

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE – GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**TÍTULO:**

**“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL “NUEVO  
CAMPUS” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**AUTORES:**

**SR. MARCOS HOLGUIN**  
**SR. DAVID GOMEZCOELLO**

**TUTOR:**

**ING. CARLOS CHÁVEZ CÓRDOVA**

**GUAYAQUIL, MARZO DEL 2010**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”.

Guayaquil, marzo del 2010

---

MARCOS HOLGUIN

---

DAVID GOMEZCOELLO

## **AGRADECIMIENTO**

Marcos Holguín y David Gomezcoello agradecemos  
al supremo creador por habernos permitido  
la culminación de la carrera universitaria,  
a nuestros padres, hermanos y amigos  
que nos han acompañado durante  
esta etapa de nuestras vidas.

Al Ing. Carlos Chávez, Director de  
Tesis; gran baluarte para la  
finalización de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres y  
todas aquellas personas que me  
brindaron su apoyo y que de una  
u otra manera me ayudaron para la  
realización y culminación del mismo.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO 1

#### CALIDAD DE ENERGÍA

1.	Calidad de Energía.....	16
1.1	Introducción.....	16
1.2	Importancia de la Calidad de Energía Eléctrica.....	17
1.2.1	Concepto.....	18
1.3	Aspectos Generales.....	18
1.4	La Calidad del Producto.....	19

### CAPÍTULO 2

#### MARCO TEÓRICO ACERCA DE LA CALIDAD

2.	Marco Teórico Acerca de la Calidad de Energía.....	22
2.1	Tipos de Carga.....	22
2.1.1	Cargas Lineales.....	22
2.1.2	Cargas No Lineales.....	23
2.2	Perturbaciones En Los Sistemas Eléctricos de Potencia.....	25
2.2.1	Transitorios.....	25
2.2.1.1	Transitorio Impulsivo.....	25
2.2.1.2	Transitorio Oscilatorio.....	26
2.2.2	Variaciones de Corta Duración.....	27
2.2.2.1	Interrupción.....	27
2.2.2.2	Depresión De Tensión (SAG).....	28
2.2.2.3	Salto De Tensión (SWELL).....	29
2.2.3	Variaciones De Larga Duración.....	29
2.2.3.1	Interrupción Sostenida.....	30
2.2.3.2	Subtensión.....	30
2.2.3.3	Sobretensión.....	30
2.2.4	Desequilibrio De Tensión.....	31
2.2.5	Distorsión De La Forma De Onda.....	31
2.2.5.1	Armónicos.....	31

2.2.5.2	Corte.....	32
2.2.5.3	Ruido.....	33
2.2.6	Fluctuación De Tensión.....	33
2.2.6.1	Fluctuaciones De Tensión: FLICKER.....	35
2.2.7	Tolerancia para Flicker en el Voltaje.....	36

### **CAPÍTULO 3**

#### **NORMATIVIDAD ACERCA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA**

3.	Normatividad.....	37
3.1	Norma EN50160.....	37
3.2	Norma IEC 6100032.....	38
3.3	Norma IEC 6100024.....	39
3.4	Norma IEC 61000430.....	40
3.5	Estándar IEEE 1159.....	40
3.6	Norma IEC 5552.....	41
3.7	Estándar IEEE 519.....	41

### **CAPÍTULO 4**

#### **DESCRIPCIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES**

4.	Descripción De Los Equipos Analizadores De Redes.....	44
4.1	Características Principales de un Analizador de Redes.....	44
4.1.1	Partes del Equipo Analizador Fluke 435.....	45
4.1.2	Programación Básica.....	47
4.1.3	Diagramas de Conexiones Principales.....	47

### **CAPÍTULO 5**

#### **MEDICIONES Y ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS**

5.	Mediciones y Análisis De Las Gráficas.....	49
5.1	Mediciones Primer Día (Miércoles 10 de Febrero del 2010).....	50
5.2	Mediciones Segundo Día (Jueves 11 de Febrero del 2010).....	50
5.3	Mediciones Tercer Día (Viernes 12 de Febrero del 2010).....	50

**CAPÍTULO 6**  
**DIAGNÓSTICO ELÉCTRICO**

<b>6.</b>	Diagnóstico Eléctrico.....	270
<b>6.1</b>	Causas.....	270
<b>6.2</b>	Resultados y Recomendaciones.....	271
<b>6.3</b>	Conclusiones.....	272
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>274</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal.....	22
Figura 2.2	Curva del comportamiento de una carga lineal.....	23
Figura 2.3	Distorsión de voltaje provocada por carga no lineal.....	24
Figura 2.4	Curva del comportamiento de una carga no lineal.....	24
Figura 2.5	Curva de espectro de transitorio impulsivo.....	26
Figura 2.6	Curva de espectro de transitorio oscilatorio.....	27
Figura 2.7	Curva de espectro de interrupción.....	28
Figura 2.8	Curva de espectro de sag.....	28
Figura 2.9	Curva de espectro de swell.....	29
Figura 2.10	Distorsión de una onda fundamental por armónicos.....	32
Figura 2.11	Curva de espectro de corte.....	32
Figura 2.12	Curva de espectro de ruido.....	33
Figura 2.13	Curva de espectro de fluctuación de tensión.....	34
Figura 3.1	Clasificación en categorías de la Normatividad.....	37
Figura 4.1	Características Principales de un Analizador de Redes.....	44
Figura 4.1.1	Partes del Equipo Analizador Fluke 435.....	45
Figura 4.1.2	Ubicación del puerto RS-232.....	46
Figura 4.1.3	Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico...	47
Figura 4.1.4	Diagrama vectorial de un analizador correctamente conectado...	48

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Perturbaciones Eléctricas.....	35
<b>Tabla 2</b>	Límites según norma EM50160.....	38
<b>Tabla 3</b>	Límites para los equipos clase A según norma 61000-3-2.....	39
<b>Tabla 4</b>	Límites de corta y larga duración según norma IEEE1159.....	41
<b>Tabla 5</b>	Límites según norma IEEE519.....	42
<b>Tabla 6</b>	Límites según norma IEEE519.....	43
<b>Tabla 7</b>	Descripción de las partes del Analizador Fluke 435.....	46



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.1.1	Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Máximo.....	51
Gráfica 5.1.2	Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	52
Gráfica 5.1.3	Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Máximo.....	53
Gráfica 5.1.4	Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	54
Gráfica 5.1.5	Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Máximo.....	55
Gráfica 5.1.6	Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	56
Gráfica 5.1.7	Voltaje RMS en el Neutro – Valor Máximo .....	57
Gráfica 5.1.8	Voltaje RMS en el Neutro – Valor Mínimo.....	58
Gráfica 5.1.9	Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Máximo.....	59
Gráfica 5.1.10	Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	60
Gráfica 5.1.11	Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Máximo.....	61
Gráfica 5.1.12	Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	62
Gráfica 5.1.13	Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Máximo.....	63
Gráfica 5.1.14	Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	64
Gráfica 5.1.15	Corriente RMS en el Neutro – Valor Máximo.....	65
Gráfica 5.1.16	Corriente RMS en el Neutro – Valor Mínimo.....	66
Gráfica 5.1.17	Frecuencia del Sistema – Valor Máximo.....	67
Gráfica 5.1.18	Frecuencia del Sistema – Valor Mínimo.....	68
Gráfica 5.1.19	Desbalance de Voltaje – Valor Máximo.....	69
Gráfica 5.1.20	Desbalance de Voltaje – Valor Mínimo.....	70
Gráfica 5.1.21	Desbalance de Corriente – Valor Máximo.....	71
Gráfica 5.1.22	Desbalance de Corriente – Valor Mínimo.....	72
Gráfica 5.1.23	Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Máximo.....	73
Gráfica 5.1.24	Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	74
Gráfica 5.1.25	Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo.....	75
Gráfica 5.1.26	Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	76
Gráfica 5.1.27	Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Máximo.....	77
Gráfica 5.1.28	Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	78
Gráfica 5.1.29	Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Máximo.....	79
Gráfica 5.1.30	Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	80
Gráfica 5.1.31	Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Máximo.....	81
Gráfica 5.1.32	Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	82

Gráfica 5.1.33	Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo.....	83
Gráfica 5.1.34	Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	84
Gráfica 5.1.35	Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Máximo.....	85
Gráfica 5.1.36	Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	86
Gráfica 5.1.37	Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Máximo.....	87
Gráfica 5.1.38	Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	88
Gráfica 5.1.39	Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Máximo.....	89
Gráfica 5.1.40	Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	90
Gráfica 5.1.41	Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo.....	91
Gráfica 5.1.42	Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	92
Gráfica 5.1.43	Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Máximo.....	93
Gráfica 5.1.44	Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	94
Gráfica 5.1.45	Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Máximo.....	95
Gráfica 5.1.46	Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	96
Gráfica 5.1.47	Potencia Activa Total – Valor Máximo.....	97
Gráfica 5.1.48	Potencia Activa Total – Valor Mínimo.....	98
Gráfica 5.1.49	Potencia Reactiva Total – Valor Máximo.....	99
Gráfica 5.1.50	Potencia Reactiva Total – Valor Mínimo.....	100
Gráfica 5.1.51	Potencia Aparente Total – Valor Máximo.....	101
Gráfica 5.1.52	Potencia Aparente Total – Valor Mínimo.....	102
Gráfica 5.1.53	Factor de Potencia Total – Valor Máximo.....	103
Gráfica 5.1.54	Factor de Potencia Total – Valor Mínimo.....	104
Gráfica 5.1.55	Energía Activa en la Línea 1 – Valor Máximo.....	105
Gráfica 5.1.56	Energía Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo.....	106
Gráfica 5.1.57	Energía Activa en la Línea 2 – Valor Máximo.....	107
Gráfica 5.1.58	Energía Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo.....	108
Gráfica 5.1.59	Energía Activa en la Línea 3 – Valor Máximo.....	109
Gráfica 5.1.60	Energía Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo.....	110
Gráfica 5.1.61	Energía Activa Total – Valor Máximo.....	111
Gráfica 5.1.62	Energía Reactiva Total – Valor Mínimo.....	112
Gráfica 5.1.63	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 1.....	113
Gráfica 5.1.64	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 1.....	114
Gráfica 5.1.65	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 2.....	115
Gráfica 5.1.66	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 2.....	116

Gráfica 5.1.67	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 3.....	117
Gráfica 5.1.68	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 3.....	118
Gráfica 5.1.69	Distorsión Armónica Total de Voltaje en el Neutro.....	119
Gráfica 5.1.70	Distorsión Armónica Total de Corriente en el Neutro.....	120
Gráfica 5.1.71	Distorsión Armónica Total de Potencia.....	121
Gráfica 5.1.72	Perturbación de Corta Duración.....	122
Gráfica 5.1.73	Perturbación de Larga Duración.....	123
Gráfica 5.2.1	Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Máximo.....	124
Gráfica 5.2.2	Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	125
Gráfica 5.2.3	Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Máximo.....	126
Gráfica 5.2.4	Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	127
Gráfica 5.2.5	Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Máximo.....	128
Gráfica 5.2.6	Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	129
Gráfica 5.2.7	Voltaje RMS en el Neutro – Valor Máximo.....	130
Gráfica 5.2.8	Voltaje RMS en el Neutro – Valor Mínimo.....	131
Gráfica 5.2.9	Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Máximo.....	132
Gráfica 5.2.10	Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	133
Gráfica 5.2.11	Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Máximo.....	134
Gráfica 5.2.12	Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	135
Gráfica 5.2.13	Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Máximo.....	136
Gráfica 5.2.14	Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	137
Gráfica 5.2.15	Corriente RMS en el Neutro – Valor Máximo.....	138
Gráfica 5.2.16	Corriente RMS en el Neutro – Valor Mínimo.....	139
Gráfica 5.2.17	Frecuencia del Sistema – Valor Máximo.....	140
Gráfica 5.2.18	Frecuencia del Sistema – Valor Mínimo.....	141
Gráfica 5.2.19	Desbalance de Voltaje – Valor Máximo.....	142
Gráfica 5.2.20	Desbalance de Voltaje – Valor Mínimo.....	143
Gráfica 5.2.21	Desbalance de Corriente – Valor Máximo.....	144
Gráfica 5.2.22	Desbalance de Corriente – Valor Mínimo.....	145
Gráfica 5.2.23	Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Máximo.....	146
Gráfica 5.2.24	Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	147
Gráfica 5.2.25	Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo.....	148
Gráfica 5.2.26	Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	149
Gráfica 5.2.27	Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Máximo.....	150

Gráfica 5.2.28	Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	151
Gráfica 5.2.29	Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Máximo.....	152
Gráfica 5.2.30	Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	153
Gráfica 5.2.31	Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Máximo.....	154
Gráfica 5.2.32	Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	155
Gráfica 5.2.33	Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo.....	156
Gráfica 5.2.34	Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	157
Gráfica 5.2.35	Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Máximo.....	158
Gráfica 5.2.36	Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	159
Gráfica 5.2.37	Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Máximo.....	160
Gráfica 5.2.38	Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	161
Gráfica 5.2.39	Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Máximo.....	162
Gráfica 5.2.40	Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	163
Gráfica 5.2.41	Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo.....	164
Gráfica 5.2.42	Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	165
Gráfica 5.2.43	Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Máximo.....	166
Gráfica 5.2.44	Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	167
Gráfica 5.2.45	Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Máximo.....	168
Gráfica 5.2.46	Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	169
Gráfica 5.2.47	Potencia Activa Total – Valor Máximo.....	170
Gráfica 5.2.48	Potencia Activa Total – Valor Mínimo.....	171
Gráfica 5.2.49	Potencia Reactiva Total – Valor Máximo.....	172
Gráfica 5.2.50	Potencia Reactiva Total – Valor Mínimo.....	173
Gráfica 5.2.51	Potencia Aparente Total – Valor Máximo.....	174
Gráfica 5.2.52	Potencia Aparente Total – Valor Mínimo.....	175
Gráfica 5.2.53	Factor de Potencia Total – Valor Máximo.....	176
Gráfica 5.2.54	Factor de Potencia Total – Valor Mínimo.....	177
Gráfica 5.2.55	Energía Activa en la Línea 1 – Valor Máximo.....	178
Gráfica 5.2.56	Energía Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo.....	179
Gráfica 5.2.57	Energía Activa en la Línea 2 – Valor Máximo.....	180
Gráfica 5.2.58	Energía Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo.....	181
Gráfica 5.2.59	Energía Activa en la Línea 3 – Valor Máximo.....	182
Gráfica 5.2.60	Energía Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo.....	183
Gráfica 5.2.61	Energía Activa Total – Valor Máximo.....	184

Gráfica 5.2.62	Energía Reactiva Total – Valor Mínimo.....	185
Gráfica 5.2.63	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 1.....	186
Gráfica 5.2.64	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 1.....	187
Gráfica 5.2.65	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 2.....	188
Gráfica 5.2.66	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 2.....	189
Gráfica 5.2.67	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 3.....	190
Gráfica 5.2.68	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 3.....	191
Gráfica 5.2.69	Distorsión Armónica Total de Voltaje en el Neutro.....	192
Gráfica 5.2.70	Distorsión Armónica Total de Corriente en el Neutro.....	193
Gráfica 5.2.71	Distorsión Armónica Total de Potencia.....	194
Gráfica 5.2.72	Perturbación de Corta Duración.....	195
Gráfica 5.2.73	Perturbación de Larga Duración.....	196
Gráfica 5.3.1	Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Máximo.....	197
Gráfica 5.3.2	Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	198
Gráfica 5.3.3	Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Máximo.....	199
Gráfica 5.3.4	Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	200
Gráfica 5.3.5	Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Máximo.....	201
Gráfica 5.3.6	Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	202
Gráfica 5.3.7	Voltaje RMS en el Neutro – Valor Máximo.....	203
Gráfica 5.3.8	Voltaje RMS en el Neutro – Valor Mínimo.....	204
Gráfica 5.3.9	Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Máximo.....	205
Gráfica 5.3.10	Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	206
Gráfica 5.3.11	Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Máximo.....	207
Gráfica 5.3.12	Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	208
Gráfica 5.3.13	Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Máximo.....	209
Gráfica 5.3.14	Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	210
Gráfica 5.3.15	Corriente RMS en el Neutro – Valor Máximo.....	211
Gráfica 5.3.16	Corriente RMS en el Neutro – Valor Mínimo.....	212
Gráfica 5.3.17	Frecuencia del Sistema – Valor Máximo.....	213
Gráfica 5.3.18	Frecuencia del Sistema – Valor Mínimo.....	214
Gráfica 5.3.19	Desbalance de Voltaje – Valor Máximo.....	215
Gráfica 5.3.20	Desbalance de Voltaje – Valor Mínimo.....	216
Gráfica 5.3.21	Desbalance de Corriente – Valor Máximo.....	217
Gráfica 5.3.22	Desbalance de Corriente – Valor Mínimo.....	218

Gráfica 5.3.23	Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Máximo.....	219
Gráfica 5.3.24	Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	220
Gráfica 5.3.25	Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo.....	221
Gráfica 5.3.26	Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	222
Gráfica 5.3.27	Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Máximo.....	223
Gráfica 5.3.28	Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	224
Gráfica 5.3.29	Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Máximo.....	225
Gráfica 5.3.30	Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Mínimo.....	226
Gráfica 5.3.31	Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Máximo.....	227
Gráfica 5.3.32	Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	228
Gráfica 5.3.33	Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo.....	229
Gráfica 5.3.34	Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	230
Gráfica 5.3.35	Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Máximo.....	231
Gráfica 5.3.36	Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	232
Gráfica 5.3.37	Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Máximo.....	233
Gráfica 5.3.38	Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Mínimo.....	234
Gráfica 5.3.39	Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Máximo.....	235
Gráfica 5.3.40	Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	236
Gráfica 5.3.41	Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo.....	237
Gráfica 5.3.42	Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	238
Gráfica 5.3.43	Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Máximo.....	239
Gráfica 5.3.44	Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	240
Gráfica 5.3.45	Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Máximo.....	241
Gráfica 5.3.46	Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Mínimo.....	242
Gráfica 5.3.47	Potencia Activa Total – Valor Máximo.....	243
Gráfica 5.3.48	Potencia Activa Total – Valor Mínimo.....	244
Gráfica 5.3.49	Potencia Reactiva Total – Valor Máximo.....	245
Gráfica 5.3.50	Potencia Reactiva Total – Valor Mínimo.....	246
Gráfica 5.3.51	Potencia Aparente Total – Valor Máximo.....	247
Gráfica 5.3.52	Potencia Aparente Total – Valor Mínimo.....	248
Gráfica 5.3.53	Factor de Potencia Total – Valor Máximo.....	249
Gráfica 5.3.54	Factor de Potencia Total – Valor Mínimo.....	250
Gráfica 5.3.55	Energía Activa en la Línea 1 – Valor Máximo.....	251
Gráfica 5.3.56	Energía Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo.....	252

Gráfica 5.3.57	Energía Activa en la Línea 2 – Valor Máximo.....	253
Gráfica 5.3.58	Energía Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo.....	254
Gráfica 5.3.59	Energía Activa en la Línea 3 – Valor Máximo.....	255
Gráfica 5.3.60	Energía Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo.....	256
Gráfica 5.3.61	Energía Activa Total – Valor Máximo.....	257
Gráfica 5.3.62	Energía Reactiva Total – Valor Mínimo.....	258
Gráfica 5.3.63	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 1.....	259
Gráfica 5.3.64	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 1.....	260
Gráfica 5.3.65	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 2.....	261
Gráfica 5.3.66	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 2.....	262
Gráfica 5.3.67	Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 3.....	263
Gráfica 5.3.68	Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 3.....	264
Gráfica 5.3.69	Distorsión Armónica Total de Voltaje en el Neutro.....	265
Gráfica 5.3.70	Distorsión Armónica Total de Corriente en el Neutro.....	266
Gráfica 5.3.71	Distorsión Armónica Total de Potencia.....	267
Gráfica 5.3.72	Perturbación de Corta Duración.....	268
Gráfica 5.3.73	Perturbación de Larga Duración.....	269

## **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo de Calidad de Energía Eléctrica es un medio para que en la parte técnica, el abonado espere obtener del proveedor (empresa distribuidora) un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes.

El incremento en la productividad con logros en la industria debido a la automatización, ha tenido un gran desarrollo tecnológico, en especial de la electrónica de potencia que ha producido una generación de equipos de alta capacidad, alto rendimiento y bajo costo siendo cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, siendo perturbado el suministro eléctrico por su propia presencia; lo que conlleva que la empresa Distribuidora del Servicio Eléctrico provea una alimentación confiable, ininterrumpida y totalmente libre de perturbaciones en el servicio eléctrico.

Entre los objetivos de la realización de esta Tesis de Calidad de Energía Eléctrica es encontrar soluciones efectivas para corregir los disturbios y variaciones de voltaje y proponer conclusiones para corregir las fallas o problemas que se presenten en el sistema eléctrico.

El desarrollo de dicho estudio en todo momento se vera enfocado por la Regulación del CONELEC 004/01 vigentes desde Marzo del 2001 y varias Normas Internacionales; en base de las diversas mediciones tomadas en los puntos que dicha regulación lo estipula, se planteará las conclusiones necesarias para mantener un buen servicio que evite el deterioro de las señales de tensión y conlleve a interrupciones que culminan en la reducción o parada de procesos que ocasionan perjuicios.



# **CAPÍTULO 1**

## **CALIDAD DE ENERGÍA**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El elevado crecimiento de la economía en los últimos años se ha traducido en una extraordinaria expansión de energía así como el desarrollo tecnológico, esto implica una alta proliferación de controles y dispositivos electrónicos, electrodomésticos con elementos de estado sólido y cargas no lineales, tales como hornos o soldadores de arco, sistemas de tracción eléctrica, máquinas eléctricas con controles de estado sólido (Variadores de Velocidad), Transformadores, etc., los cuales han producido una gran cantidad de perturbaciones en las ondas de tensión y corriente del sistema eléctrico nacional, creando un nuevo problema denominado perturbaciones eléctricas.

El concepto "Perturbaciones Eléctricas y Calidad de Energía Eléctrica " es un tema esencial el cual ha evolucionado en la última década a escala mundial, está relacionada con las perturbaciones eléctricas que pueden afectar a las condiciones eléctricas de suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos. Por tal razón, se requiere un tratamiento integral del problema desde diversos frentes. Estos comprenden, entre otros, investigación básica y aplicada, diseño, selección, operación y mantenimiento de equipos, normalización, regulación, programas de medición y evaluación, capacitación de personal. etc.

Este documento de dar a conocer un adecuado conocimiento de la generación, propagación y efectos de estas perturbaciones, la sensibilidad de los equipos involucrados en la red eléctrica y analizar casos reales con soluciones aplicadas exitosamente para mitigar o eliminar estos efectos, con lo cual las empresas podrán desarrollar sus actividades contando con energía de calidad.

Realizar un estudio de Calidad de Energía Eléctrica en las instalaciones del “Nuevo Campus” de la Universidad Politécnica Salesiana comprende el nivel de voltaje, las perturbaciones de voltaje y el factor de potencia; dentro del área.

Realizar la investigación de los parámetros necesarios para efectuar las mediciones con el analizador de redes FLUKE 435, para determinar los parámetros que se encuentran dentro de la regulación presente para el desarrollo de dicho estudio.

Brindar un estudio de la Calidad de Energía Eléctrica y desarrollar la aplicación de los conocimientos adquiridos de Ingeniería Eléctrica en lo referente al tema de la Calidad de Energía.

Analizar los resultados obtenidos de los diversos parámetros dentro de las mediciones realizadas y emitir conclusiones factibles para mantener en todo momento el funcionamiento continuo, seguro y adecuado de los equipos eléctricos y prolongar el tiempo de vida útil de los mismos, sin afectar el medio ambiente y el bienestar de las personas.

## **1.2 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**

Una gran contradicción consiste en que una gran parte de estas cargas no lineales, responsables de los grandes logros en la industria debido a la automatización, son cargas electrónicas altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico que está siendo perturbado por su propia presencia.

Los problemas se presentan al existir disturbios de la calidad de energía eléctrica en el suministro. La mayoría de las veces resultan en una detención temporaria de los procesos industriales, a esta interrupción están asociados altos costos, una vez que es la causa de pérdidas significativas de producción y descarte de materiales debido a la necesidad de limpiar las máquinas, reiniciar el proceso en la secuencia que se encontraba, y recalibrar las líneas de producción de acuerdo a las especificaciones de proceso requeridas o por concluir con productos defectuosos.

### **1.2.1 CONCEPTO**

El término Calidad de Energía Eléctrica, nombrado CEE por sus siglas en español, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente.

Observando la calidad de energía eléctrica en la parte técnica: el abonado espera obtener del proveedor (empresa distribuidora) un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes. Esto significa en la práctica, como contar con un servicio de buena calidad, costos viables de un funcionamiento adecuado, seguro y confiable de equipos y procesos sin afectar el ambiente o el bienestar de las personas.

La Pérdida de la Calidad de Energía significa: “Deterioro de las señales de Tensión y Corriente en lo que respecta a la forma de onda, frecuencia e interrupciones que llevan a la reducción o parada de procesos que ocasionan perjuicios”.

### **1.3 ASPECTOS GENERALES**

En los últimos años se ha profundizado el problema con la calidad del producto (calidad de la energía). Por este motivo Instituciones especializadas en el tema, como la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), IEC (Internacional Electrotechnical Commission), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), NEMA (The National Electrical Manufacturers Association), etc. han desarrollado estándares y métodos de medición y construcción de equipos de medición de calidad de energía en los últimos años, perfeccionándolos con el transcurrir del tiempo.

Así mismo las industrias cada vez han sido más conscientes de empezar a monitorear y a regular sus sistemas eléctricos basados en las normativas emitidas por las instituciones anteriormente mencionadas en especial las del CENELEC.

Se han establecidos métodos, regulaciones, leyes, penalizaciones, etc. que han tratado de regular el sector y han venido perfeccionando estos sistemas.

Los países latinoamericanos han ido poco a poco estableciendo regulaciones de calidad de servicio eléctrico, muchos de estos países tienen en la actualidad regulaciones bien estructuradas.

Para la calidad de servicio eléctrico el ente regulador por lo general es uno estatal y el ente regulado es la Empresa de Distribución, la misma que puede ser estatal o privada. Dado que la Empresa de Distribución es la llamada a velar por la calidad del servicio, las regulaciones o recomendaciones establecen que esta debe monitorear y corregir los problemas en la calidad de energía para el bien de los usuarios.

Ecuador tiene pocos años de haber iniciado el proceso de regular a las empresas de distribución más no a los usuarios en baja y media tensión. Esta tardanza le ha dado el beneficio de haber recogido la experiencia de países vecinos para regular sus empresas de distribución con mayor criterio. Es por esto que la norma ecuatoriana es una de las regulaciones más coherentes y más claras de aplicar. A pesar de esto aún se pueden emitir ciertas recomendaciones para su perfeccionamiento.

Hasta el momento no ha habido una aceptación global de la parte técnica de las regulaciones por parte de las distribuidoras en el Ecuador. El cronograma de etapas no se ha cumplido hasta la fecha, pero se han dado ciertos avances. Es por eso que aún se está a tiempo para dar a conocer las ventajas y corregir las imperfecciones de la Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución del Ecuador, dictada por el CONELEC (Concejo Nacional de Electricidad), en la Regulación No. CONELEC-004/01.

#### **1.4 LA CALIDAD DEL PRODUCTO**

La Regulación de Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución del Ecuador (Regulación No. CONELEC-004/01), establece patrones en tres aspectos tales como:

- Calidad del Producto
- Calidad de Servicio Técnico
- Calidad de Servicio Comercial

La primera, Calidad del Producto, establece pautas para los parámetros eléctricos para poder entregar energía de buena calidad. La Calidad de Servicio Técnico en cambio, regula las interrupciones de servicio eléctrico estableciendo límites para su frecuencia y duración. La calidad de Servicio Comercial a diferencia de las anteriores reglamenta las solicitudes y reclamos de medición y facturación.

El detalle de los incumplimientos y las penalizaciones correspondientes se incorporarán a los respectivos contratos de concesión. El estudio presente tomará a consideración solo la parte de “**Calidad del Producto**” de esta regulación, debido a que la Universidad Politécnica Salesiana no cuenta con dicho estudio, y para ello tomar como referencia cada una de las presentes mediciones para observar las características de Calidad del Suministro Eléctrico del edificio.

Según la regulación No. CONELEC-004/01, la Calidad del Producto comprende los siguientes aspectos:

- Nivel de voltaje.
- Perturbaciones de voltaje.
- Factor de potencia.

Para analizar la Calidad del Producto que impone el CONELEC, se ha tomado en consideración normas de calidad de energía eléctrica EN50160.

Se presenta la norma EN50160 porque es la base de las regulaciones de varios países latinoamericanos. Esta norma fue dictada por el CENELEC y básicamente es una recopilación de las dos entidades normativas más importantes la IEEE y la IEC de la IEEE se han considerado las publicaciones donde se establecen los límites de tolerancia de valores de calidad, principalmente en armónicos.

De la IEC se toman a consideración las normas donde se establecen los procedimientos para la construcción de los equipos para que estén facultados a procesar internamente las señales y las pueda convertir en valores eléctricos como parpadeo, armónicos, voltajes, corrientes, etc.

En otras palabras las normativas IEC, consideradas en la norma EN50160, establecen cómo tomar y procesar las lecturas y de la IEEE se tomaron los límites para estas lecturas.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO ACERCA DE CALIDAD DE ENERGÍA

#### 2.1 TIPOS DE CARGA

##### 2.1.1 CARGAS LINEALES.

Esto ocurre cuando en la carga posee elementos como resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos. Con estas características en el sistema se tiene un voltaje sinusoidal, una corriente también sinusoidal, y por lo general existe un desfase entre ellos.

La iluminación incandescente y las cargas de calefacción son lineales en naturaleza. Esto es, la impedancia de la carga es esencialmente constante independientemente del voltaje aplicado. Como se ve en la figura 2.1, en los circuitos AC la corriente se incrementa proporcionalmente al incremento del voltaje y disminuye proporcionalmente a la disminución del voltaje.

