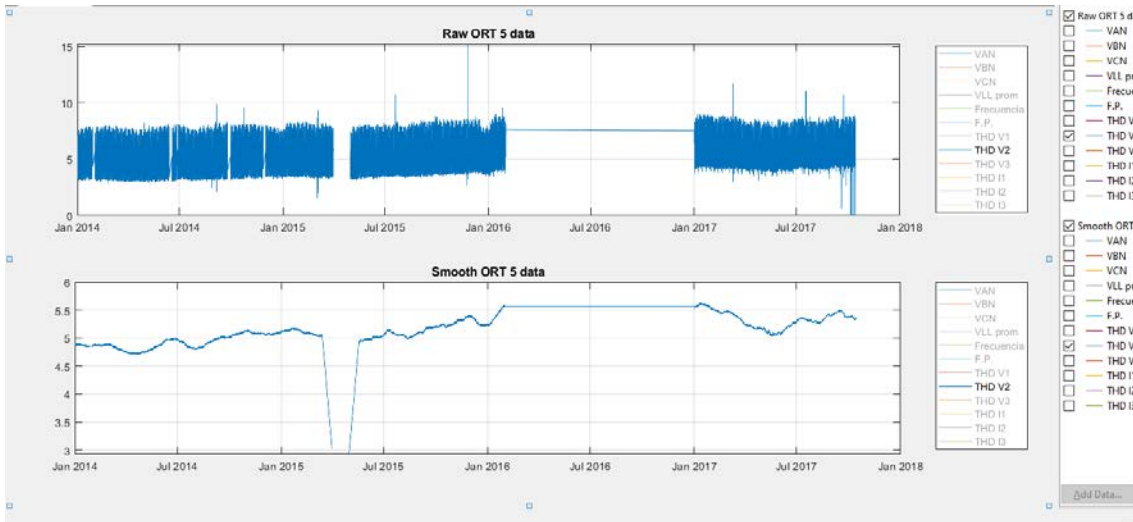


Figura 17.17.14: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V2 del alimentador ORT 5

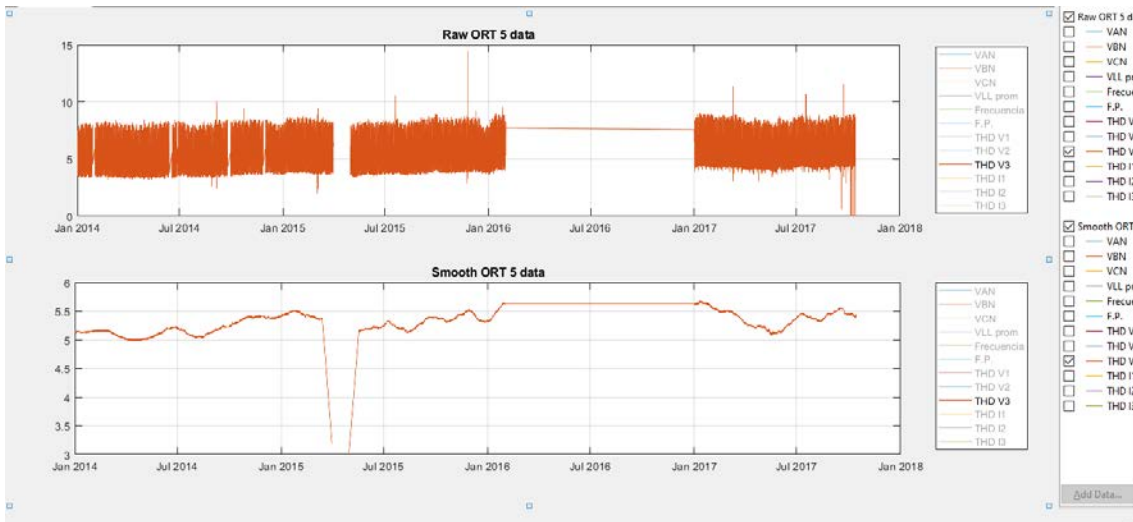


Figura 17.17.15: Gráfica de comparación de los valores brutos y valores procesados en THD V3 del alimentador ORT 5