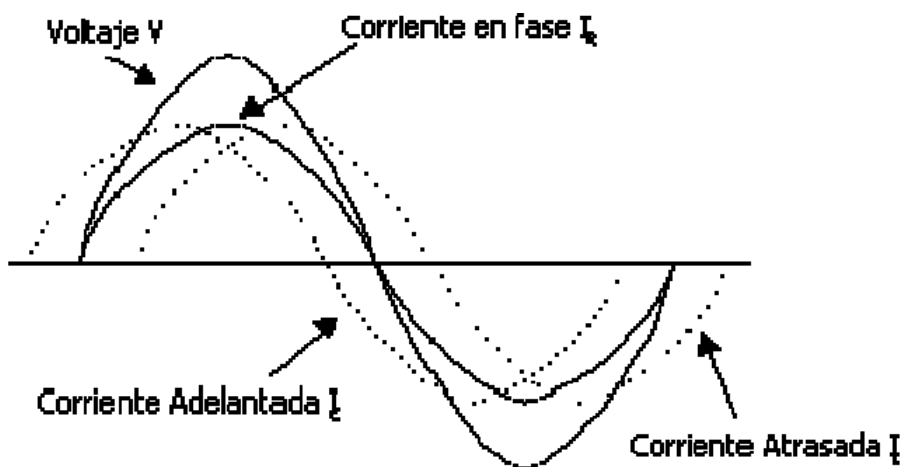
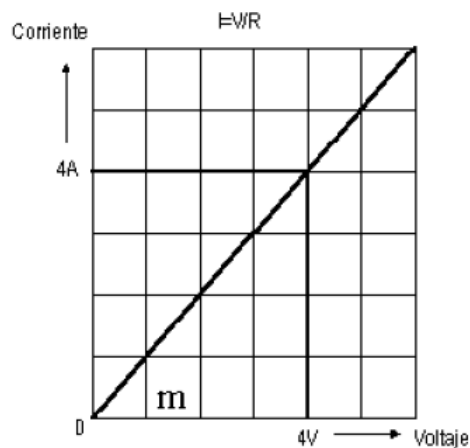


Figura 2.1.- Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

Corrientes lineales:  $I_R$  es una corriente pura de circuito resistivo;  $I_L$  es una corriente de circuito parcialmente inductiva (atrasada); e  $I_C$  es una corriente de circuito parcialmente capacitiva (adelantada).

Una resistencia pura, una inductancia y una capacitancia son todas lineales. Lo que eso significa es que si una onda senoidal de voltaje de una cierta magnitud es puesta en un circuito que contiene una resistencia pura, por ejemplo, la corriente en el circuito obedece a la Ley de Ohm  $I=V/R$ . Para un valor específico de ohmios, la relación entre los voltios y los amperios es una línea recta. Esta relación es mostrada en la Figura 2.2. Lo mismo ocurre para las capacitancias, inductancias o una combinación entre las tres.



$m = \text{Angulo con respecto al eje de voltaje}$

Figura 2.2 - Curva del comportamiento de una carga lineal

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

Con una carga lineal, la relación entre el voltaje y la corriente es lineal y proporcional. La línea diagonal cuando posee un valor de  $m$  representa una resistencia fija de valor  $m$ .

Este tipo de cargas no representan un problema de distorsión de la forma de onda por el hecho de comportarse de manera lineal.

### 2.1.2 CARGAS NO LINEALES.

Las cargas no lineales demandan una corriente no senoidal, cuyo paso por la impedancia del sistema provoca una caída de voltaje no senoidal, lo cual se traduce en una distorsión de voltaje en terminales de la carga.



Entre las cargas no lineales más comunes tenemos los convertidores estáticos, dispositivos magnéticos saturados y hornos de arco.

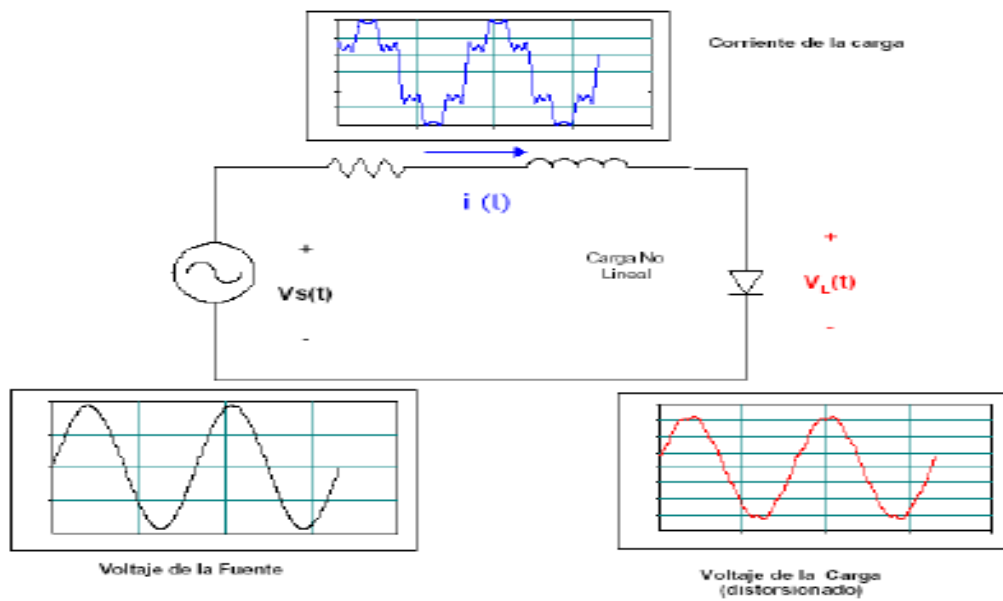


Figura 2.3 Distorsión de voltaje provocada por carga no lineal

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

Con una carga no lineal no se tiene relación directa entre el voltaje y la corriente como las lineales. Un ejemplo se muestra en la figura 2.4.

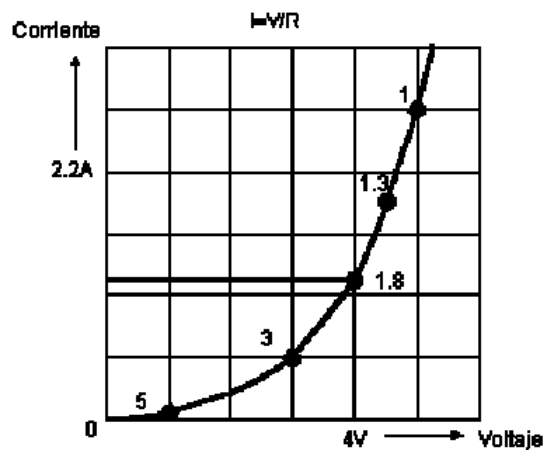


Figura 2.4.- Curva del comportamiento de una carga no lineal

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

El uso de las cargas no lineales se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Los convertidores estáticos son las cargas no lineales más utilizadas en la industria donde se las usa para una gran variedad de aplicaciones, tales como fuentes de poder para procesos electroquímicos, variadores de velocidad y fuentes ininterrumpibles de poder (UPS).

Una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores así como interferencia en equipos de comunicación mientras que la distorsión del voltaje provoca una operación incorrecta de equipos sensibles (computadoras, micro controladores).

Los efectos de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos son:

- Distorsión de voltaje en el Sistema eléctrico
- Interrupción de procesos productivos
- Altos niveles de voltaje de neutro a tierra
- Sobrecalentamientos en los transformadores y elevados campos electromagnéticos
- Disminución en la capacidad de los equipos de distribución
- Penalizaciones tarifarias debido al bajo factor de potencia.

## **2.2 PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

### **2.2.1 TRANSITORIOS**

En ingeniería eléctrica el término transitorio caracteriza a aquellos eventos indeseables en el sistema que son de naturaleza momentánea.

#### **2.2.1.1 TRANSITORIO IMPULSIVO**

Un transitorio impulsivo no provoca alteraciones en las condiciones de estado estable de tensión o corriente, su polaridad es unidireccional, esto es, positivo o negativo.

Debido a la falta de frecuencia un transitorio impulsivo es atenuado rápidamente al recorrer la resistencia presente de los componentes del sistema y no se propagan muy lejos del lugar donde fueron generados.

Son considerados transitorios de origen atmosféricos y son también llamados impulsos atmosféricos.

Como principal efecto de este disturbio tenemos que puede causar una falla inmediata en el aislamiento de los equipos y fuentes electrónicas.

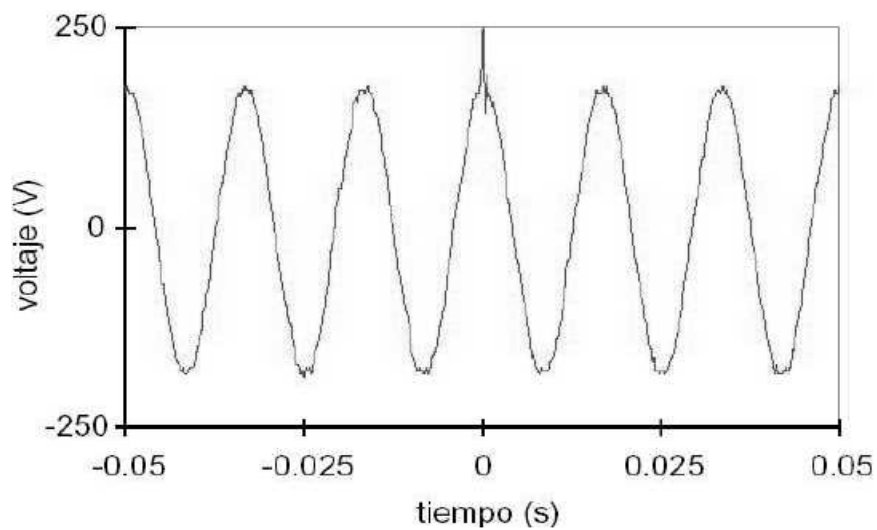


Figura 2.5.- Curva de espectro de transitorio impulsivo

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

### 2.2.1.2 TRANSITORIO OSCILATORIO

Un transitorio oscilatorio consiste de variaciones de tensión y corriente cuyos valores instantáneos cambian de polaridad rápidamente. Normalmente son resultado de modificaciones de la configuración de un sistema como por ejemplo, maniobras en líneas de transmisión, enclavamiento de bancos de capacitores.

Como el transitorio impulsivo el transitorio oscilatorio puede causar la quema o daños en los equipos electro – electrónicos.

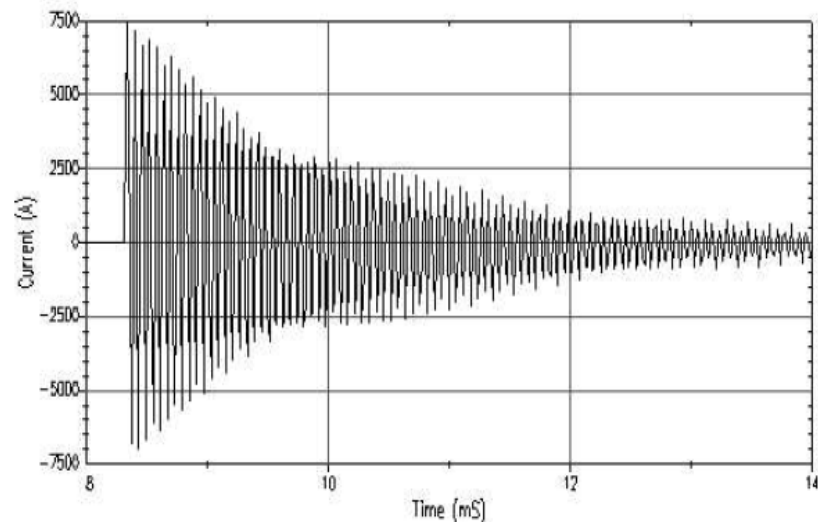


Figura 2.6.- Curva de espectro de transitorio oscilatorio

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

## 2.2.2 VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN

Las variaciones de tensión de corta duración generalmente se originan por las fallas del un sistema eléctrico, energización de grandes bloques de carga. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones de operación del sistema, la falla puede ocasionar elevación de tensión (Swell), depresión de tensión (Sag) o una interrupción.

### 2.2.2.1 INTERRUPCIÓN

Una interrupción se caracteriza por ser un decremento de la tensión de alimentación a un valor menor que 0,1 [p.u] por un período de tiempo de 0,5 ciclos a un minuto. Una interrupción puede ser resultado de fallas en el sistema eléctrico, fallas de los equipos o el mal funcionamiento de los sistemas de control.

La duración de la interrupción debido a fallas en el sistema está determinada por los eventos que generan la falla. De modo general, las interrupciones casi siempre causan daño o mal funcionamiento de los equipos electrónicos.

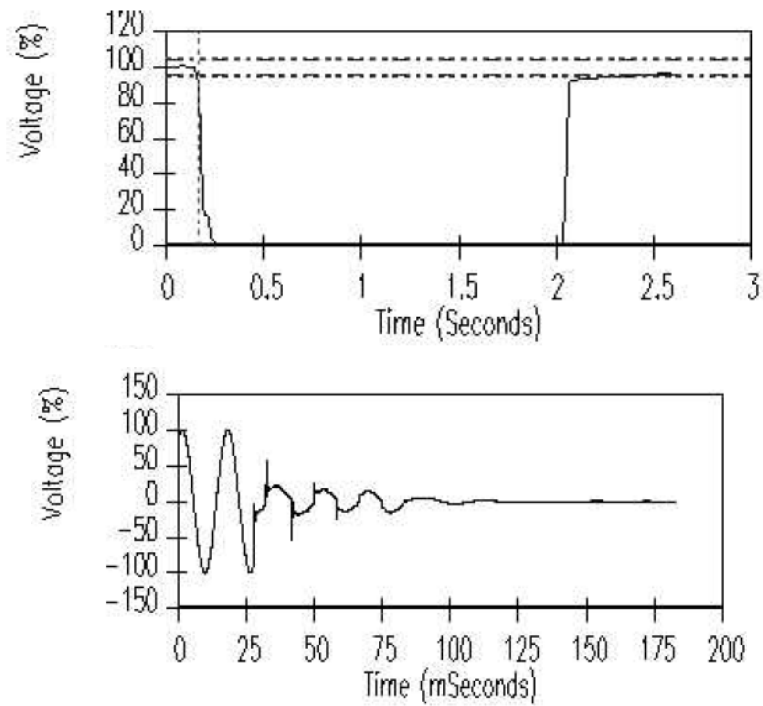


Figura 2.7.- Curva de espectro de interrupción

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

#### 2.2.2.2 DEPRESIÓN DE TENSION (SAG)

La depresión de tensión es una reducción momentánea del valor eficaz de la tensión al orden de 0,1 a 0,9 [p.u.], con una duración entre 0,5 ciclos a 1 minuto. Generalmente está asociada a fallas del sistema, pero también puede ser producida por la entrada de grandes bloques de carga o arranque de grandes motores. La depresión de tensión puede provocar la parada de equipos electro – electrónicos y la interrupción de los procesos productivos.

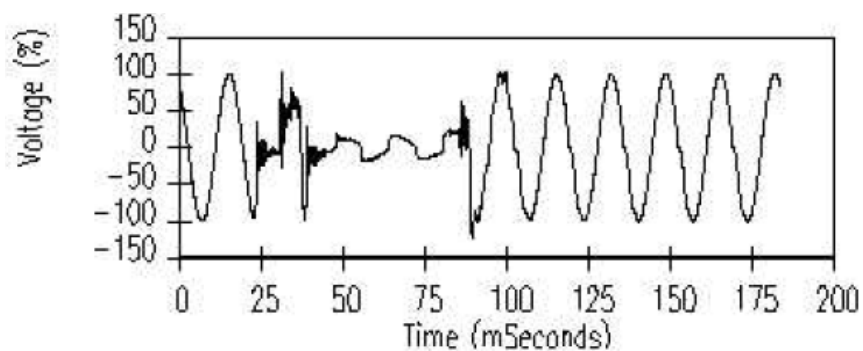


Figura 2.8.- Curva de espectro de sag

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

### 2.2.2.3 SALTO DE TENSIÓN (SWELL)

El salto de tensión es caracterizado por el incremento del valor eficaz de la tensión en el orden de 1,1 a 1,8 [p.u.] con una duración entre 0,5 a 1 minuto.

El salto de tensión es generalmente asociado a condiciones de falla desequilibrada en el sistema, salida de grandes bloques de carga y entrada de bancos de capacitores.

El salto de tensión puede causar degradación y falla inmediata del aislamiento de los equipos y fuentes electrónicas, quema de varistores y de diodos zener.

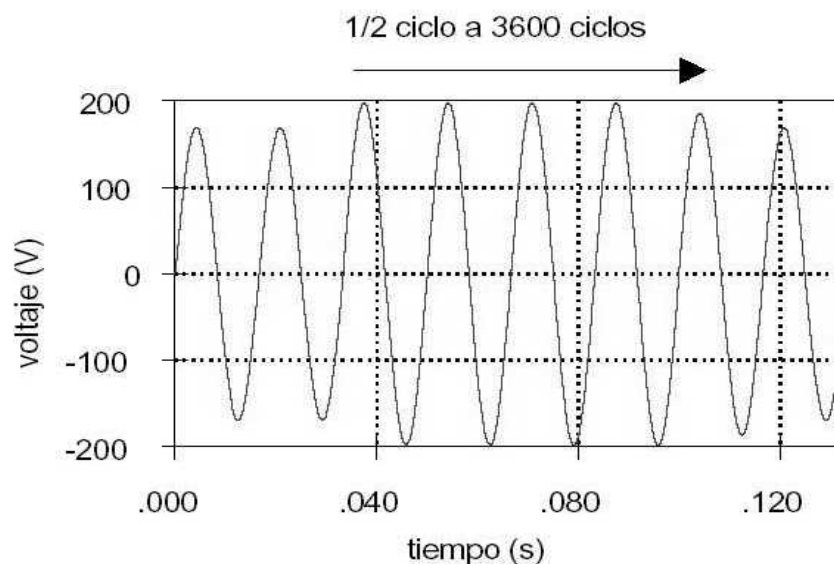


Figura 2.9.- Curva de espectro de swell

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

### 2.2.3 VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN

Engloban variaciones del valor eficaz de la tensión durante un tiempo superior a 1 minuto, por lo tanto son consideradas como disturbios de régimen permanente.

### **2.2.3.1 INTERRUPCIÓN SOSTENIDA**

Se considera una interrupción sostenida a la reducción de la tensión de alimentación al valor de cero por un tiempo superior a un minuto. Son de naturaleza permanente y requieren intervención manual para restablecimiento de la energía eléctrica del sistema.

### **2.2.3.2 SUBTENSIÓN**

Las subtensiones son definidas como una reducción del valor eficaz de la tensión de 0,8 a 0,9 [p.u.] por un período superior a 1 minuto.

La entrada de carga o salida de bancos de capacitores pueden provocar subtensiones, esto hace que los equipos de regulación de tensión del sistema actúen y retornen la tensión a sus límites normales, estas subtensiones también pueden ser causadas por sobrecargas en los alimentadores.

Las subtensiones causan un aumento en las pérdidas en los motores de inducción, parada de la operación de dispositivos electrónicos y mal funcionamiento de los sistemas de mando de motores.

### **2.2.3.3 SOBRETENSIÓN**

Las sobretensiones son caracterizadas por el aumento del valor eficaz de la tensión de 1,1 a 1,2 [p.u.] durante un tiempo superior a 1 minuto. Las sobretensiones pueden tener origen en la salida de grandes bloques de carga, entrada de bancos de capacitores y también al ajuste incorrecto de los taps de los transformadores.

## **2.2.4 DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN**

Es definido como la razón entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva. La tensión de secuencia negativa en los sistemas de potencia es el resultado del desequilibrio de carga lo cual causa un flujo de corriente de secuencia negativa.

Un desequilibrio de tensión puede ser estimado como el máximo desvío de la media de las tensiones de las tres fases dividido por la media de las tensiones, expresado en forma de porcentaje. La principal fuente de desequilibrio de tensión es la conexión de cargas monofásicas en circuitos trifásicos; anomalías en bancos de capacitores.

## **2.2.5 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA**

La distorsión de la forma de onda es un desvío, en régimen permanente, de la forma de onda de corriente o tensión en relación a la señal sinusoidal pura.

### **2.2.5.1 ARMÓNICOS**

Se conoce como distorsión armónica a la deformación de la onda de su característica sinusoidal pura original. Un análisis matemático (Fourier) de ondas distorsionadas por cargas no lineales muestra que ellas están compuestas de la onda seno fundamental, además de una o más ondas con una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Por ejemplo: una onda fundamental de 60 Hz, una onda de 180 Hz y otra de 300 Hz cuando se suman juntas resulta en un tipo de onda distorsionada específica. Estos múltiplos de la frecuencia fundamental han sido llamados "armónicos".

Las formas de onda no sensoriales consisten de (y pueden ser descompuestas en) un número finito de ondas seno puras de diferentes frecuencias. En la figura se muestra la combinación de una forma de onda de voltaje senoidal y una forma de onda de 3er armónico crea una forma de onda armónicamente distorsionada.



La forma de onda resultante dependerá del desplazamiento de fase del 3er armónico.

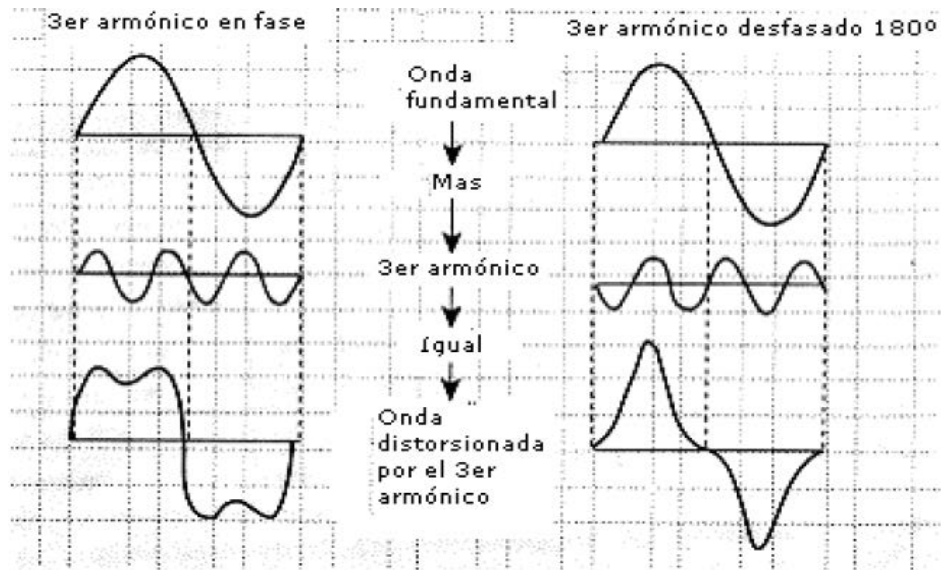


Figura 2.10.- Distorsión de una onda fundamental por armónicos

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

### 2.2.5.2 CORTE

Corte es un disturbio periódico de la tensión normal de los equipos que utilizan electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Durante este período ocurre un corto circuito entre las dos fases. Si el efecto de corte ocurre continuamente (estado permanente), este puede ser caracterizado a través del espectro armónico. La principal fuente de cortes de tensión son los convertidores trifásicos.

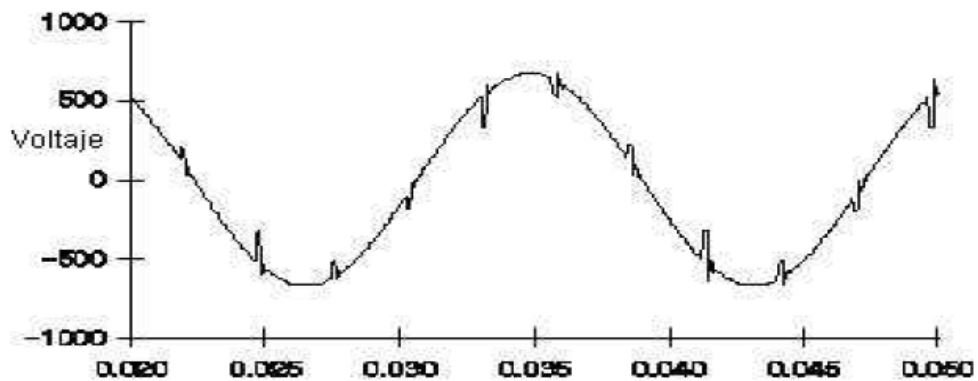


Figura 2.11.- Curva de espectro de corte

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

### 2.2.5.3 RUIDO

El fenómeno conocido como ruido es una señal indeseable, como espectro de frecuencia amplia, menor que 200 [kHz], de baja intensidad, superpuesto a la corriente o tensión en los conductores de fase, o encontrado en los conductores de neutro.

Normalmente este tipo de interferencia es resultado de operaciones defectuosas, de equipos, instalación inadecuada de componentes en el sistema por las empresas suministradoras o por los usuarios y por los aterrizamientos impropios.

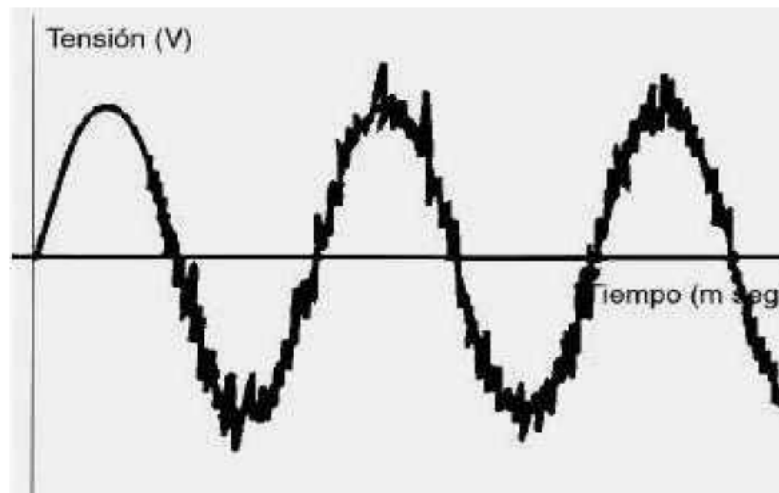


Figura 2.12.- Curva de espectro de ruido

Fuente: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

### 2.2.6 FLUCTUACIÓN DE TENSIÓN

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del perfil de la tensión o una serie de variaciones aleatorias de la magnitud de la tensión, las cuales normalmente exceden el límite especificado de 0,95 a 1,05 [p.u.].

El flicker o parpadeo de la luz (del inglés: flicker = parpadear, titilar) se define como “impresión subjetiva de fluctuación de la luminancia”.

Es un fenómeno de origen fisiológico visual que sufren los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a iluminación y a una carga perturbadora.

Normalmente las variaciones de tensión que provocan el flicker poseen una amplitud inferior a 1 % y la frecuencia de ocurrencia de falla de 0 a 30 Hz.

La molestia del parpadeo se pone de manifiesto en las lámparas de baja tensión. Por el contrario, las cargas perturbadoras pueden encontrarse conectadas a cualquier nivel de tensión. En el origen de este fenómeno están las fluctuaciones bruscas de la tensión de red.

Principalmente el flicker es el resultado de fluctuaciones rápidas de pequeña amplitud de la tensión de alimentación, provocadas por la variación fluctuante de potencia que absorben diversos receptores: hornos de arco, máquinas de soldar, motores, etc. Por la alimentación o desconexión de cargas importantes: arranque de motores, maniobra de baterías de condensadores, etc.

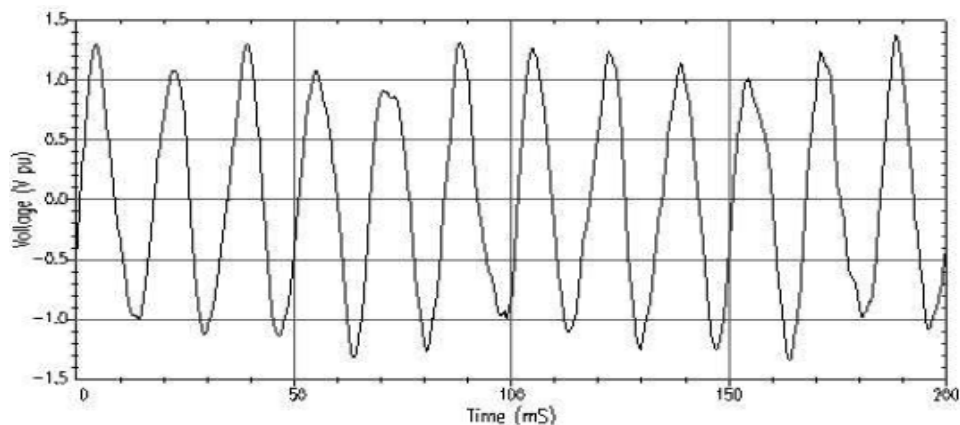


Figura 2.13.- Curva de espectro de fluctuación de tensión Fuente:

[www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)

## PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

<b>Categoría</b>	<b>Duración Típica</b>	<b>Magnitud Típica del Voltaje</b>
<b>1. Transitorios</b>		
1.1 Transitorio Impulsivo	< 0.5 ciclos	
1.2 Transitorio Oscilatorio	< 0.5 ciclos	0 – 8 p.u.
<b>2. Corta Duración</b>		
2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 1 min	< 0.1 p.u.
2.2 Depresión de Tensión (Sag)	0.5 ciclos – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
2.3 Salto de Tensión (Swell)	0.5 ciclos – 1 min	1.1 – 1.8 p.u.
<b>3. Larga Duración</b>		
3.1 Interrupción Sostenida	> 1 min	0 p.u.
3.2 Subtensión	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
3.3 Sobretensión	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
<b>4. Desequilibrio de Tensión</b>	Estado Estable	0.5 – 2 %
<b>5. Distorsión de la forma de onda</b>		
5.1 Armónicos	Estado Estable	0 – 20 %
5.2 Corte	Estado Estable	
5.3 Ruido	Estado Estable	0 – 1 %
<b>6. Fluctuación de Tensión (Flicker)</b>	Intermitente	0.1 – 7 %

Tabla 1: Perturbaciones Eléctricas

Fuente: [www.cec.com](http://www.cec.com)

### 2.2.6.1 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN: FLICKER

Se define como Flicker o parpadeo a una variación rápida y cíclica del Voltaje, que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

Umbral de irritabilidad del Flicker. Fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Índice de severidad del Flicker de corta duración (Pst).

Índice que evalúa la severidad del Flicker en cortos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 10 minutos). Se considera  $Pst = 1$  como el umbral de irritabilidad.

Índice de severidad del Flicker de larga duración (Plt): Índice que evalúa la severidad del Flicker en largos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 2 horas), teniendo en cuenta los sucesivos valores del índice de severidad del Flicker de corta duración según la siguiente expresión:

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

Nivel de Referencia: Se define como aquel nivel de perturbación garantizado en un dado punto de suministro (definido para cada tipo de perturbación), que asegura que si no es sobrepasado en un tiempo mayor al 5% del período de medición, la calidad del producto técnico es adecuada y existe compatibilidad electromagnética satisfactoria entre las instalaciones y equipos del consumidor con la red de suministro.

Estos Niveles de Referencia son garantizados, lo que significa que en cualquier punto de suministro es exigible el Nivel de Referencia con la probabilidad especificada (95 %), y se corresponden a valores establecidos por normativa internacional. Dichos valores no pueden ser sobrepasados durante más de un 5% del período de medición.

El indicador del Flicker deberá ser medido por el índice de severidad de corto plazo Pst, definido por la Norma IEC 61000-3-7.

### **2.2.7 Tolerancia para Flicker en el Voltaje.**

El índice de tolerancia máxima para el Flicker está dado por:

$$Pst \leq 1$$

Donde:

Pst: Índice de severidad de Flicker de corto plazo

## CAPITULO 3

### NORMATIVIDAD

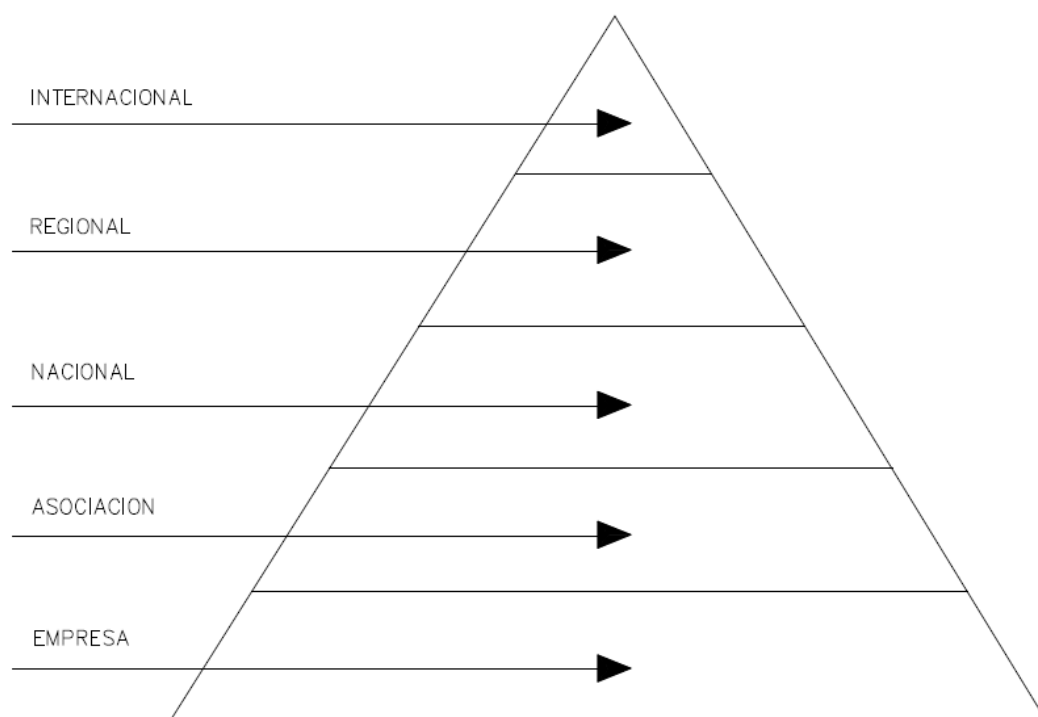


Figura 3.1. Clasificación en categorías de la Normatividad

Fuente: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

**INTERNACIONAL:** Elaborada con el aval de los organismos nacionales de normalización que pertenecen a la organización internacional (ISO, IEC, UIT).

**REGIONAL:** Elaborada con el aval de los organismos nacionales de normaliza

#### 3.1 NORMA EN50160

Esta norma describe las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y media tensión en condiciones normales y en el punto de entrega al cliente. Como dice su primer apartado: “esta norma da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no los valores típicos en la red general de distribución.

Define los límites para la frecuencia nominal de la tensión suministrada, la amplitud de la tensión, las variaciones de la tensión suministrada, las variaciones rápidas de la tensión (amplitud de las variaciones y severidad de los parpadeos), los huecos de tensión, las interrupciones de corta y larga duración del suministro, las sobretensiones temporales y transitorias, el desequilibrio de la tensión suministrada, las tensiones armónicas e ínter armónicas y la transmisión de señales de información por la red, así como los protocolos de medida.

Es importante resaltar que la norma solo es aplicable en condiciones normales de operación e incluye una lista de operaciones en las que los límites no son aplicables, como las operaciones realizadas después de una falla, acciones industriales o cortes de suministro debidos a eventos externos.

Evento en la tensión de suministro	Magnitud	Duración
Sags	90 % < 1%	10 ms < 1 minuto
Baja de tensión	90 % < 1%	> 1 minuto
Interrupción de suministro	< 1%	< 3 minutos (breve) > 3 minutos (larga)
Sobretensión temporal	> 110 %	Relativamente larga
Sobretensión transitoria	> 110 %	Algunos milisegundos

Tabla 2: Límites según norma EM50160

Fuente: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

### 3.2 NORMA IEC 6100032.

Se refiere a los límites que se deben tener para las emisiones de corriente armónica, para equipos en los cuales su entrada de corriente por fase sea  $\leq 16A$ .

Orden armónico h	Corriente armónica máxima permitida (A)
<b>Armónicos Impares</b>	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq h \leq 39$	0.25 / h
<b>Armónicos pares</b>	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq h \leq 40$	1.84 / h

Tabla 3: Límites para los equipos clase A según norma 61000-3-2

Fuente: [www.iec.org](http://www.iec.org)

Para los equipos de clase B se utilizan los valores de la tabla anterior multiplicados por un factor de 1,5.

### 3.3 NORMA IEC 6100024.

Establece los niveles de compatibilidad para las perturbaciones a nivel industrial, se puede aplicar en redes de distribución de 50 y 60 Hz, en baja y media tensión; los parámetros de variación de tensión que define son, frecuencia, forma de onda, amplitud y equilibrio de fases. Para la utilización de esta norma se debe tener en cuenta e identificar los diferentes equipos y sus características, para de esta manera establecer la clase en la cual se encuentran y así aplicar la norma.

Clase 1: se refiere a equipos muy sensibles a perturbaciones en el suministro de energía.

Clase 2: se relaciona a puntos de conexión común y puntos de conexión interior en el entorno de la industria.

Clase 3: esta clase aplica, para alimentaciones a través de convertidores, máquinas de gran consumo de energía o motores grandes con arranques frecuentes.



### **3.4 NORMA IEC 61000430.**

Define los métodos de medida de los parámetros de calidad de suministro de energía y el modo de interpretar los resultados. En la norma se indica los métodos de medir sin fijar los umbrales. Entre otros parámetros el estándar define los métodos con los cuales se detectan y evalúan, los huecos de tensión, sobretensiones temporales y las interrupciones de la tensión de suministro.

De esta manera define dos formas de utilización de la norma, denominadas clase A y B, la primera clase se refiere a medidas de baja incertidumbre, verificación de cumplimiento de las normas, aplicaciones contractuales, etc. La clase B está destinada a estudios estadísticos, o solución de problemas en instalaciones eléctricas relacionadas con la calidad de energía.

### **3.5 ESTANDAR IEEE 1159.**

Define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas: transitorios, variaciones corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia.

Las variaciones de corta duración comprenden los Sags, las interrupciones y los “swell”. Cada tipo de clasifica en instantáneo momentáneo o temporal dependiendo de su duración.

Las variaciones de corta duración (Swells, Sags e interrupciones sostenidas) se producen casi siempre por condiciones de fallo, por la conexión de cargas que requieren grandes corrientes de arranque.

Dependiendo de la ubicación de la falla se pueden producir sobretensiones, subtensiones o interrupciones temporales. Sin importar el lugar en el cual se localice la falla (lejos o cerca del punto de estudio), su efecto sobre la tensión va a ser una variación de corta duración.

Categorías	Duración típica	Magnitud típica de la tensión
<b>1.0 Variaciones corta duración</b>		
<b>1.1 Instantánea</b>		
1.1.1 Hueco	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u.
1.1.2 Swell	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u.
<b>1.2 Momentánea</b>		
1.2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 3 s	< 0.1 p.u.
1.2.2 Hueco	30 ciclos – 3 s	0.1 – 0.9 p.u.
1.2.3 Swell	30 ciclos – 3 s	1.1 – 1.4 p.u.
<b>1.3 Temporal</b>		
1.3.1 Interrupción	3 s – 1 min	< 0.1 p.u.
1.3.2 Hueco	3 s – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
1.3.3 Swell	3 s – 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
<b>2. variaciones larga duración</b>		
2.1 Interrupción	> 1 min	0.0 p.u.
2.2 Subtension	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
2.3 Sobretension	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.

Tabla 4 Límites de corta y larga duración según norma IEEE1159

Fuente: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

### 3.6 NORMA IEC 5552.

La norma establece las exigencias sobre armónicas que deben cumplir todos aquellos equipos que consumen menos de 16 Amperios por fase en la red 220 V a 415 V, entre ellos figuran los computadores personales y los televisores. La norma establece los límites en base a valores eficaces (rms) de cada armónica, la relación entre el valor eficaz y el valor máximo eficaz y valor máximo.

### 3.7. ESTANDAR IEEE 519

En la recomendación IEEE 519 encontramos las “Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia”. Existe un efecto combinado de todas las cargas no lineales sobre el sistema de distribución la cual tienen una capacidad limitada para absorber corrientes armónicas. Los operadores de red de energía eléctrica, tienen la responsabilidad de suministrar óptimo nivel de tensión y forma de onda. La IEEE 519 hace referencia no solo al nivel absoluto de armónicos producido por una fuente individual sino también a su magnitud con respecto a la red de abastecimiento.

Donde existan problemas, a causa de la inyección excesiva de corriente armónica o distorsión de tensión, es obligatorio para el suministrador y el consumidor, resolver estos problemas. Por tal motivo el propósito de esta norma es el de recomendar límites en la distorsión armónica de acuerdo básicamente a dos criterios:

1. Existe una limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica.
2. Se establece una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor.

En la IEEE 519 por un lado se recomiendan los niveles máximos de distorsión armónica en función del valor de la relación de corto circuito (SCR) y el orden de la armónica, por otro lado también identifica niveles totales de distorsión armónica.

Todos los valores de distorsión de corriente se dan en base a la máxima corriente de carga (demanda). La distorsión total está en términos de la distorsión total de la demanda (TDD) en vez del término más común THD. En la siguiente tabla se muestra los límites de corriente para componentes de armónicas individuales así como también distorsión armónica total. Por ejemplo un consumidor con un SCR entre 50 y 100 tiene un límite recomendado de 12.0% para TDD, mientras que para componentes armónicas impares individuales de ordenes menores a 11, el límite es del 10%.

<b>Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 volts.</b>						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 5: Límites según norma IEEE519

Fuente: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

La IEEE 519 establece también otros parámetros de la calidad de la energía eléctrica como lo son los siguientes:

Flicker de Tensión: Los lineamientos para el parpadeo de tensión ocasionado por consumidores individuales, se encuentran recomendados en la IEEE 519.

El segundo conjunto de parámetros eléctricos establecidos por la IEEE 519 se refiere a los límites de distorsión de la tensión. Los límites armónicos de tensión recomendados se basan en niveles lo suficientemente pequeños como para garantizar que el equipo de los suscriptores opere satisfactoriamente. La Tabla 15 contempla los límites de distorsión armónica de voltaje según IEEE 519.

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Tensión (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
Hasta 69 KV	3.0	5.0
De 69 KV a 137.9 KV	1.5	2.5
138 KV y mas	1.0	1.5
Nota: Los sistemas de alto voltaje pueden llegar hasta un 2.0% en THD cuando lo que causa es un alto voltaje terminal DC, el cual podría ser atenuado.		

Tabla 6: Límites según norma IEEE519

Fuente: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

Como es común, los límites se imponen sobre componentes individuales y sobre la distorsión total para la combinación de todos los voltajes armónicos (distorsión armónica). Lo diferente en esta tabla, sin embargo, es que se muestran tres límites diferentes. Ellos representan tres niveles de voltaje; hasta 69 KV, de 69 a 161 KV, y por encima de 161 KV. Al aumentar los voltajes disminuyen los límites de distorsiones, al igual que para los límites de corrientes.

## CAPÍTULO IV

### DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE REDES

#### 4.1. Características Principales de un Analizador de Redes

Es un instrumento capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de voltajes, corrientes, potencias, armónicos, en forma de histogramas, gráficas fasoriales, formas de onda, espectros de armónicos, estos como parámetros principales, pues depende de las distintas marcas que se encuentren en el mercado las características más específicas y las ventajas que cada una de estas presenta.



Figura 4.1. Características Principales de un Analizador de Redes

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

#### 4.1.1 Partes del Equipo Analizador Fluke 435

El equipo FLUKE 435 es un analizador de redes de tipo trifásico, mide prácticamente todos los parámetros del sistema eléctrico, como tensión, corriente, potencia, consumo (energía), desequilibrio, Flickers, armónicos.

Captura eventos como fluctuaciones, transitorios, interrupciones y cambios rápidos de tensión.

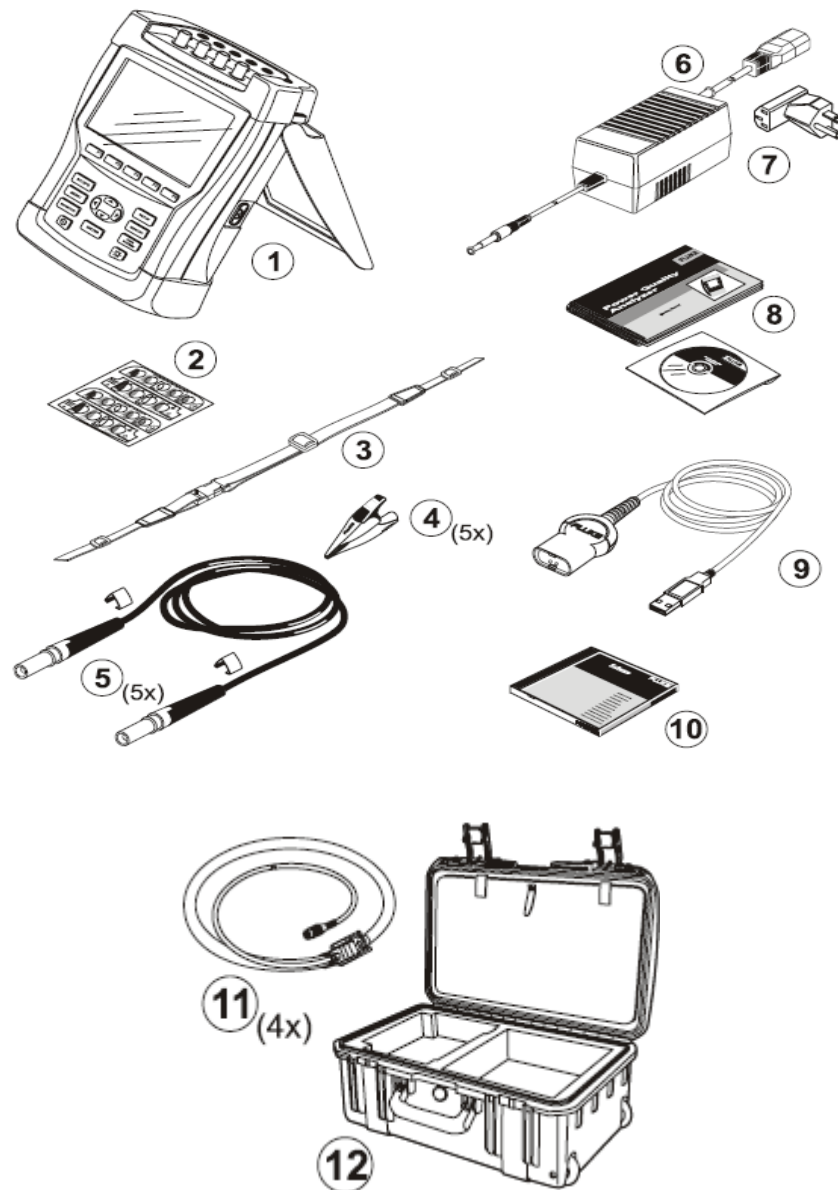


Figura 4.1.1 Partes del Equipo Analizador Fluke 435

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

N°	Descripción
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica
2	Juego de adhesivos para las tomas de entrada
3	Correa
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5
5	Cables de prueba, 2,5 m. Juego de 5
6	Cargador de batería / Adaptador de red
7	Adaptador de enchufe de línea (según el país)
8	Manual de iniciación + CD ROM con Manual de uso y Manual de iniciación (varios idiomas)
9	Cable óptico USB
<b>Fluke 435:</b>	
10	CD ROM con el software FlukeView® para Windows® + software de registro de potencia para Windows®
11	Pinzas amperimétricas de CA flexibles 3000 A. Juego de 4 piezas Modelo i430flex-4pk.
12	Maletín con ruedas de alta resistencia C435.

Tabla 7: Descripción de las partes del Analizador Fluke 435

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

El analizador incorpora un soporte de sujeción que permite visualizar la pantalla en ángulo con el instrumento apoyado sobre una superficie plana. Al desplegar el soporte, puede acceder al puerto óptico RS-232 desde el lateral derecho del analizador, tal como se muestra en la figura.

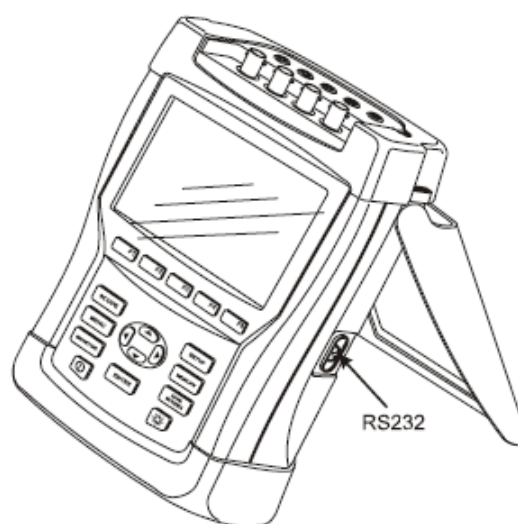


Figura 4.1.2 Ubicación del puerto RS-232

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

### 4.1.2. Programación Básica

La programación del equipo depende del tipo de sistema eléctrico en el que se va a aplicar, debido a la amplia información disponible, la mejor forma de indicar la configuración del equipo es colocando un anexo del uso y configuración del equipo, descargado de la página de Internet de la marca.

### 4.1.3 Diagramas de Conexiones Principales

Siempre que sea posible, elimine la tensión de los sistemas eléctricos antes de realizar las conexiones. Utilice siempre el equipo de protección personal apropiado. Evite trabajar solo y siga las instrucciones de uso.

En sistemas trifásicos, realice las conexiones tal y como se muestra en la Figura

A continuación presentamos los diagramas de conexiones principales en sistemas trifásicos.

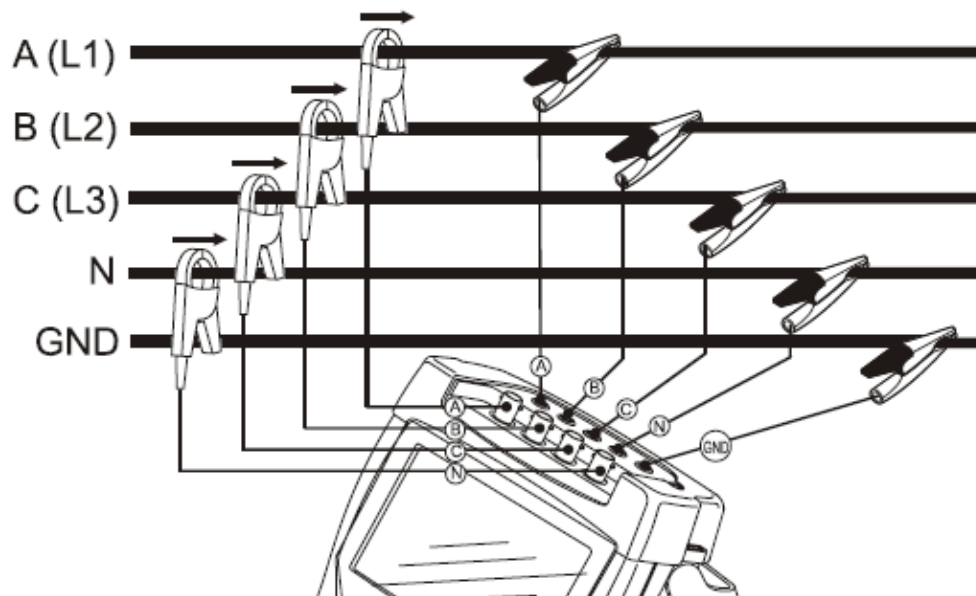


Figura 4.1.3 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)



Las pantallas de osciloscopio y diagrama fasorial resultan útiles para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectadas correctamente. En el diagrama vectorial, las corrientes y tensiones de fase L1 (A), L2 (B) y L3 (C) deben aparecer sucesivamente cuando se observan en el sentido de las agujas del reloj, como se muestra en el ejemplo de la Figura.

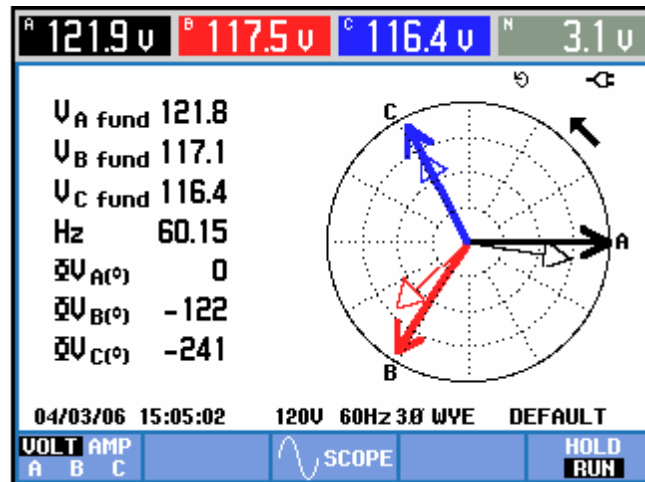


Figura 4.1.4 Diagrama vectorial de un analizador correctamente conectado

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

## **CAPÍTULO V**

### **MEDICIONES Y ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS**

#### **5. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES**

En el siguiente estudio de Calidad del Energía Eléctrica se cumple con las mediciones necesarias para un estudio de Calidad del Producto dentro del establecimiento (Universidad Politécnica Salesiana – Nuevo Campus), no obstante el análisis presentado enfoca algunos parámetros adicionales dada la facilidad de obtención de datos registrados en el equipo de medición que cumple con los parámetros de Calidad del Producto reguladas por el CONELEC.

Para cada una de las mediciones realizadas se contó con el equipo FLUKE 435, un Analizador de Redes que mide cada uno de los parámetros estipulados por el CONELEC para un estudio de Calidad de Energía.

Adicionalmente se hará énfasis a los armónicos de corriente, que en la actualidad por el incremento de la electrónica de potencia y cargas no lineales requieren corrientes deformadas para su normal funcionamiento; y como resultado en su gran mayoría sin un control adecuado en el sistema eléctrico de Distribución realiza una distorsión de la forma de onda de voltaje y de corriente.

Se toma en consideración los valores dados en la regulación como valores ajustables en el momento de colocación del equipo de medición, los cuales servirán de valores referenciales incluso para mediciones en las que no se requiere todos los parámetros solicitados por el CONELEC y que en este estudio se ha hecho énfasis.

#### **Datos del Tablero de Alimentación Principal del Nuevo Campus**

- a) Transformador Trifásico Dy5 de 500 KVA Media Tensión 13,8 KV/Baja Tensión 208 V
- b) Breaker Principal de 1600 A, de Tres Polos
- c) Cada Fase compuesta por 4 Cables 250 MCM
- d) Neutro compuesto por 4 Cables 250 MCM
- e) Tierra compuesto por un Cable 2/0



Foto 5.1 UPS-G Nuevo Campus (Panel Principal)

Fuente: Autor

### **5.1 MEDICIONES PRIMER DIA**

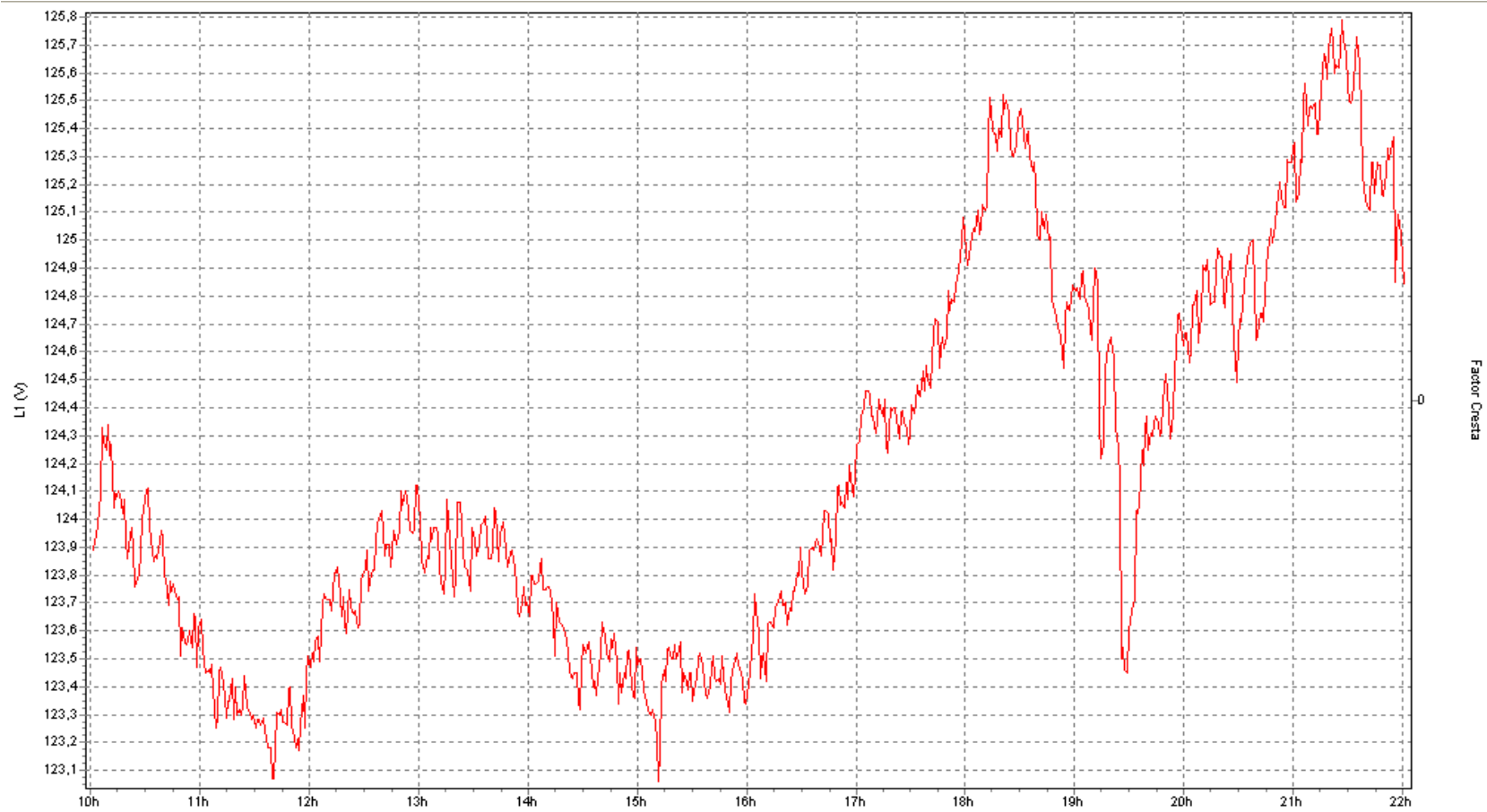
Se realizaron las mediciones con el analizador de redes FLUKE 435 desde las 10h00 hasta las 22h00 del miércoles 10 de febrero del 2010 realizando la adquisición de datos requeridos para su análisis posterior y de esta manera poder concluir con lo referente a la calidad del producto cumpliendo con las normas internacionales.

### **5.2 MEDICIONES SEGUNDO DIA**

Se realizaron las mediciones con el analizador de redes FLUKE 435 desde las 08h00 hasta las 21h30 del jueves 11 de febrero del 2010 realizando la adquisición de datos requeridos para su análisis posterior y de esta manera poder concluir con lo referente a la calidad del producto cumpliendo con las normas internacionales.

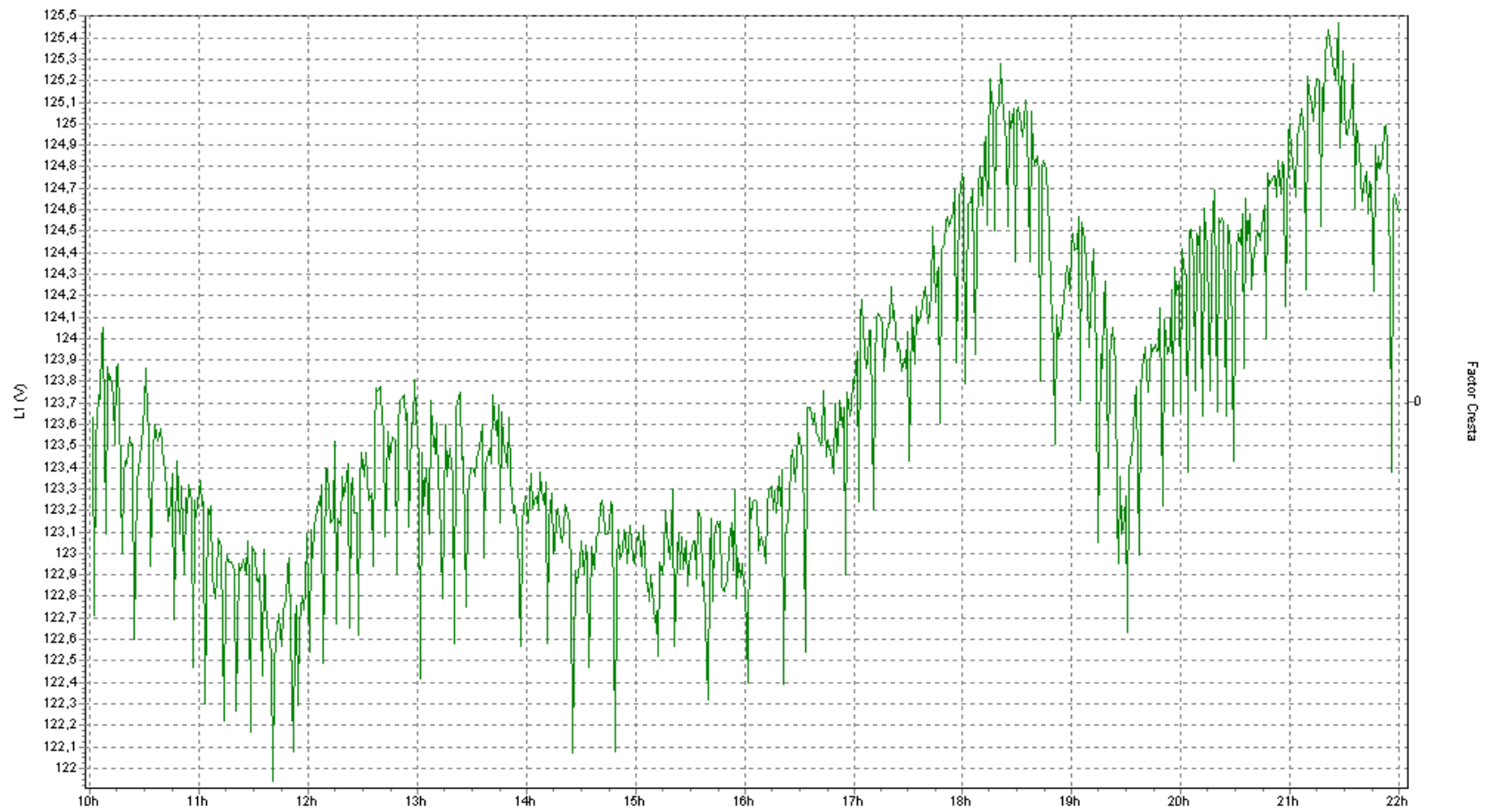
### **5.3 MEDICIONES TERCER DIA**

Se realizaron las mediciones con el analizador de redes FLUKE 435 desde las 09h30 hasta las 22h00 del viernes 12 de febrero del 2010 realizando la adquisición de datos requeridos para su análisis posterior y de esta manera poder concluir con lo referente a la calidad del producto cumpliendo con las normas internacionales.



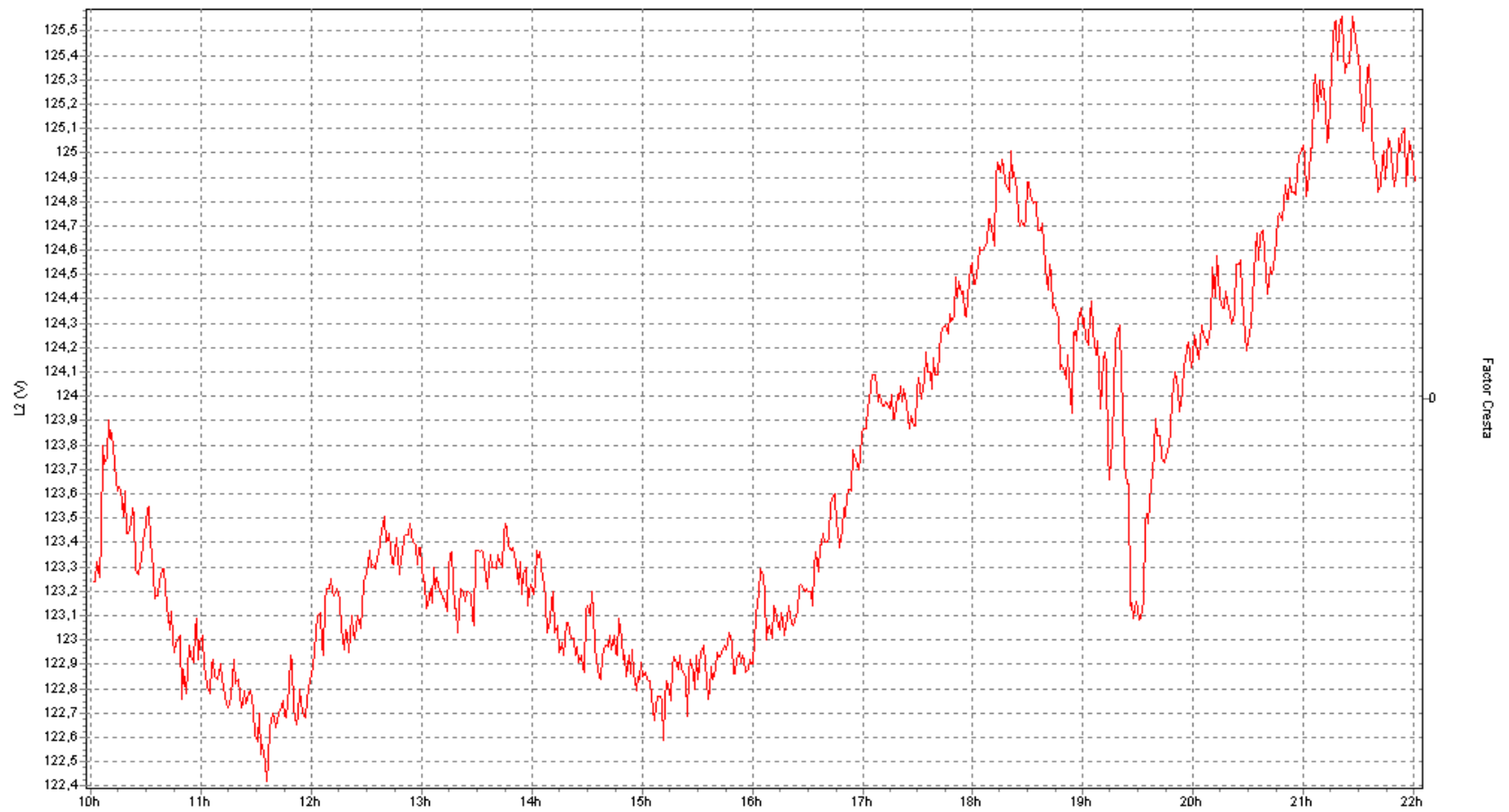
Gráfica 5.1.1 Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



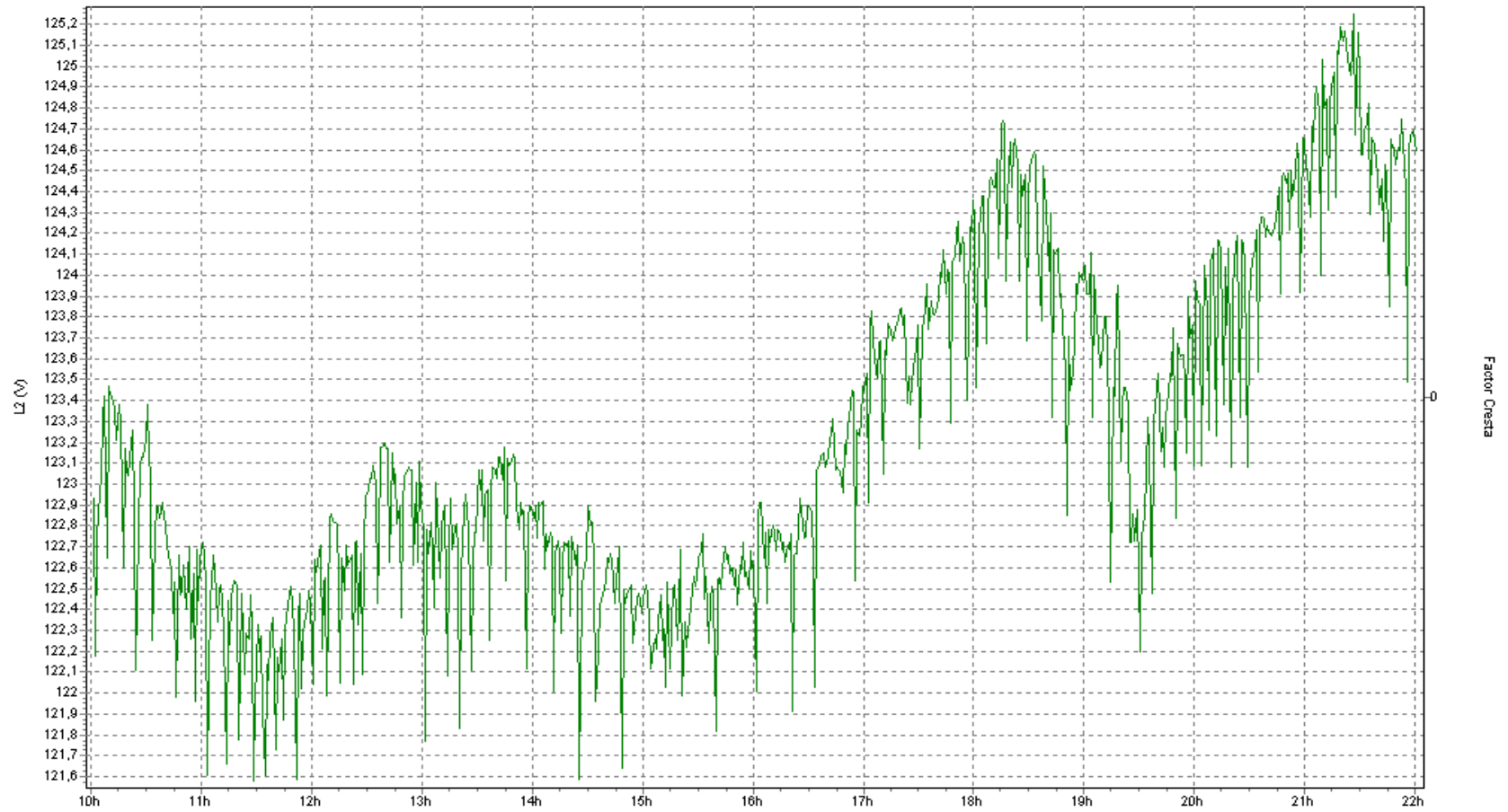
Gráfica 5.1.2 Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



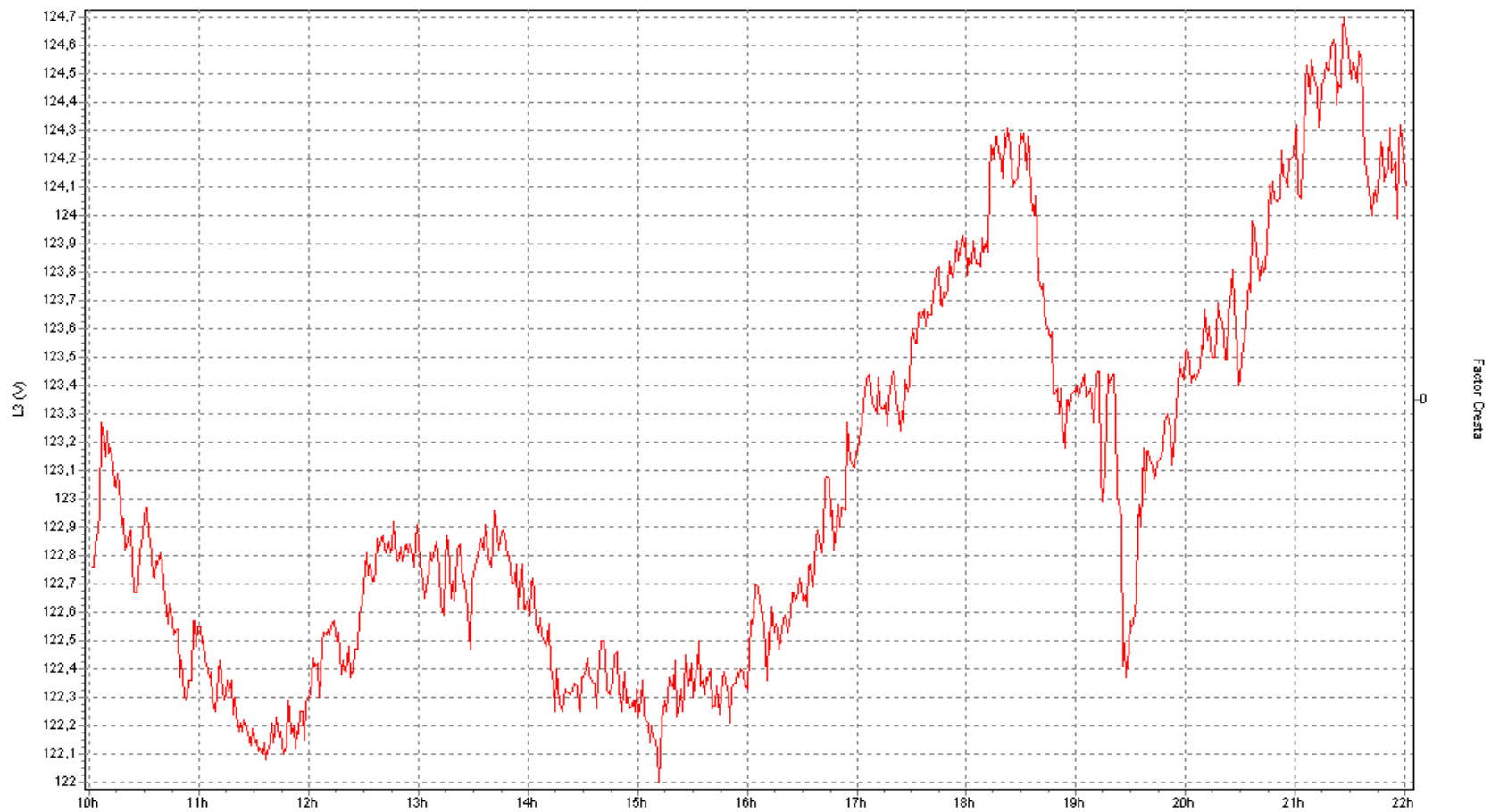
Gráfica 5.1.3 Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.4 Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo

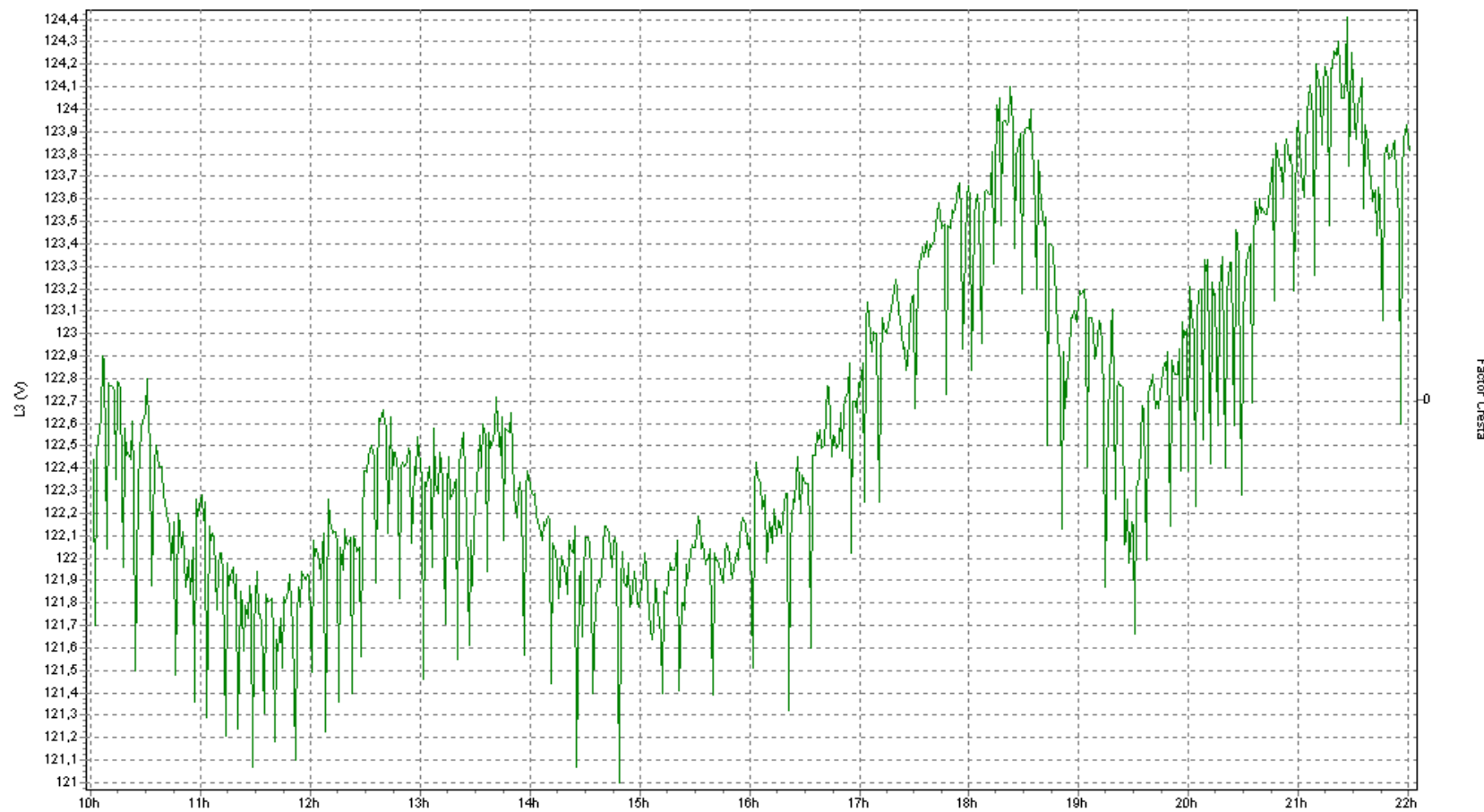
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



5.1.5 Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Máximo

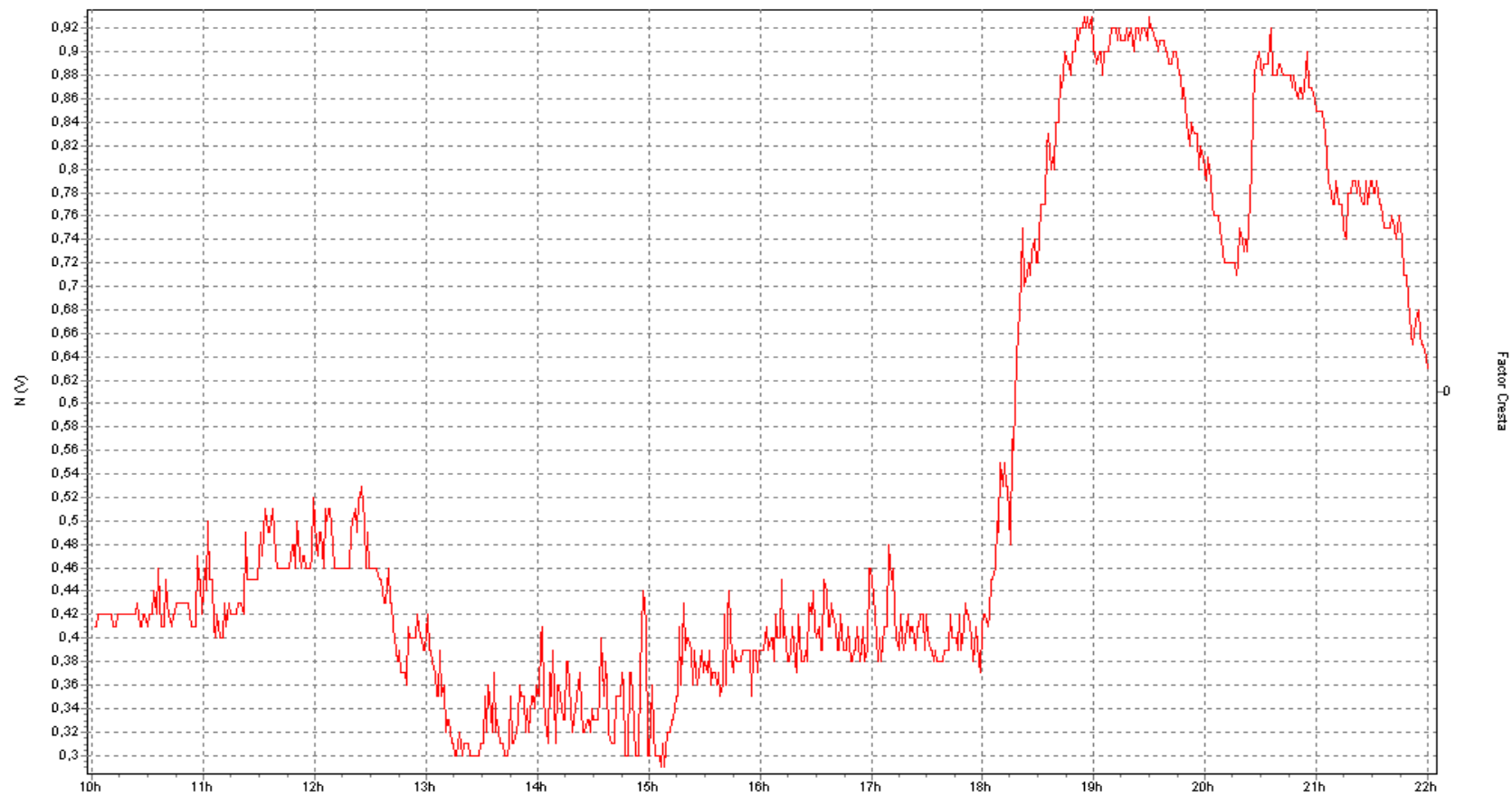
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





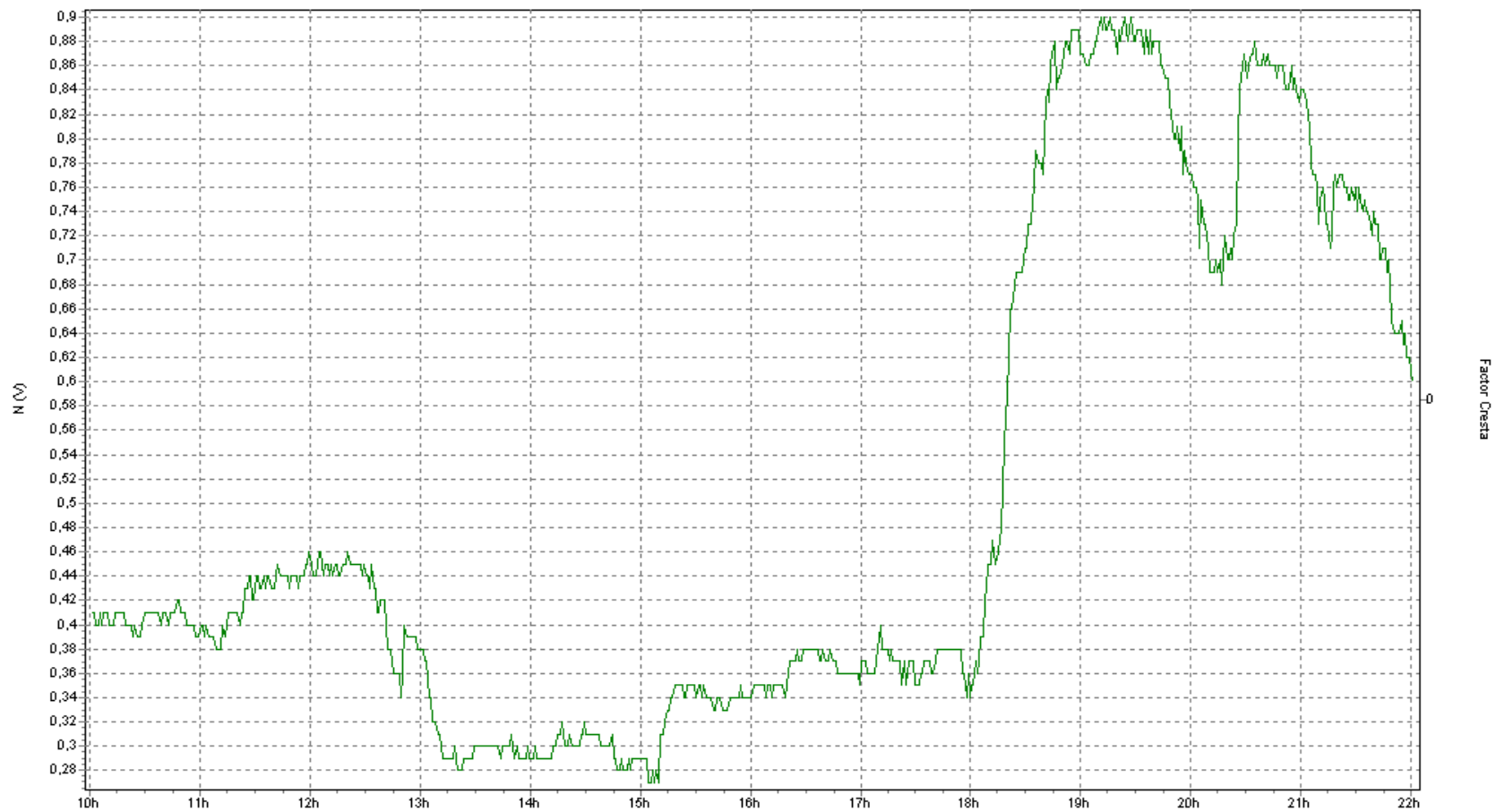
Gráfica 5.1.6 Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



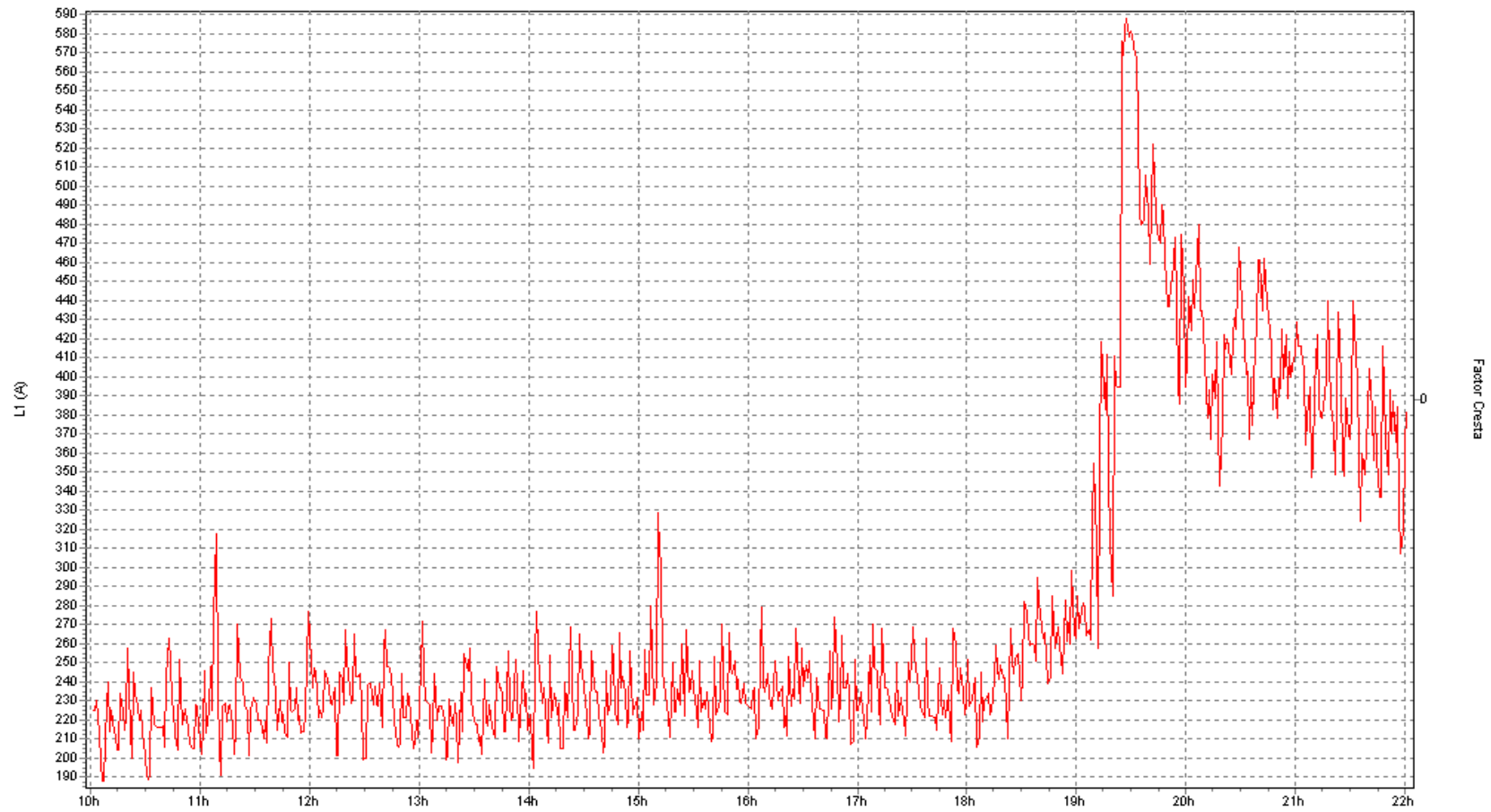
Gráfica 5.1.7 Voltaje RMS en el Neutro – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



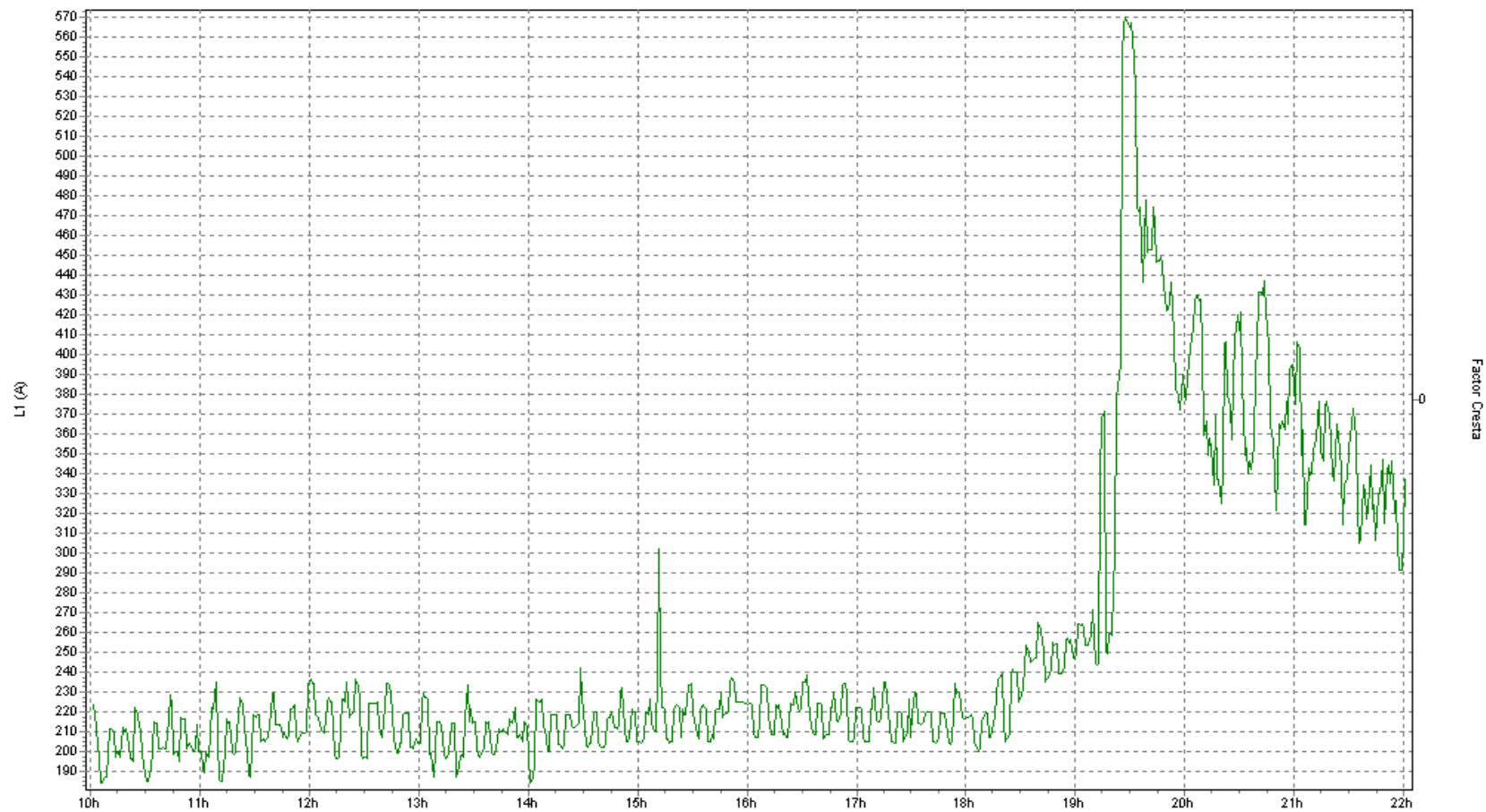
Gráfica 5.1.8 Voltaje RMS en el Neutro – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



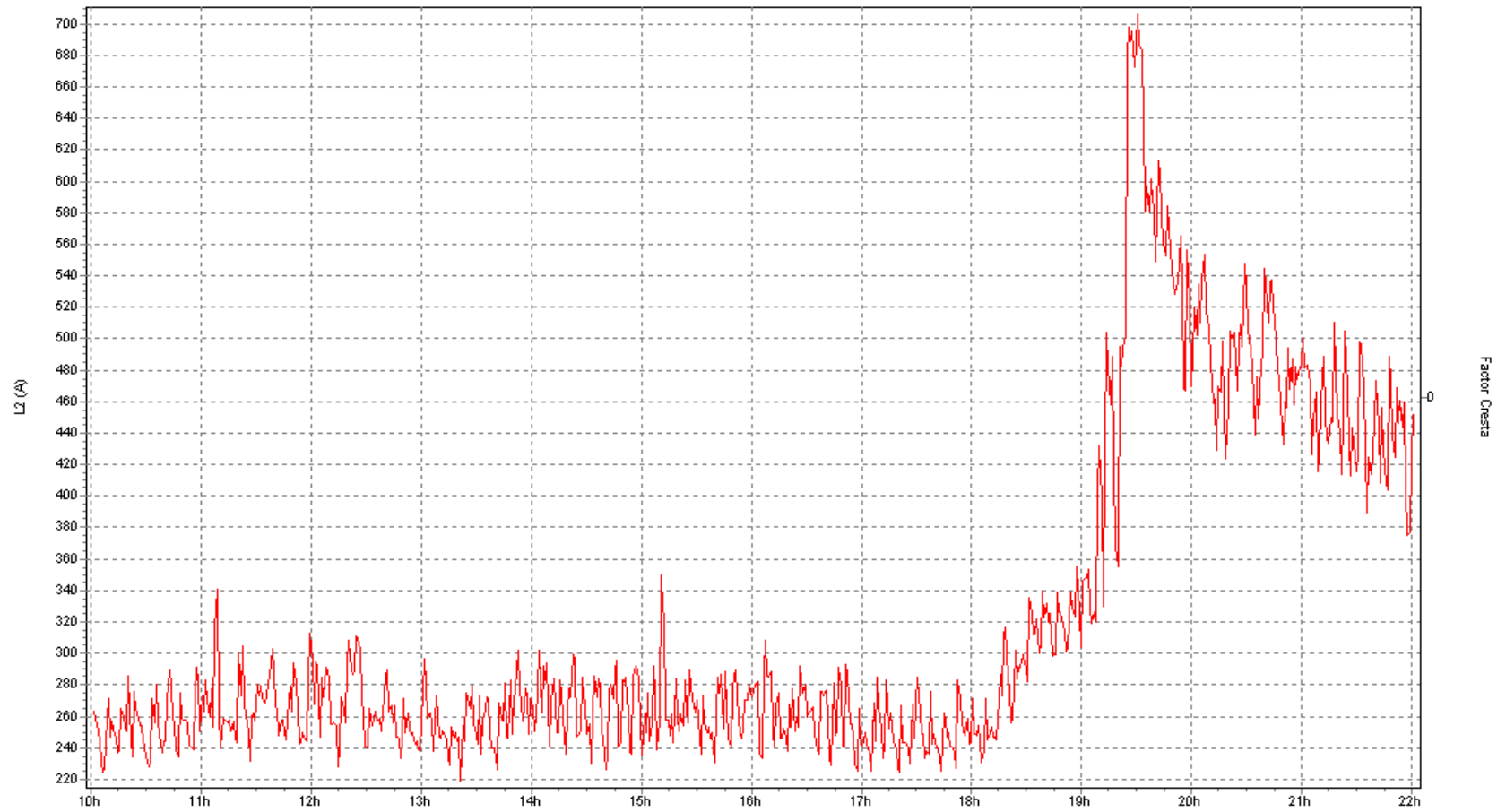
Gráfica 5.1.9 Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



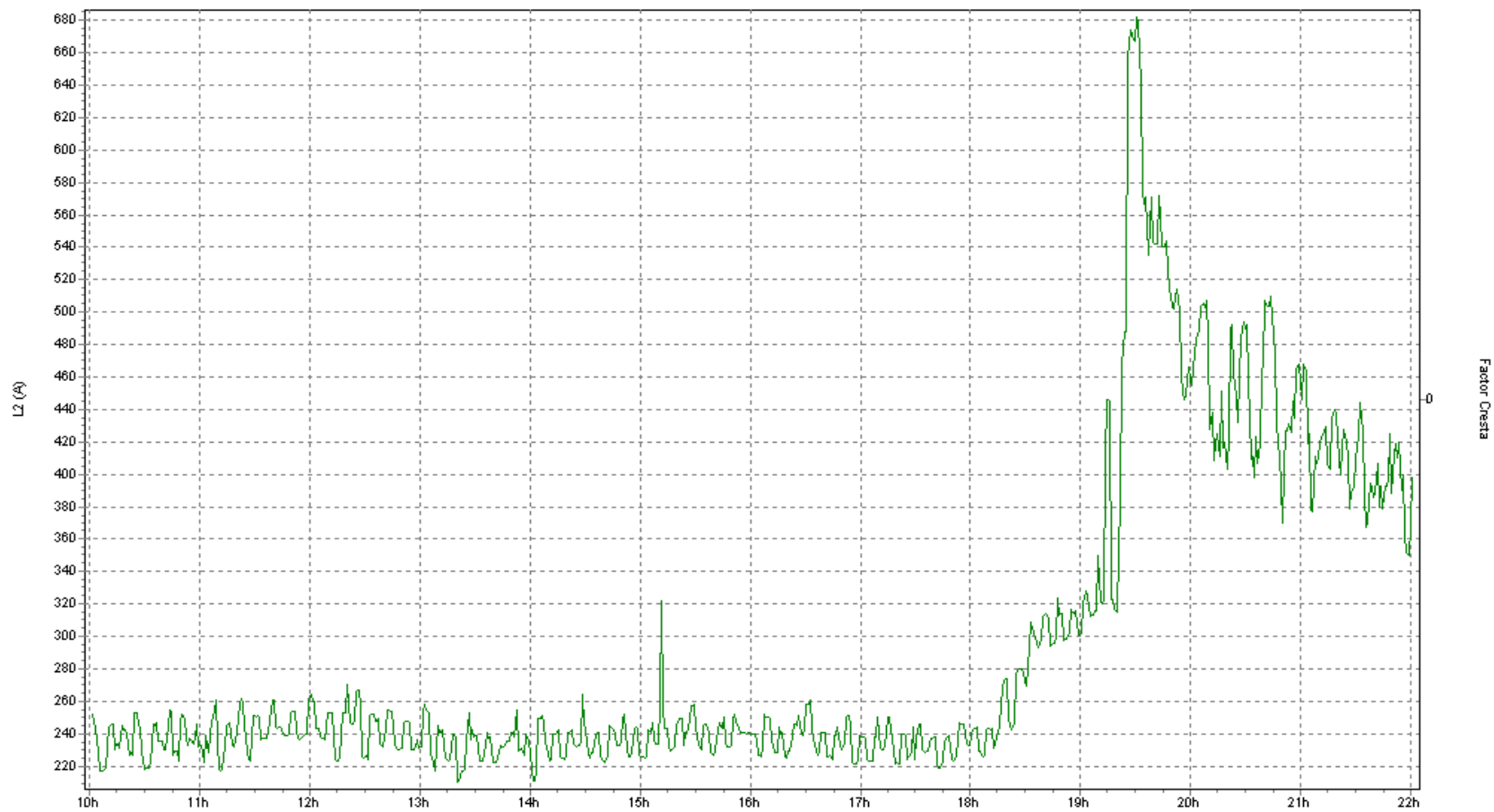
Gráfica 5.1.10 Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



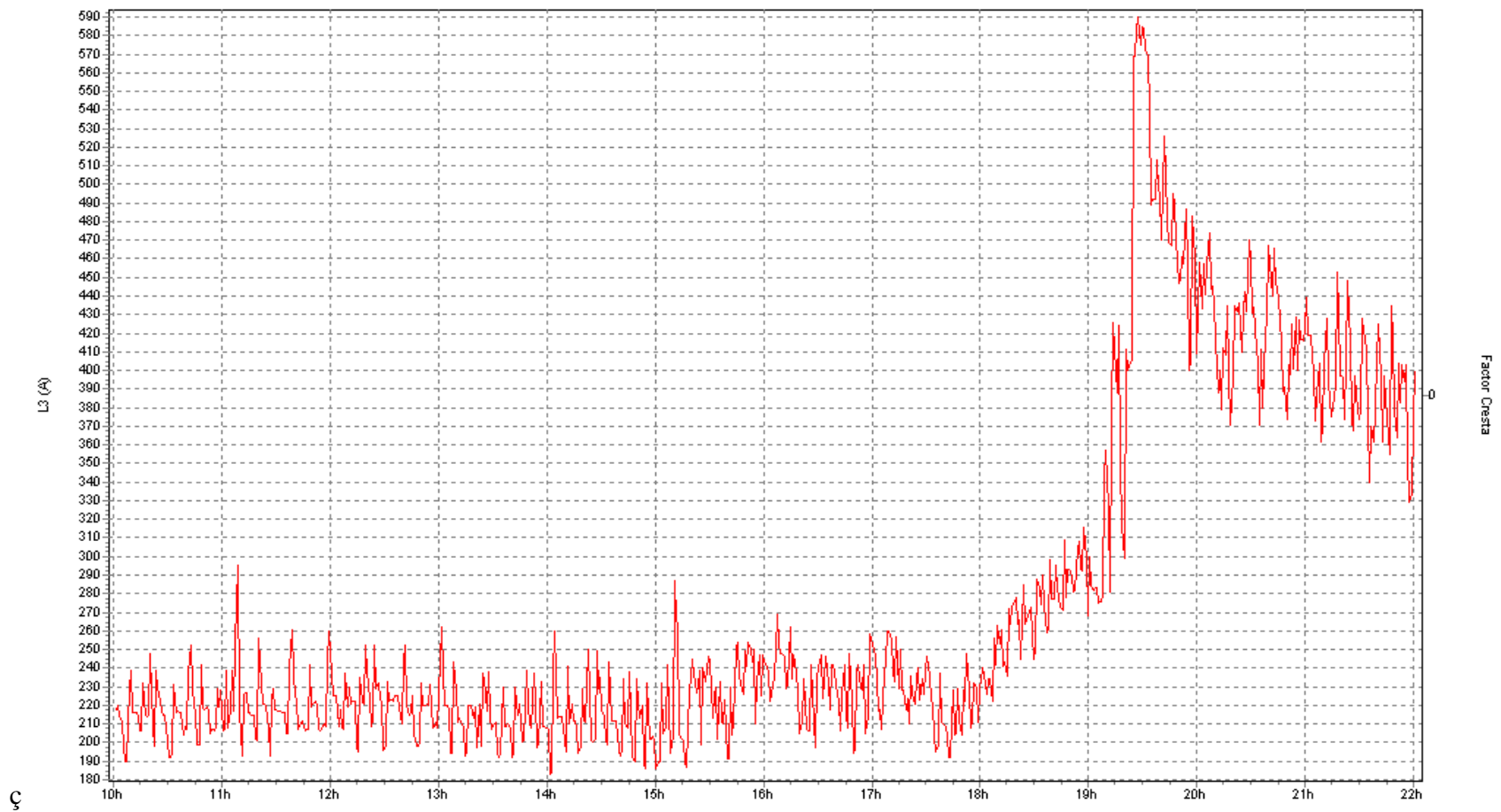
Gráfica 5.1.11 Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.12 Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo

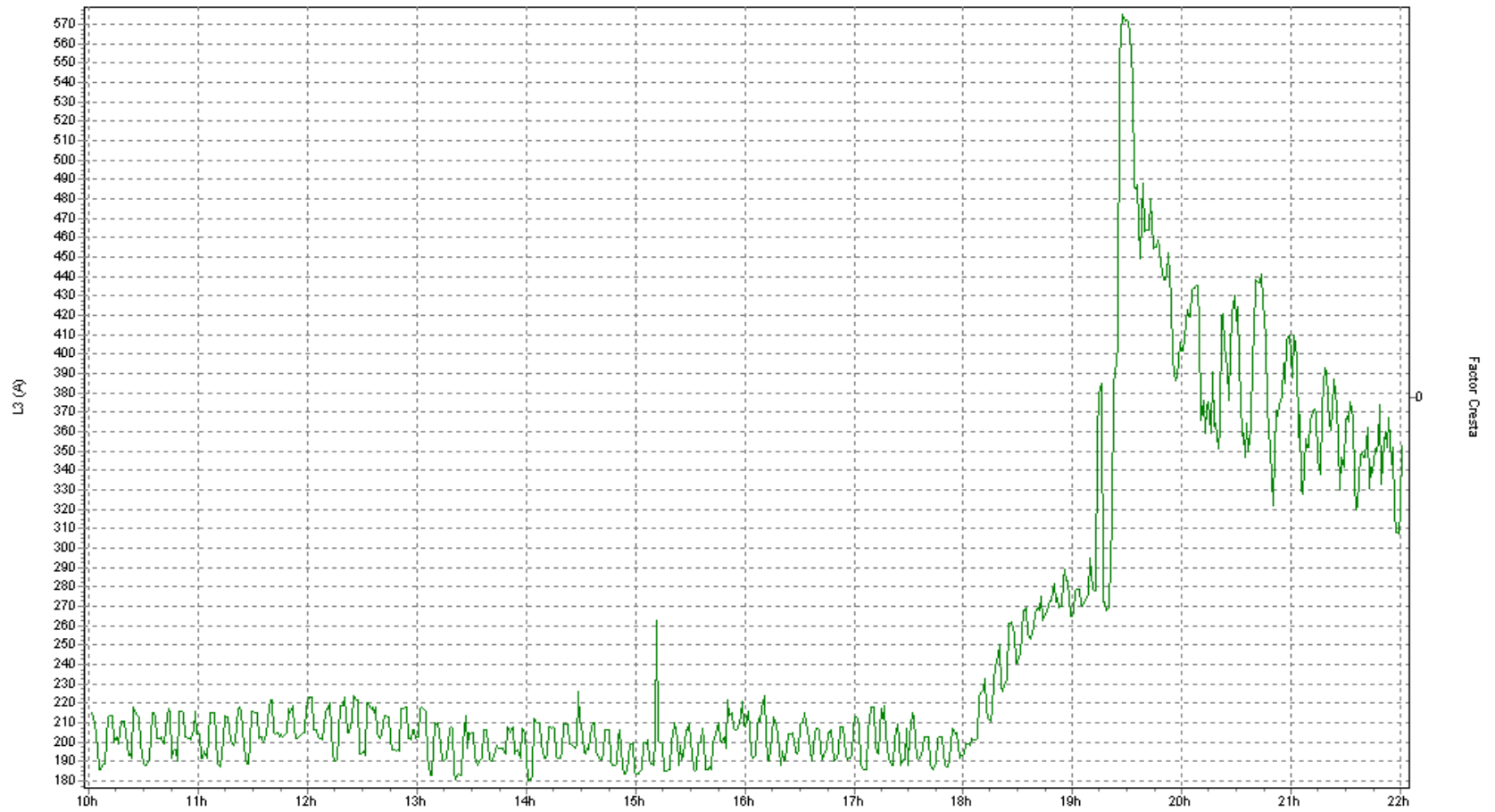
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.13 Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Máximo

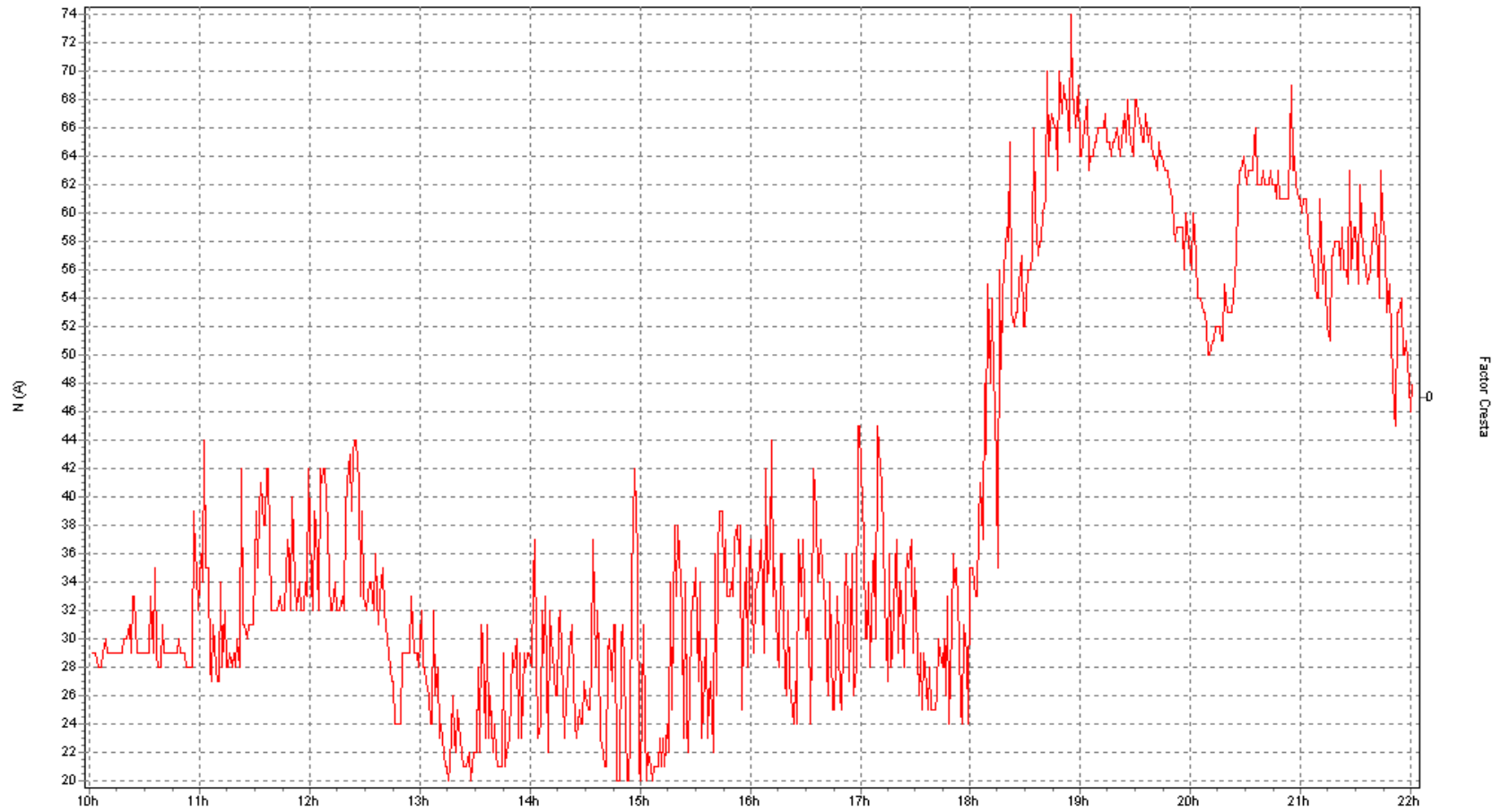
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





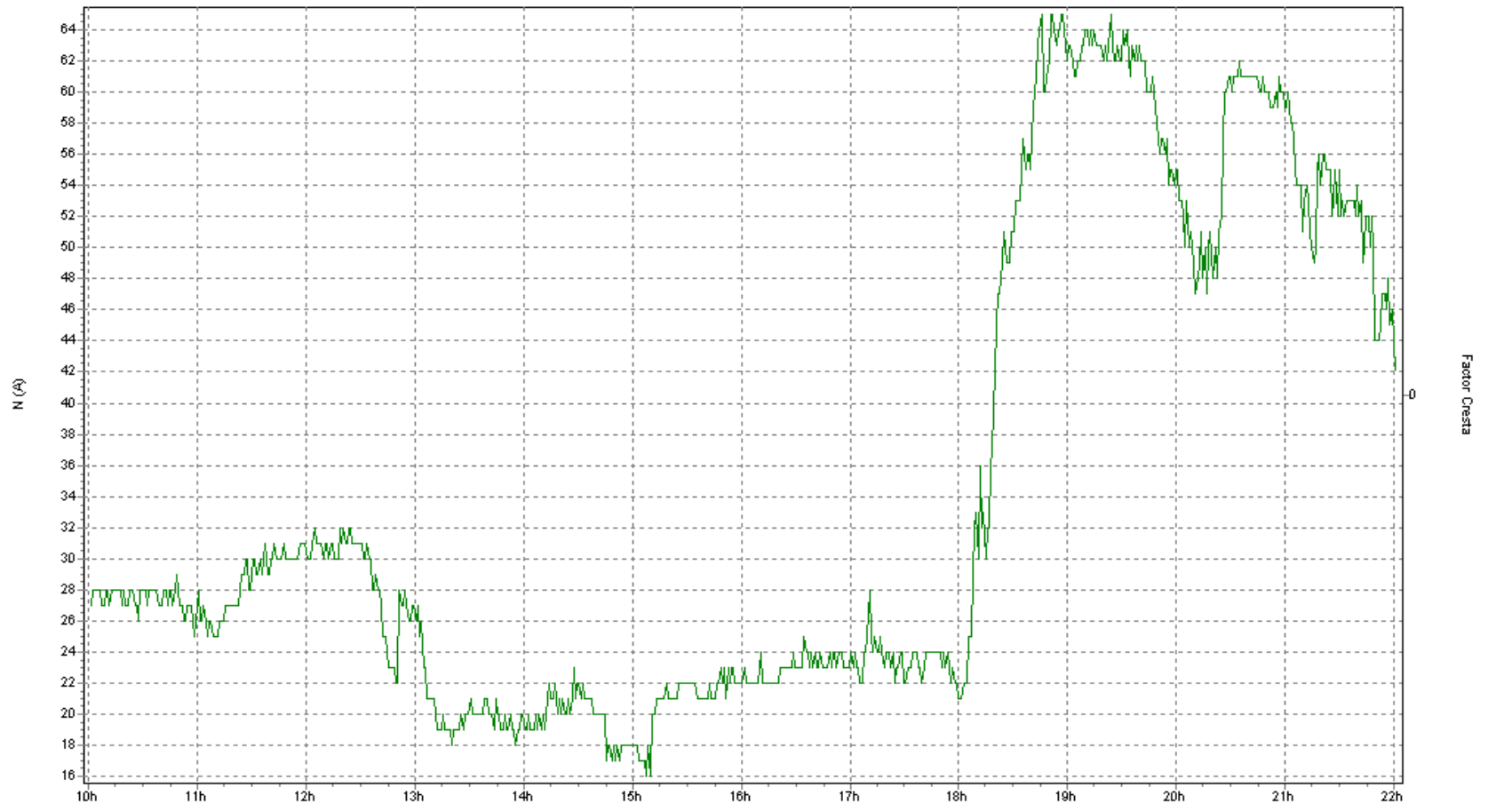
Gráfica 5.1.14 Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



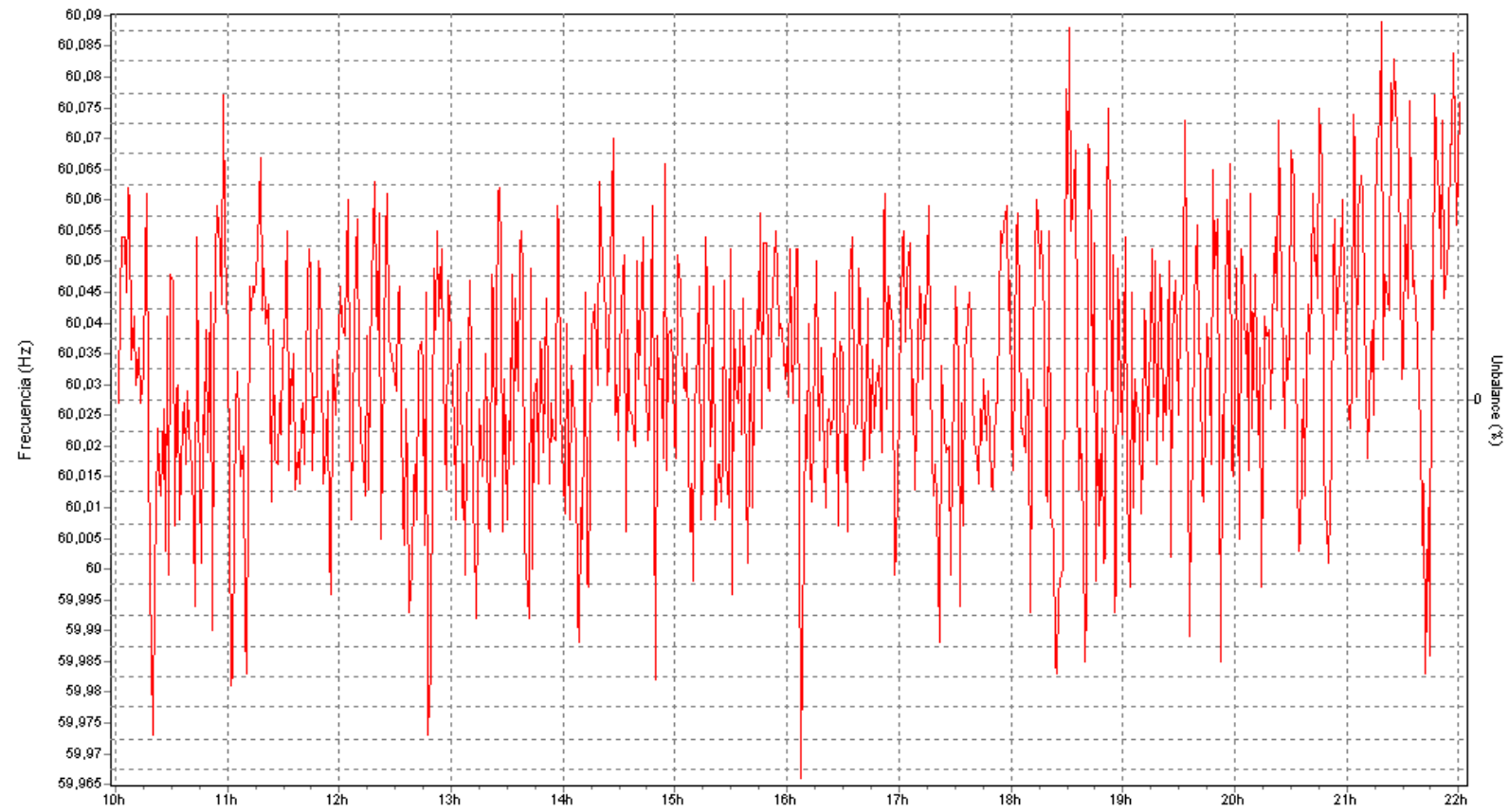
Gráfica 5.1.15 Corriente RMS en el Neutro – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



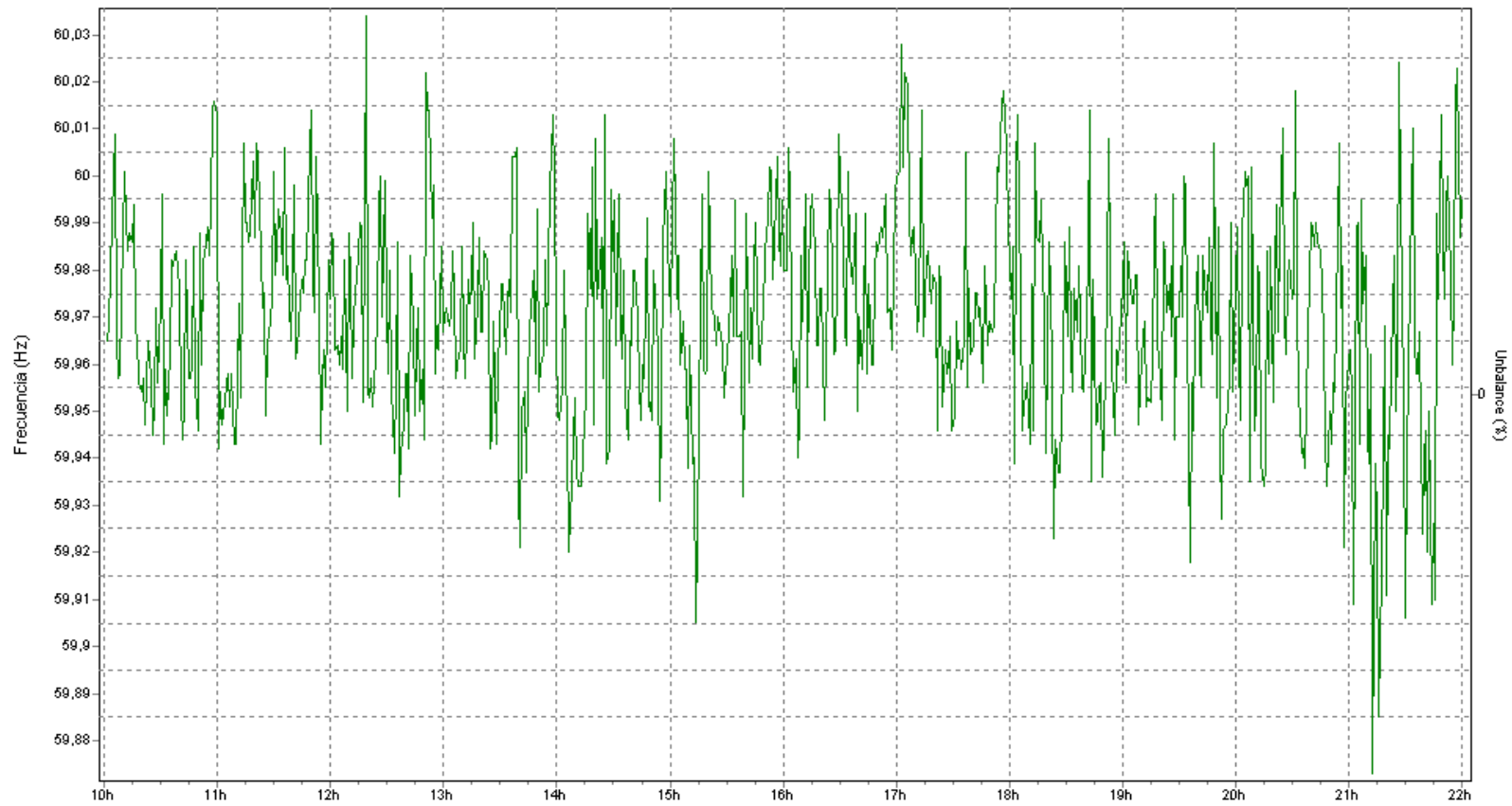
Gráfica 5.1.16 Corriente RMS en el Neutro – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.17 Frecuencia del Sistema – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



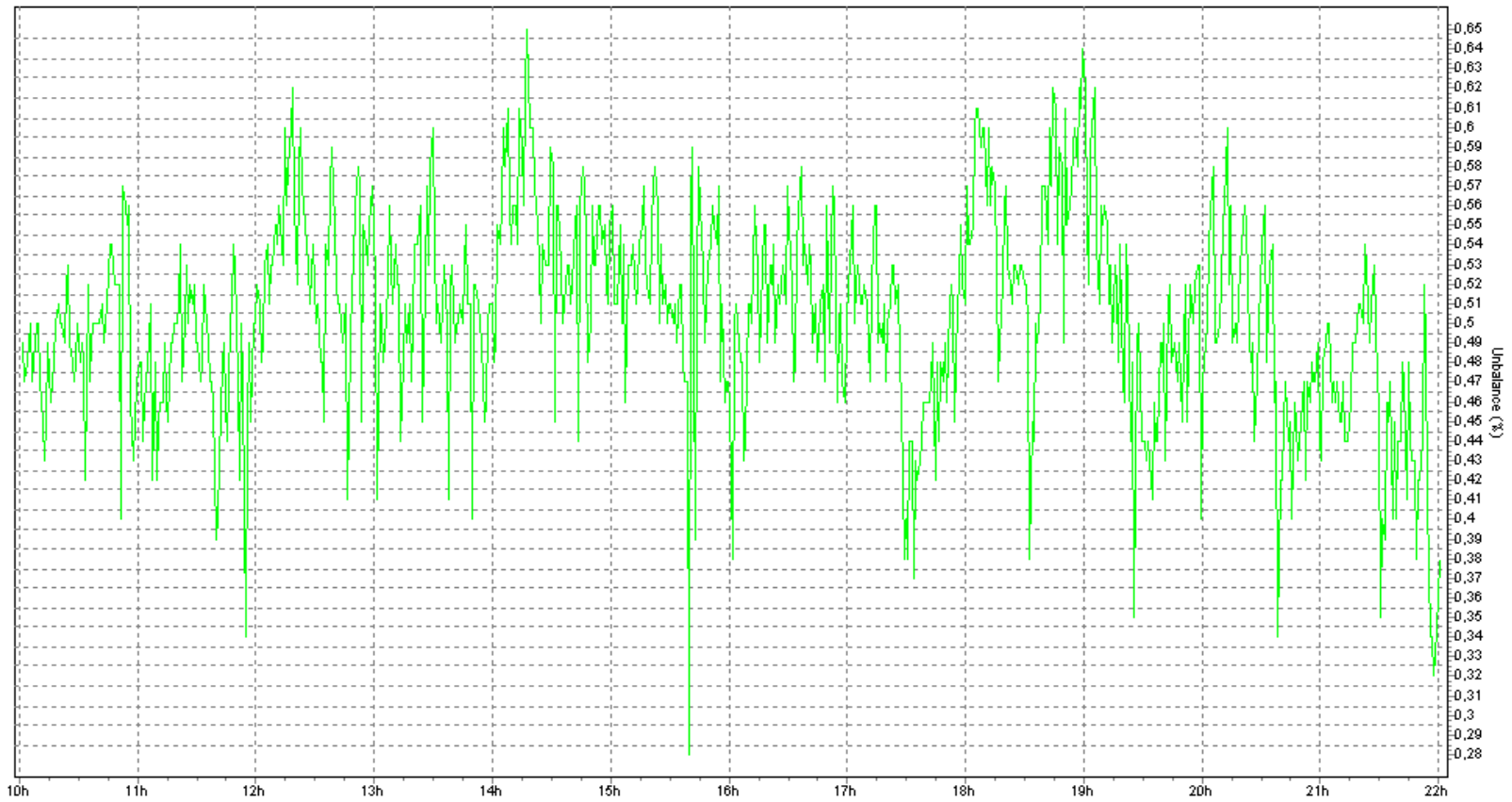
Gráfica 5.1.18 Frecuencia del Sistema – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



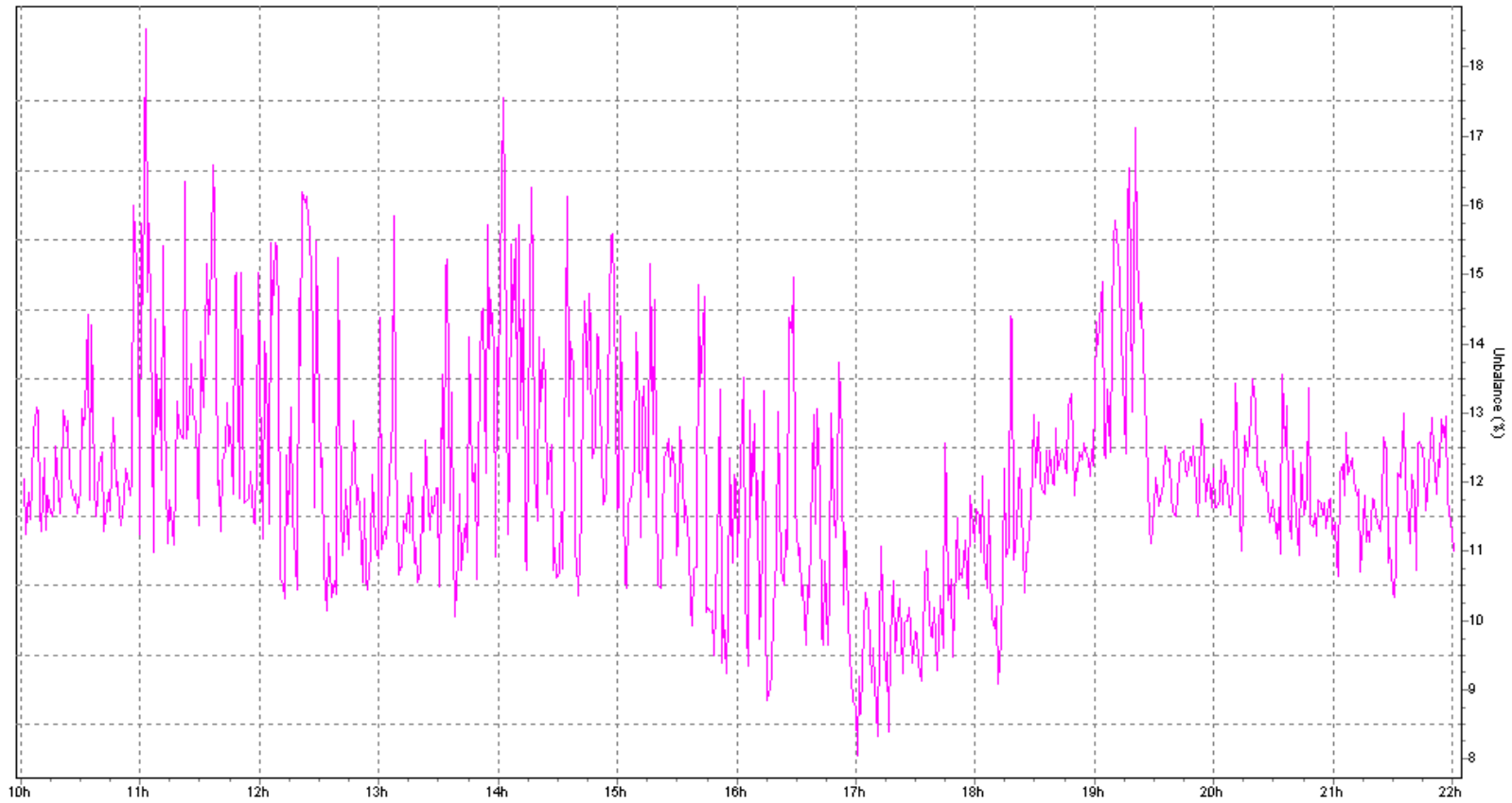
Gráfica 5.1.19 Desbalance de Voltaje – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.20 Desbalance de Voltaje – Valor Mínimo

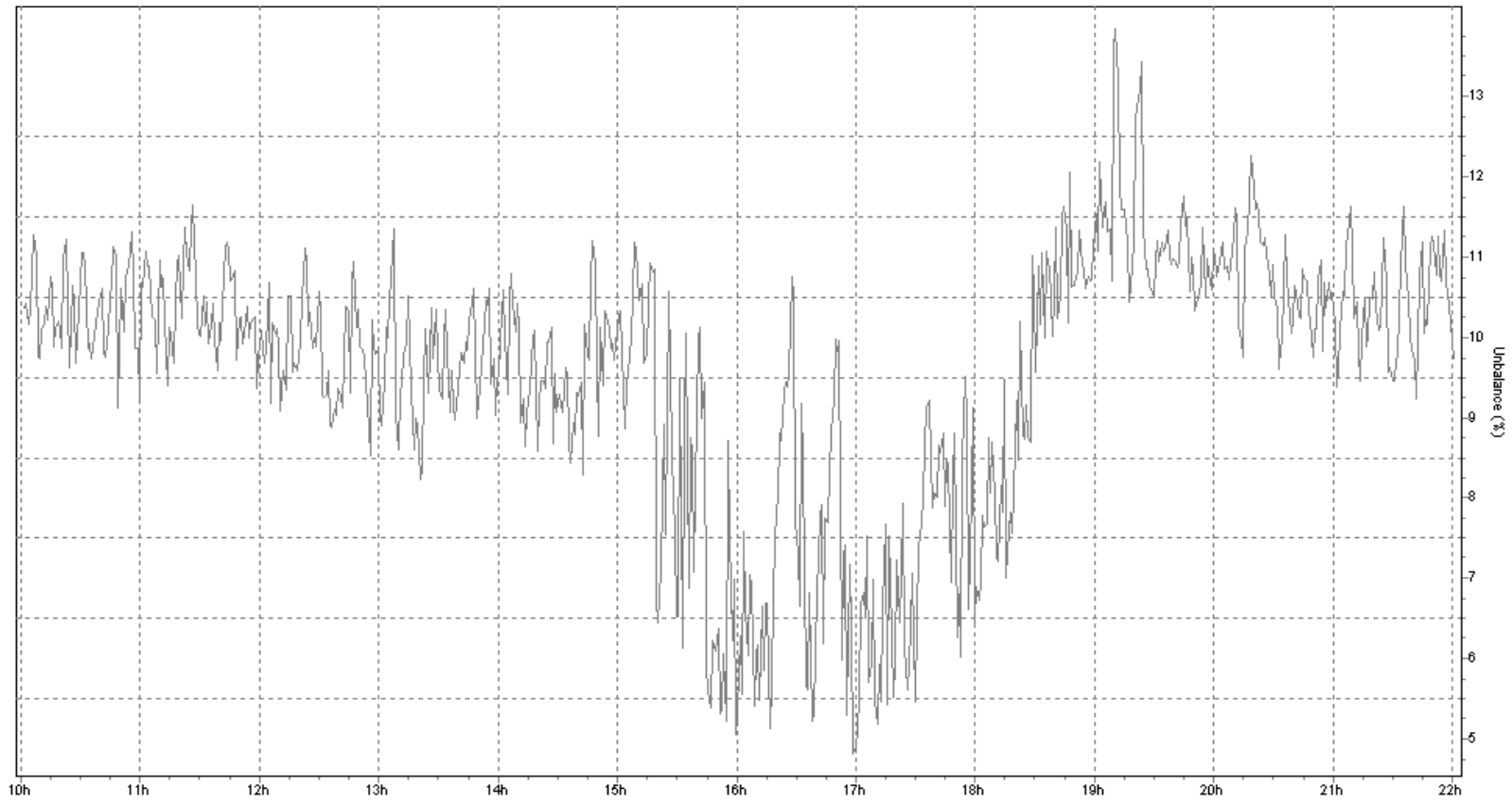
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.21 Desbalance de Corriente – Valor Máximo

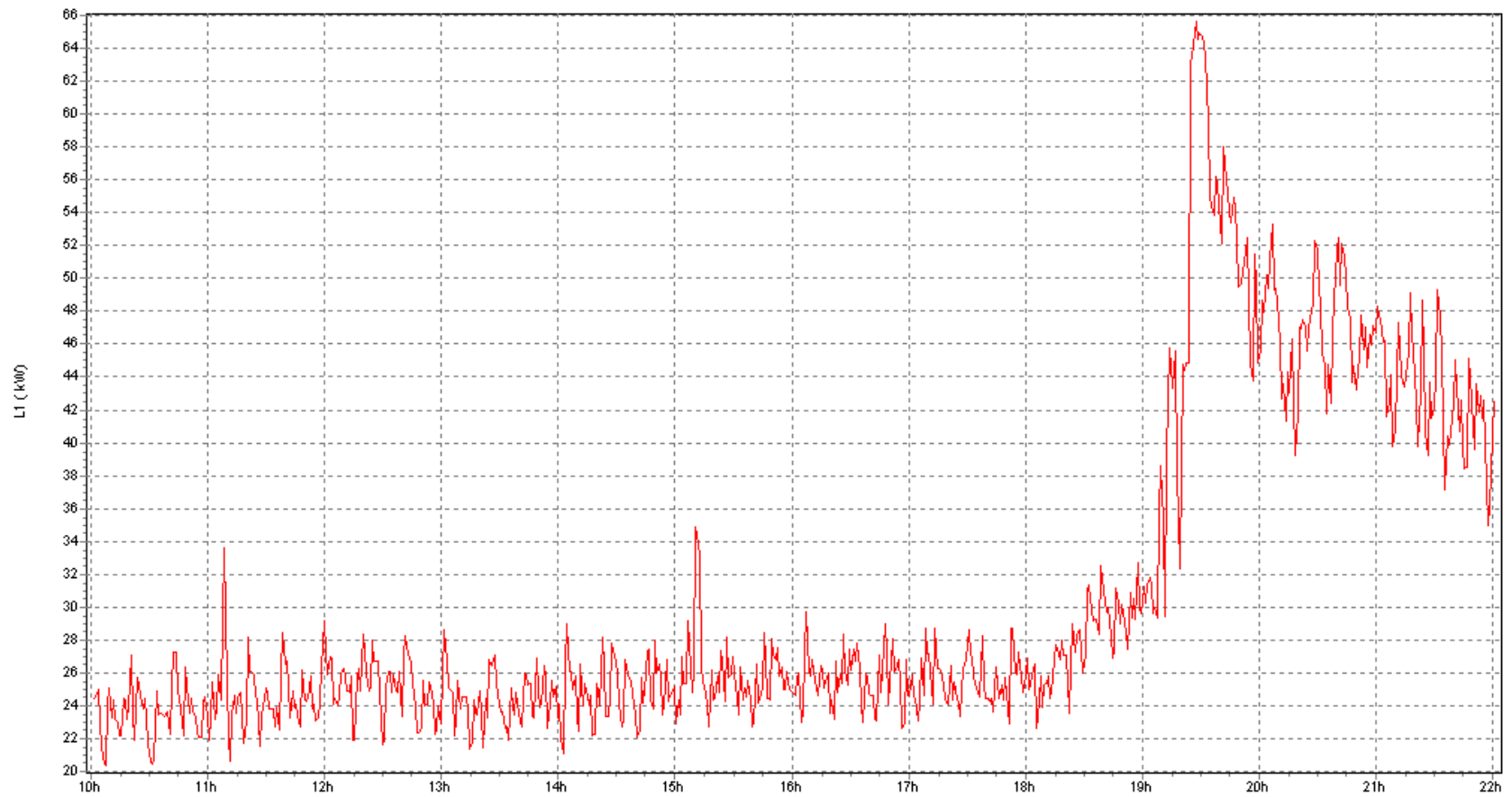
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





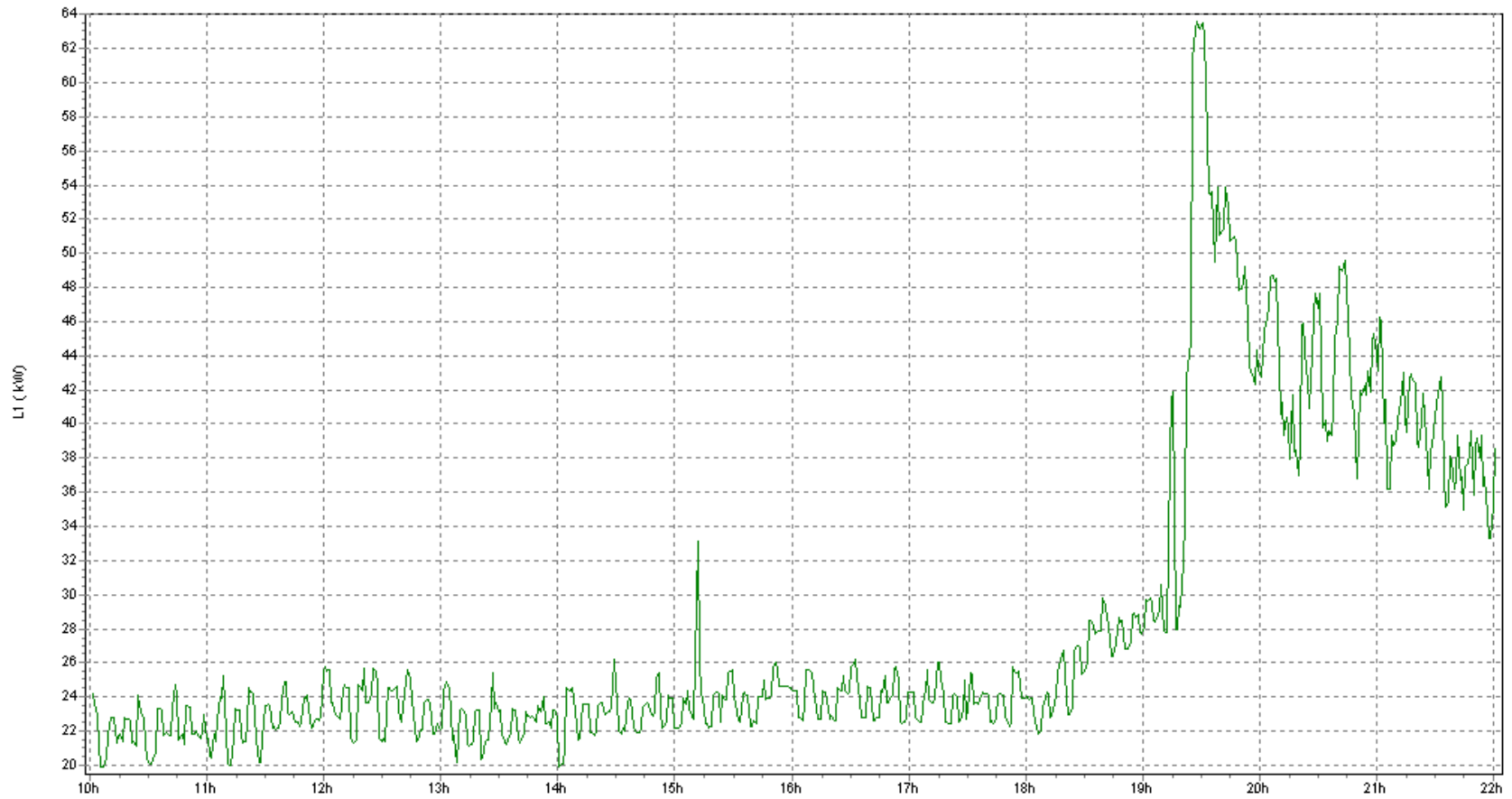
Gráfica 5.1.22 Desbalance de Corriente – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



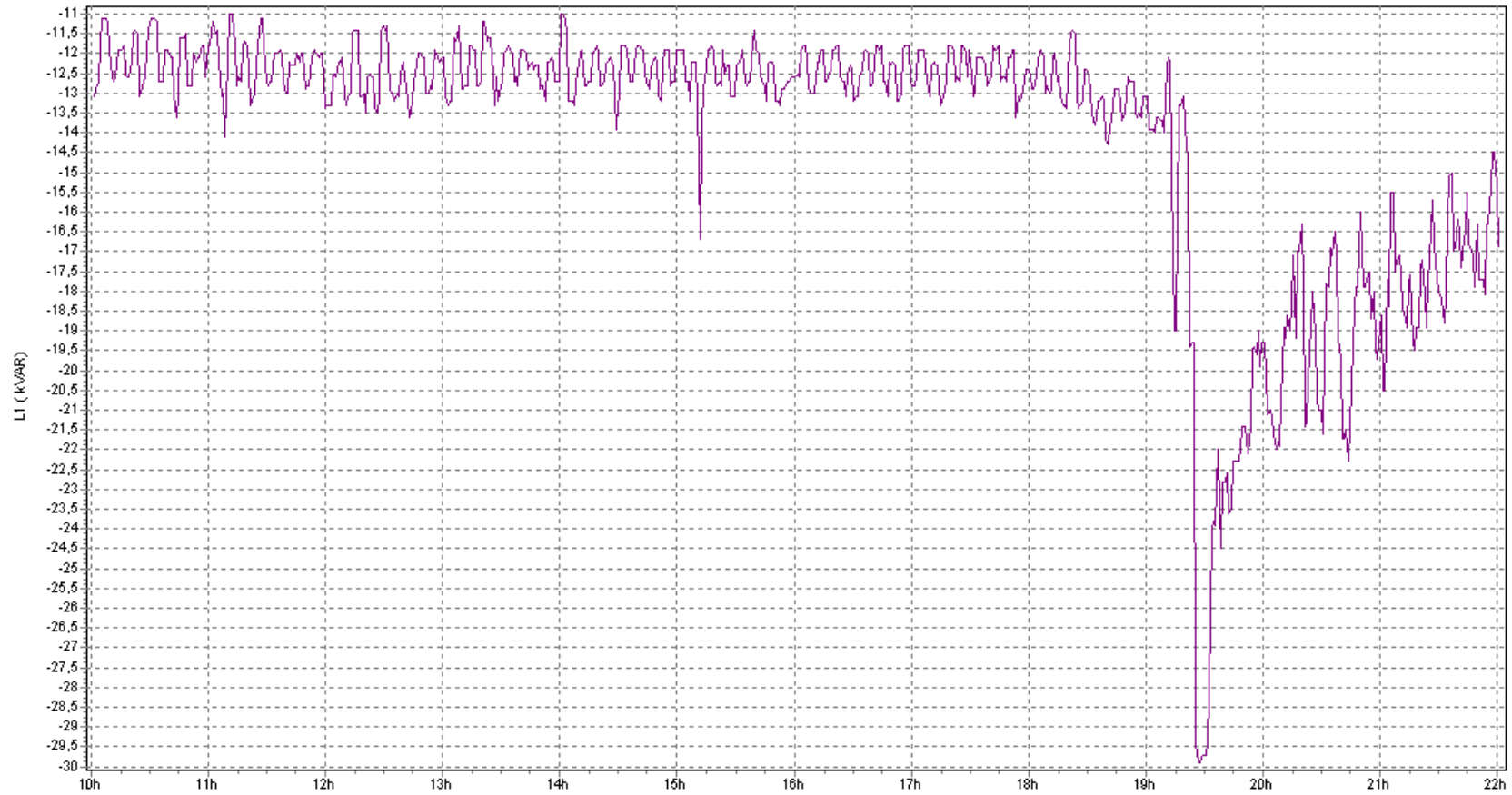
Gráfica 5.1.23 Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.24 Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



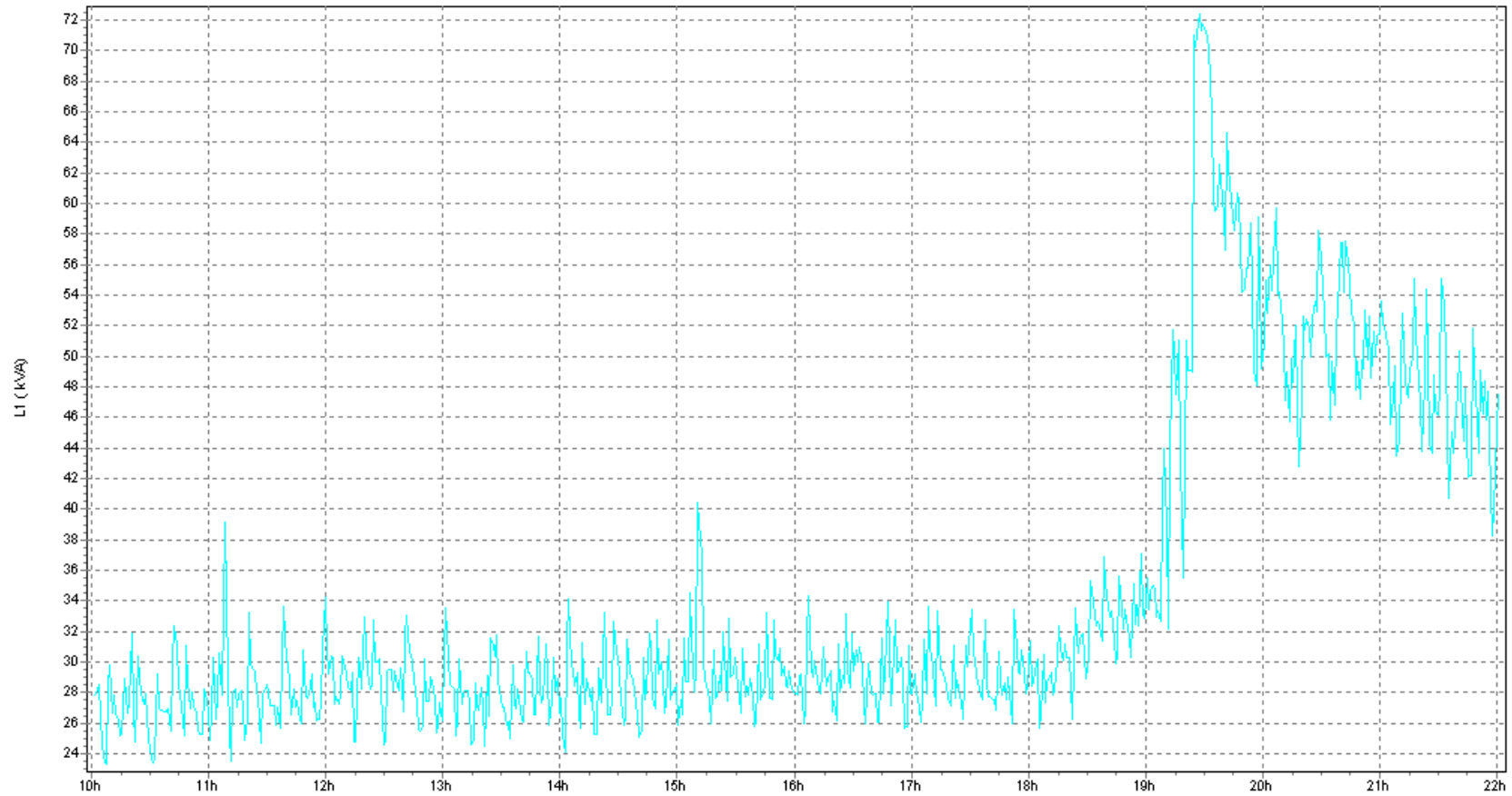
Gráfica 5.1.25 Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



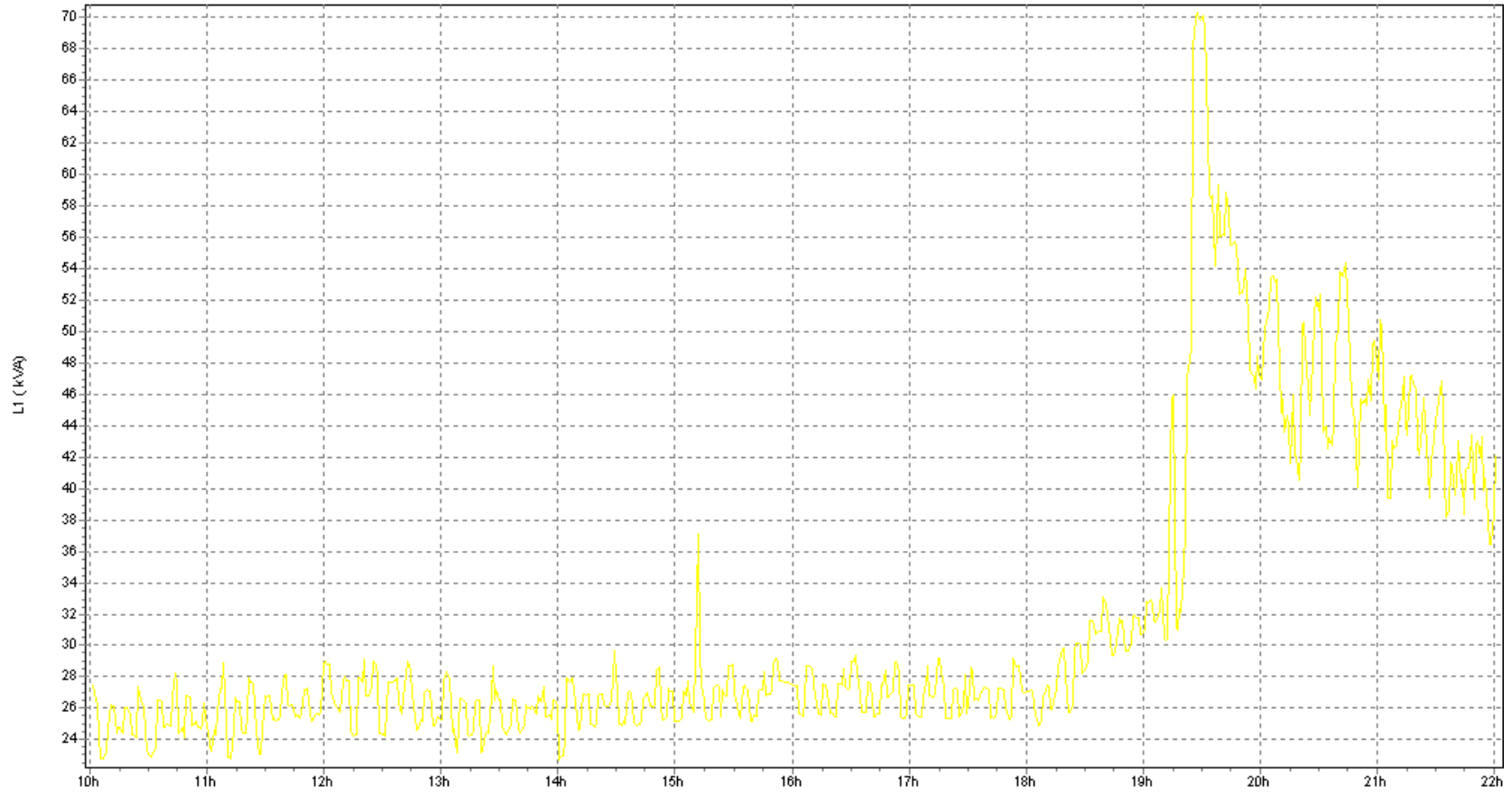
Gráfica 5.1.26 Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



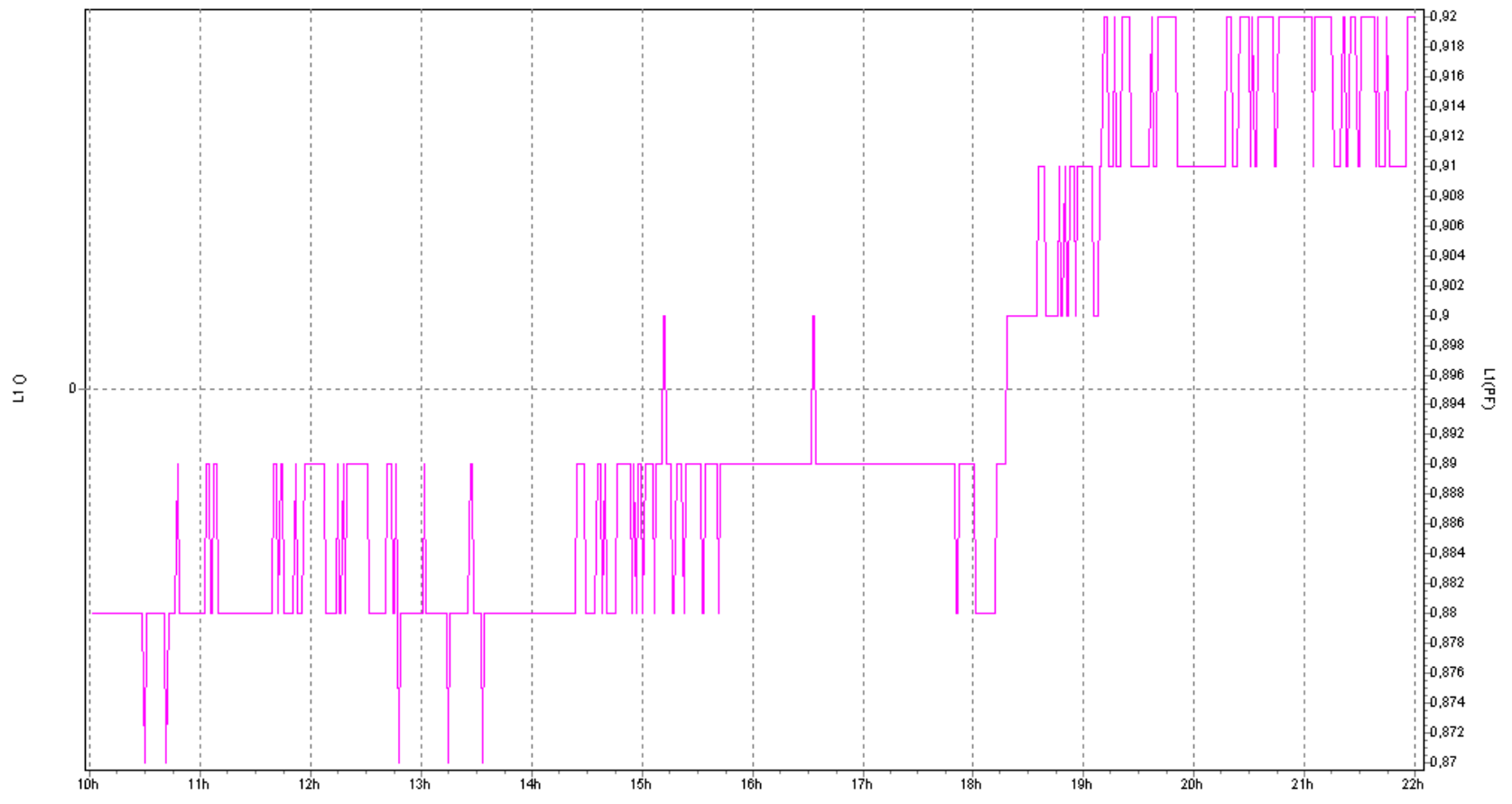
Gráfica 5.1.27 Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.28 Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Mínimo

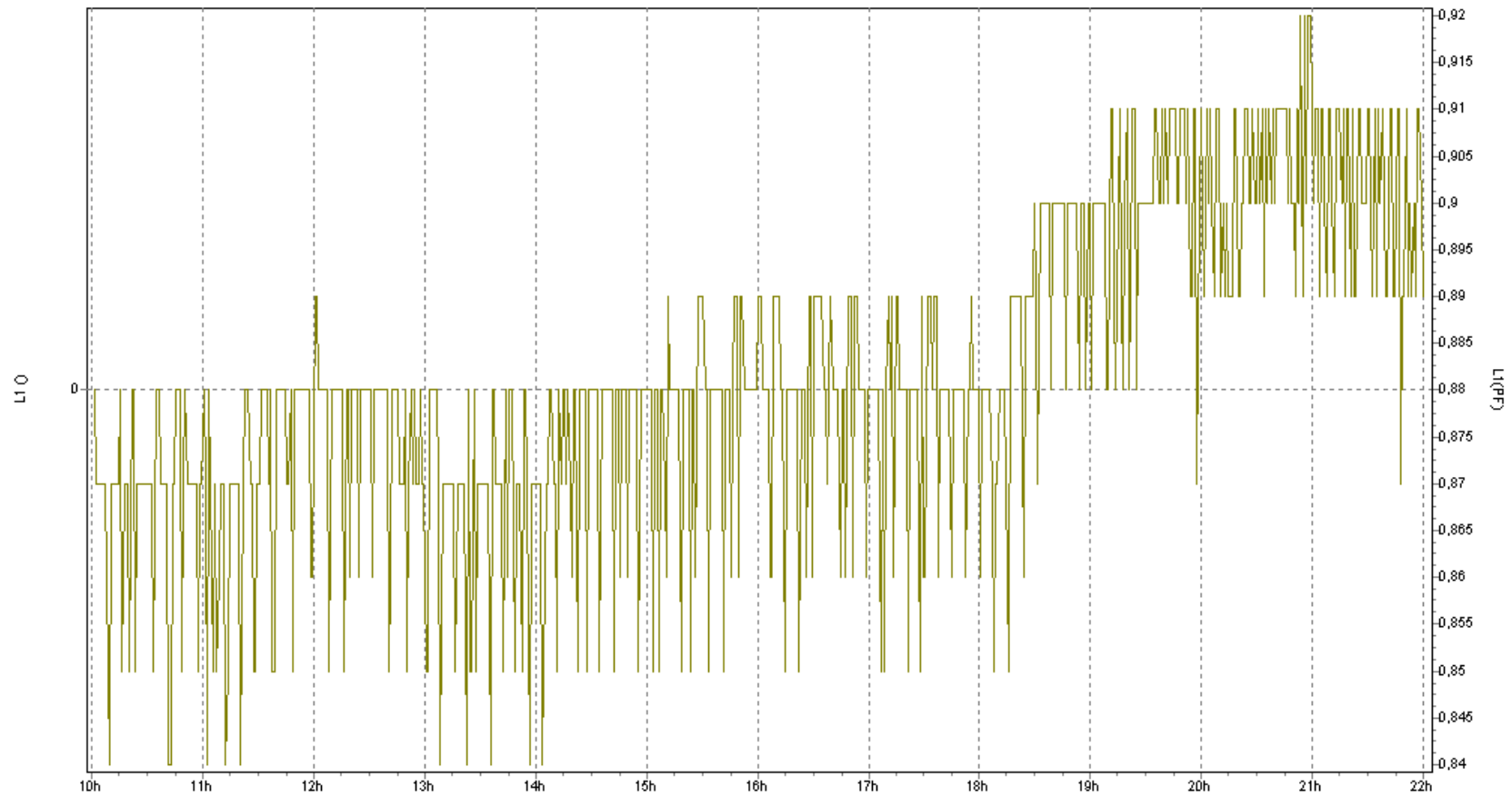
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.29 Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Máximo

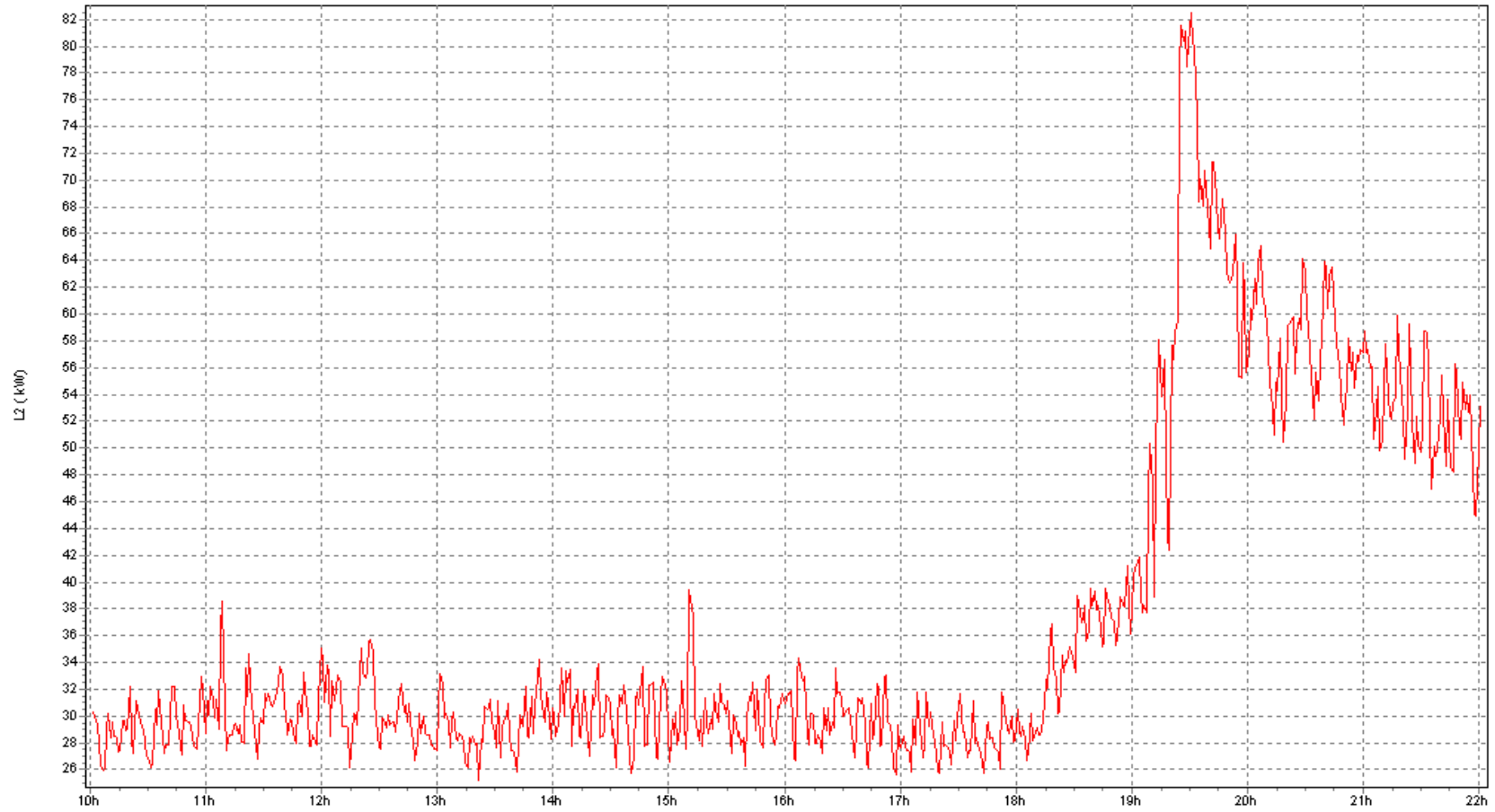
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





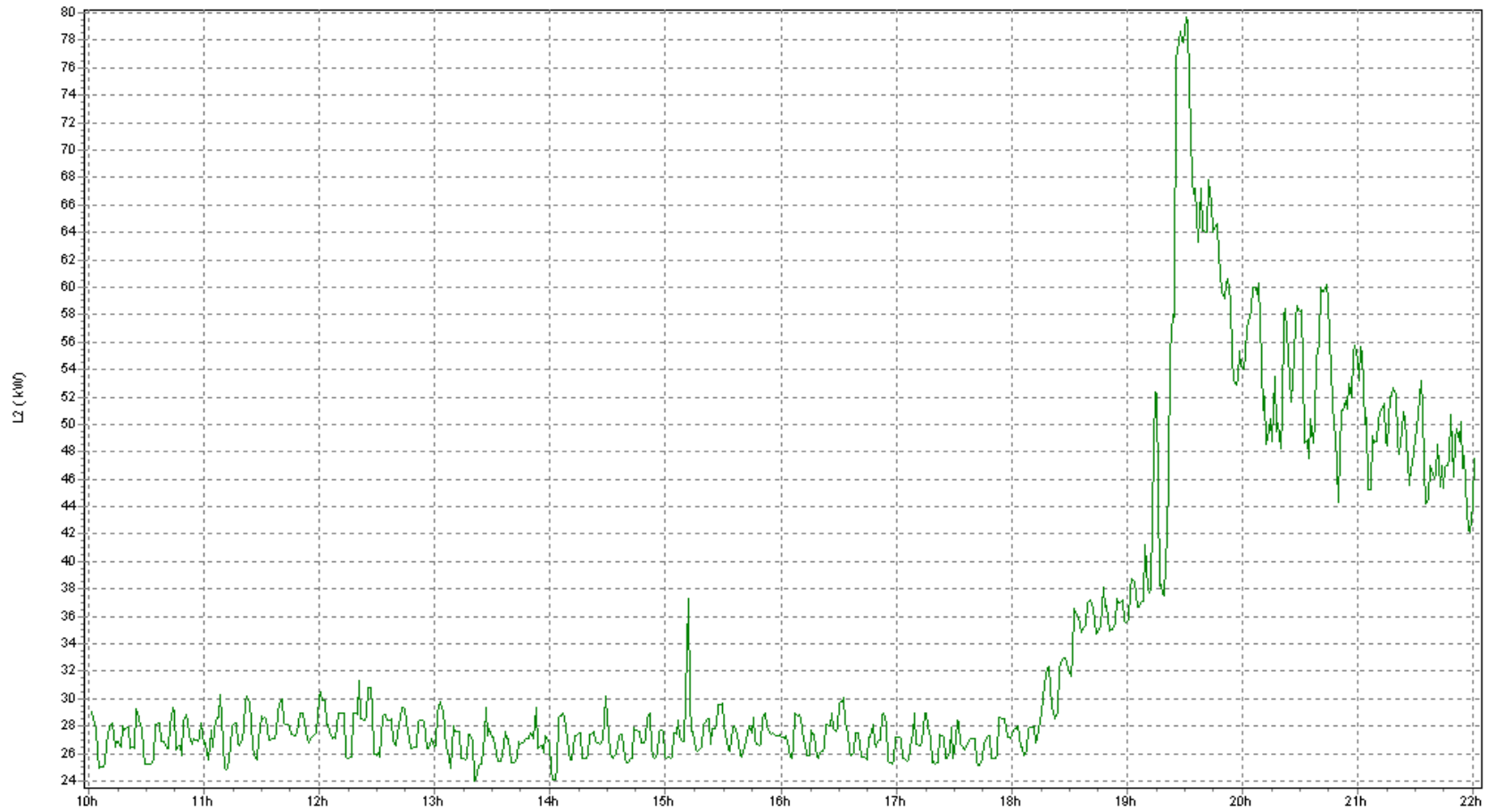
Gráfica 5.1.30 Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



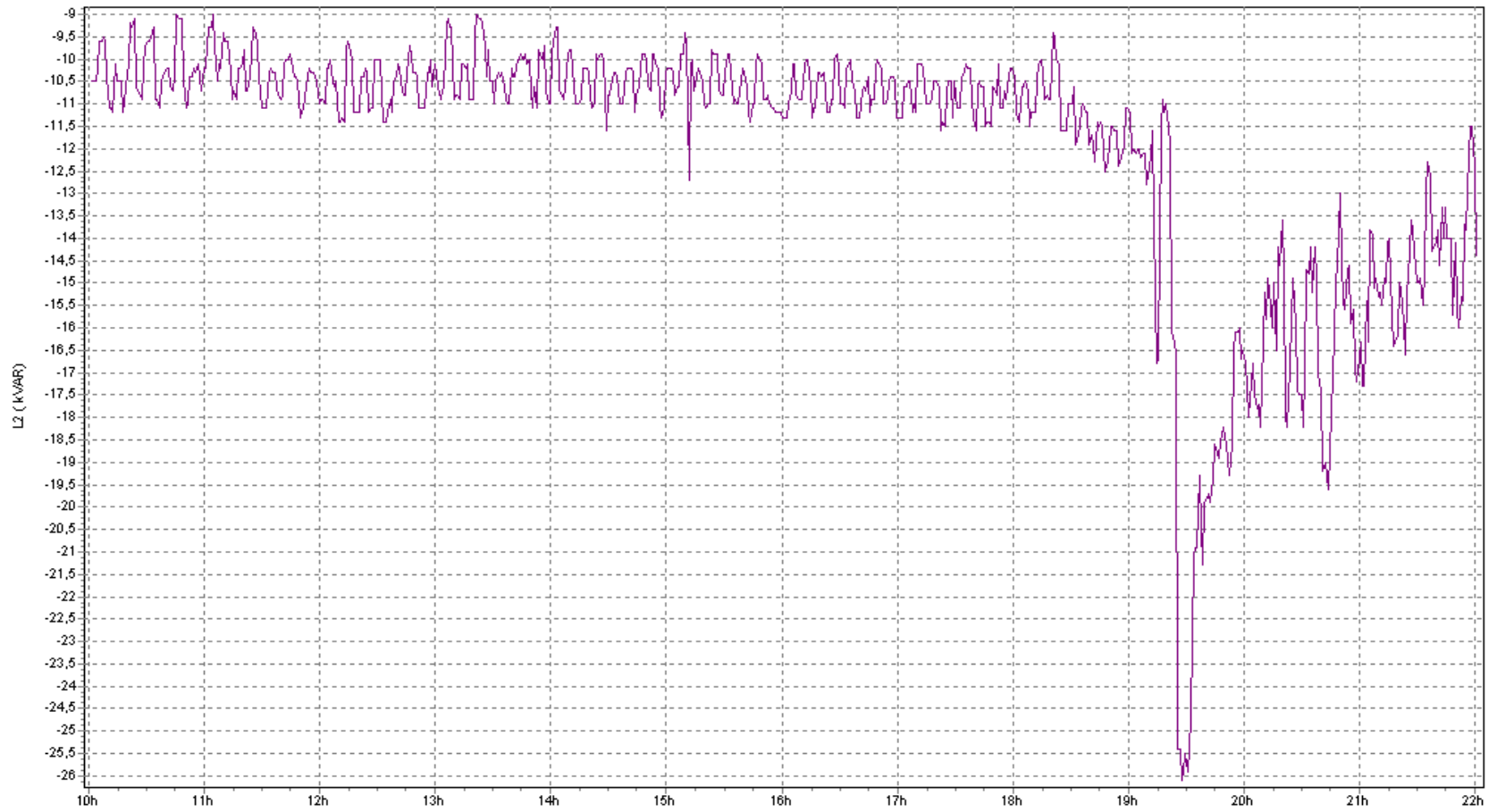
Gráfica 5.1.31 Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



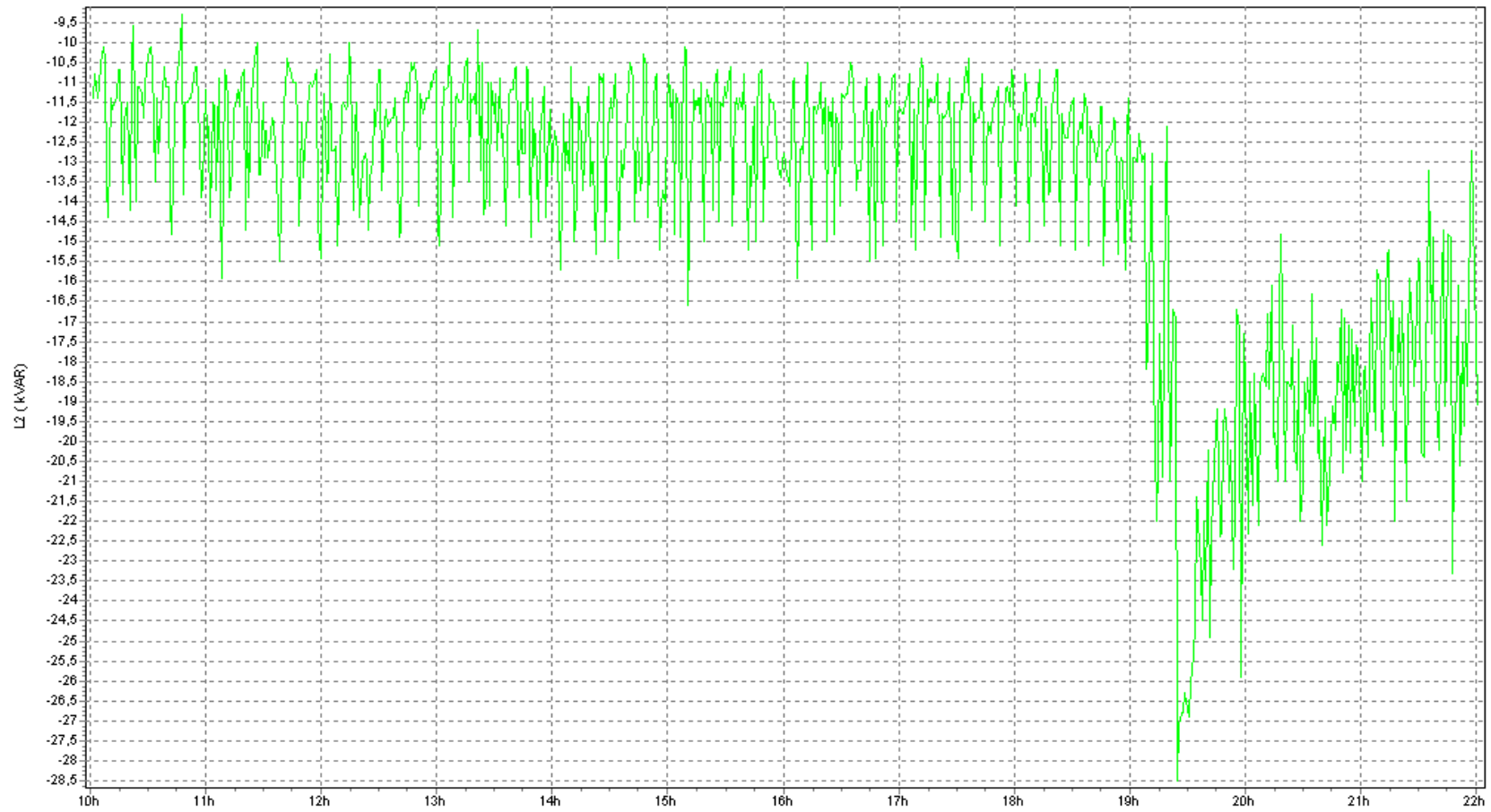
Gráfica 5.1.32 Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



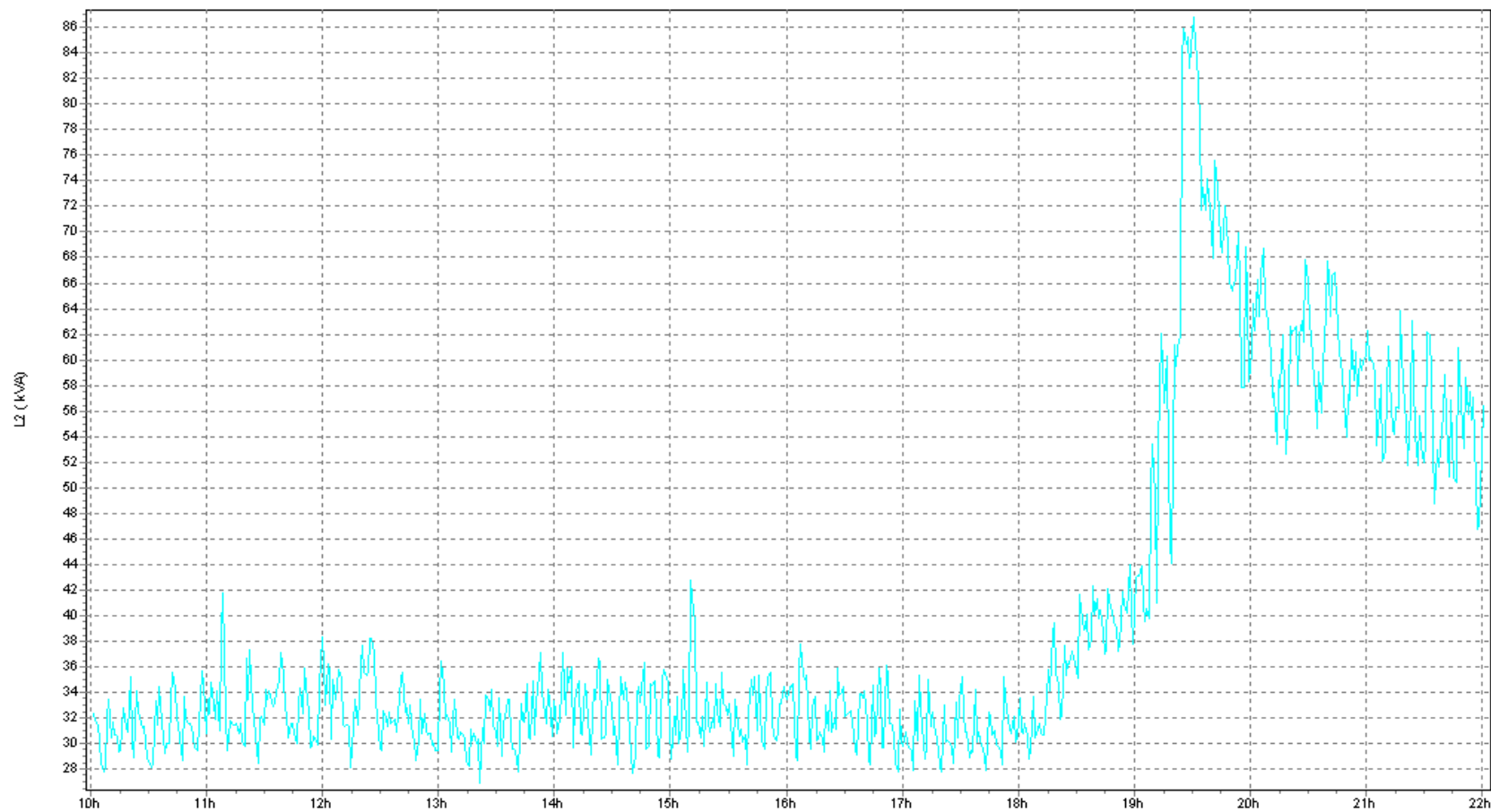
Gráfica 5.1.33 Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



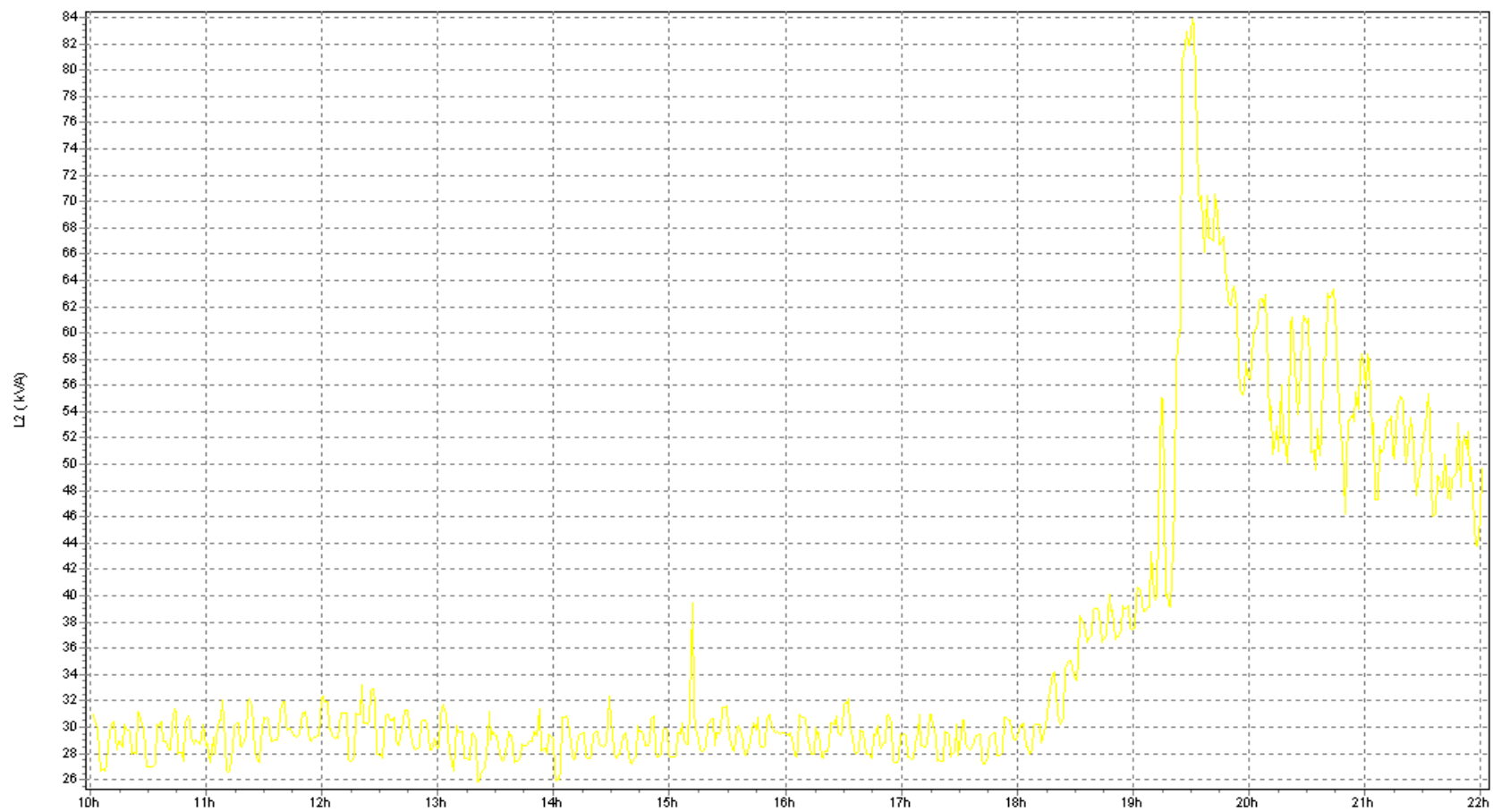
Gráfica 5.1.34 Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



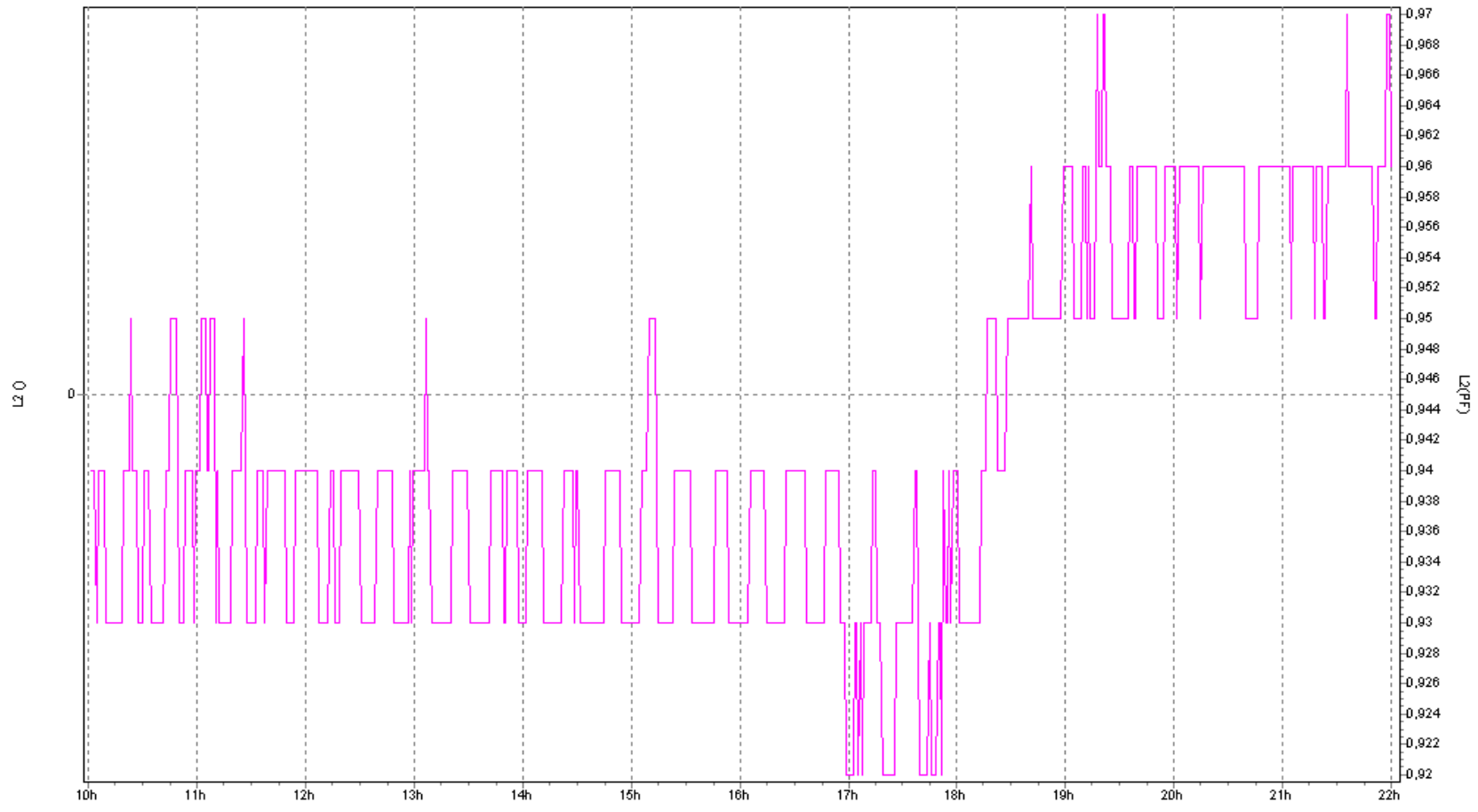
Gráfica 5.1.35 Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.36 Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Mínimo

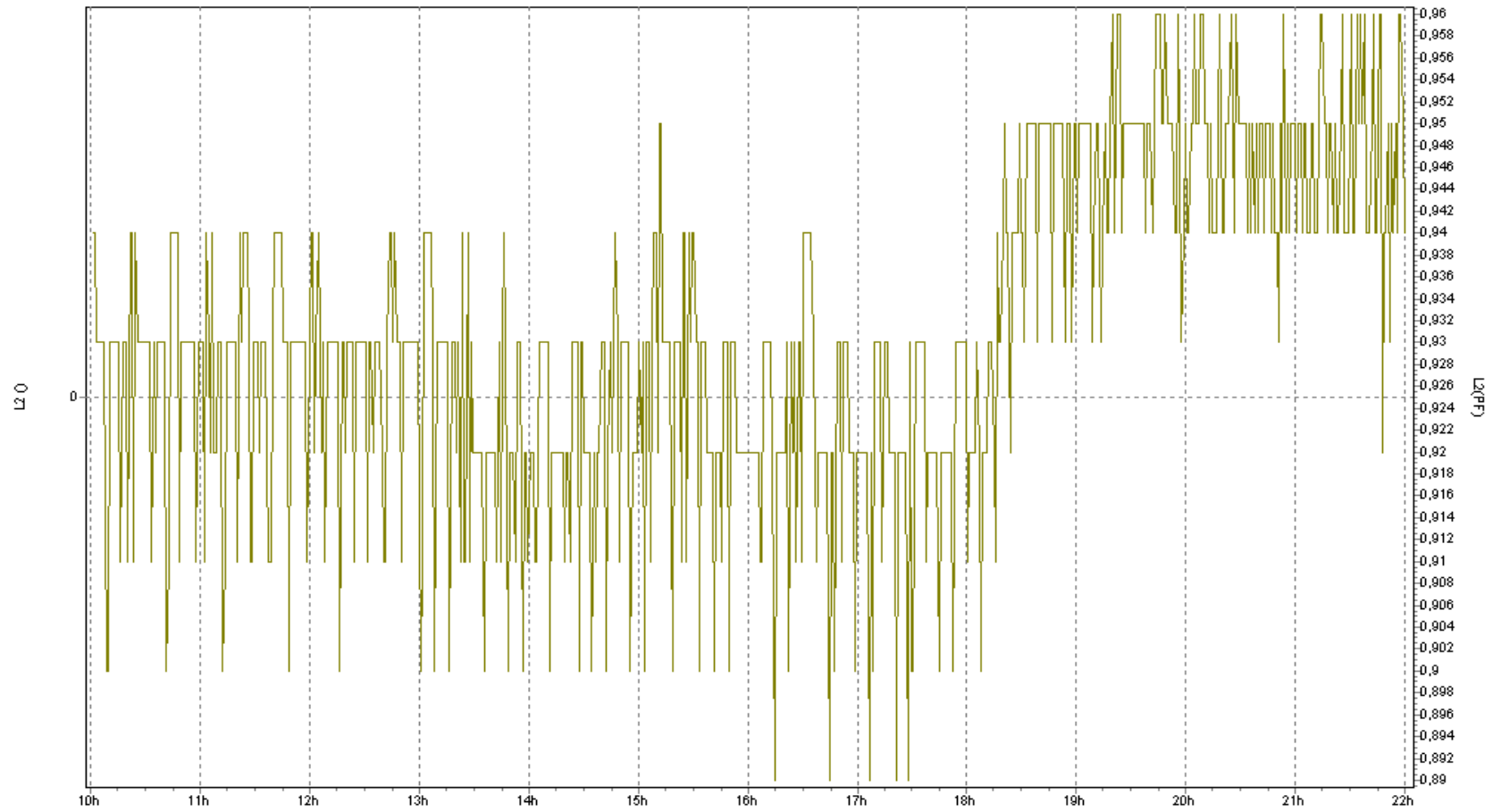
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.37 Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Máximo

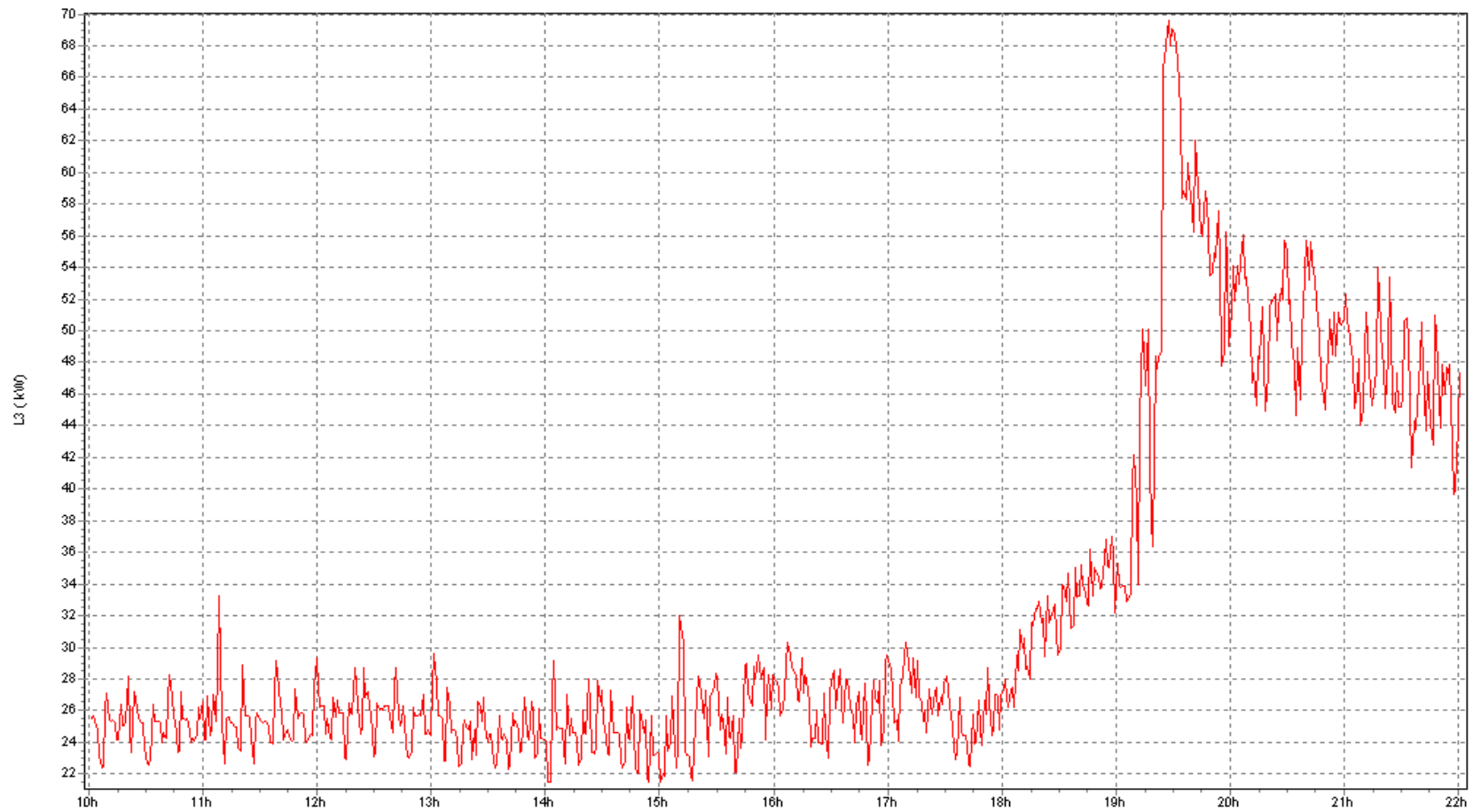
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





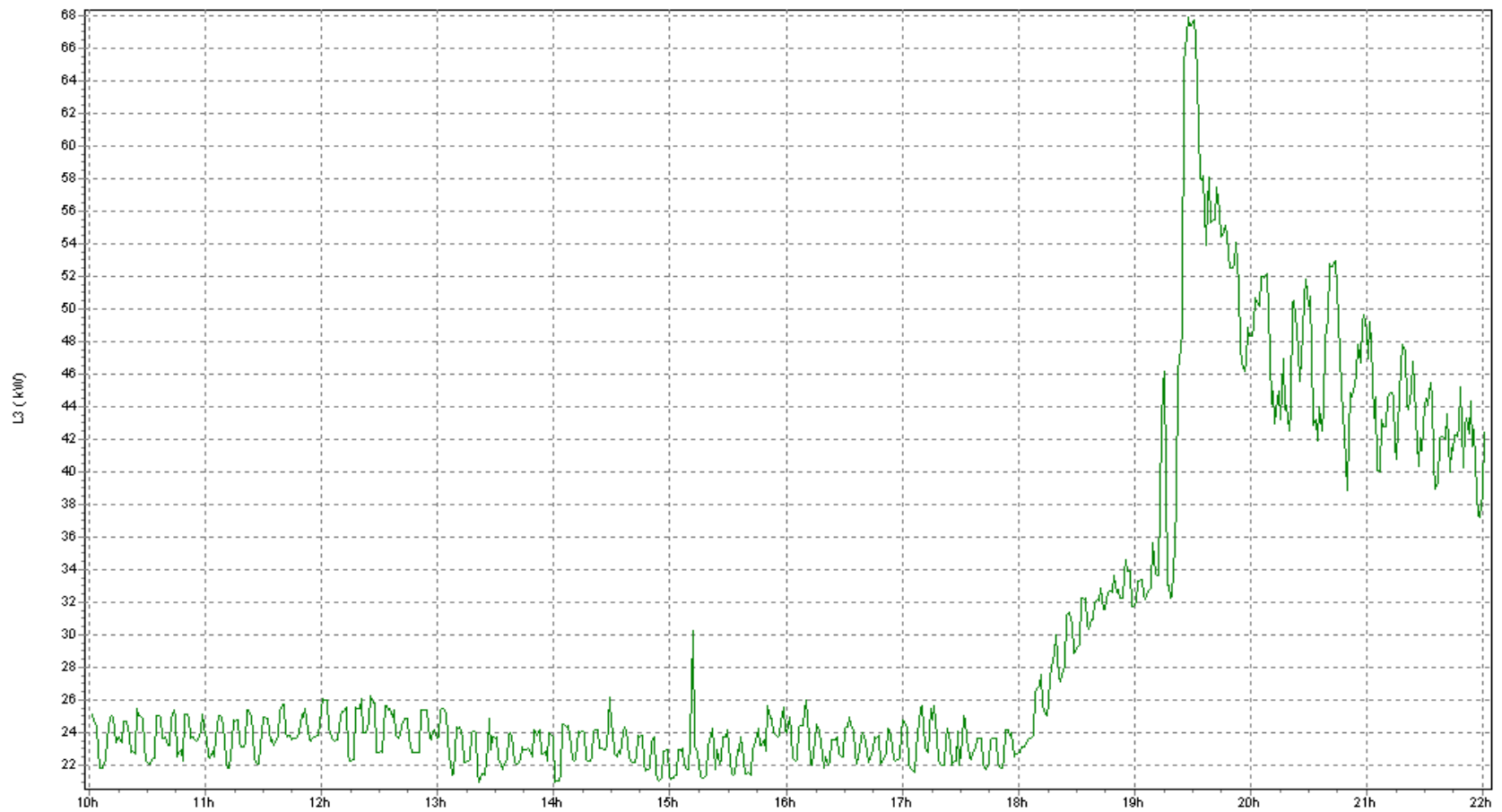
Gráfica 5.1.38 Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



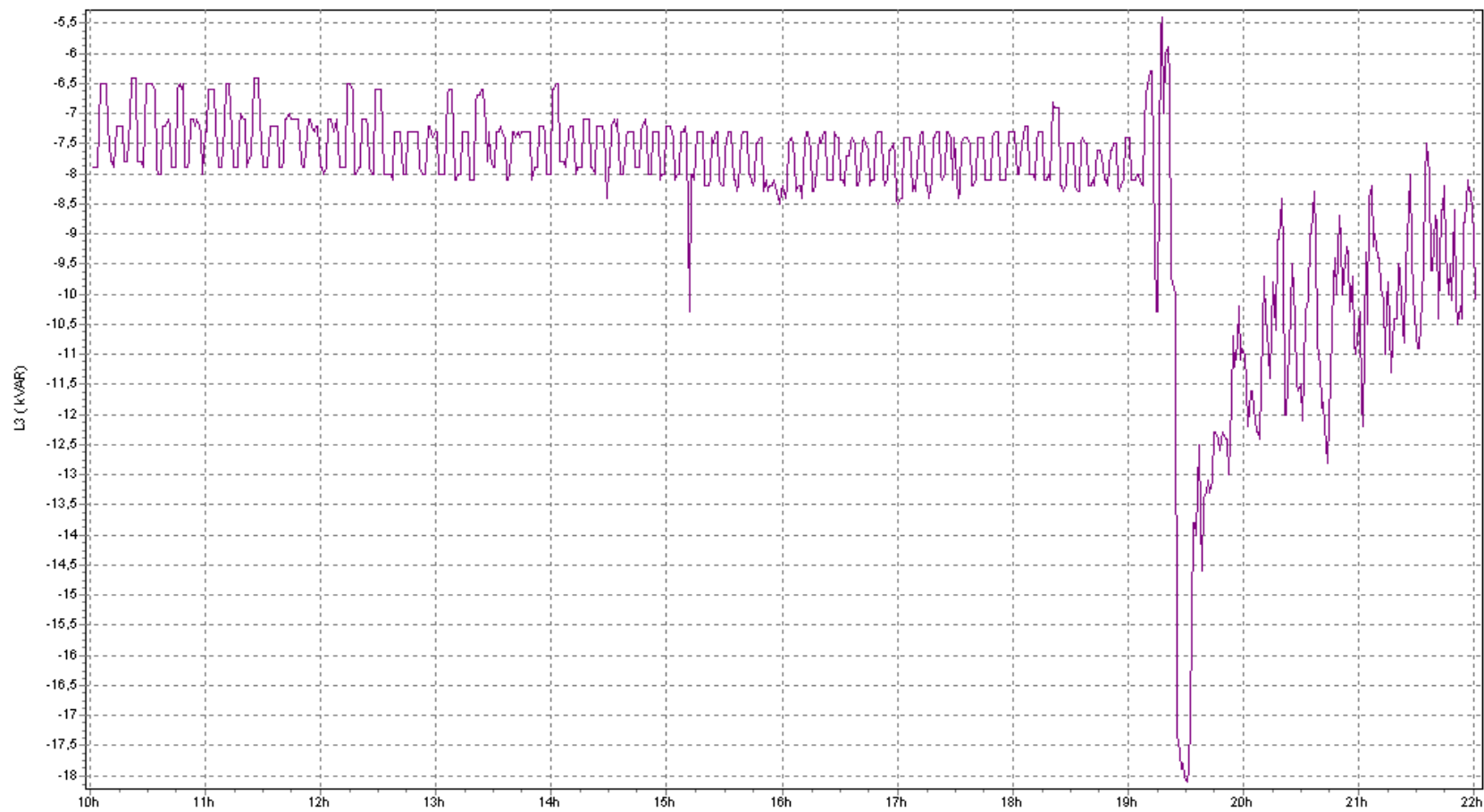
Gráfica 5.1.39 Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.40 Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



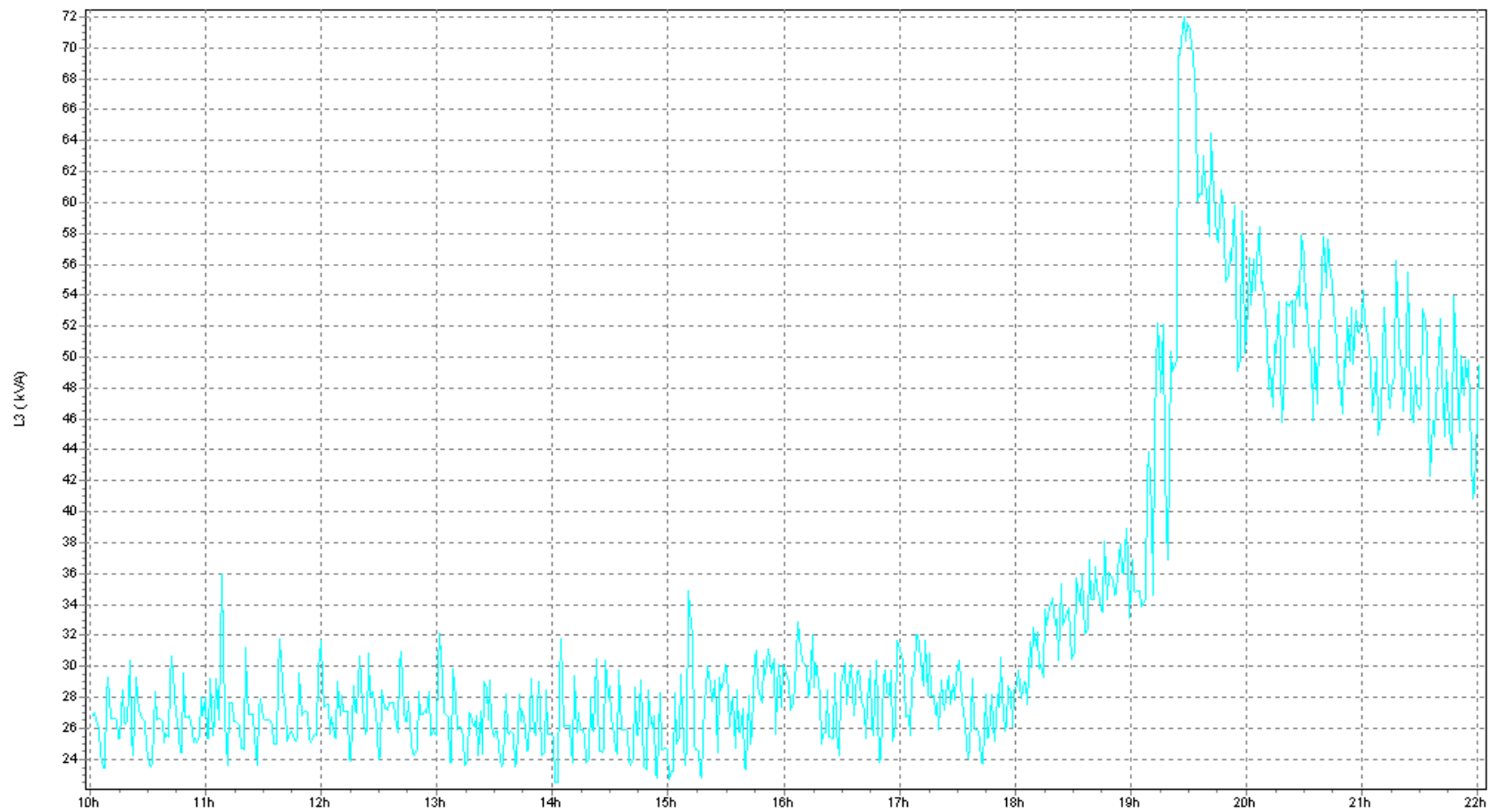
Gráfica 5.1.41 Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



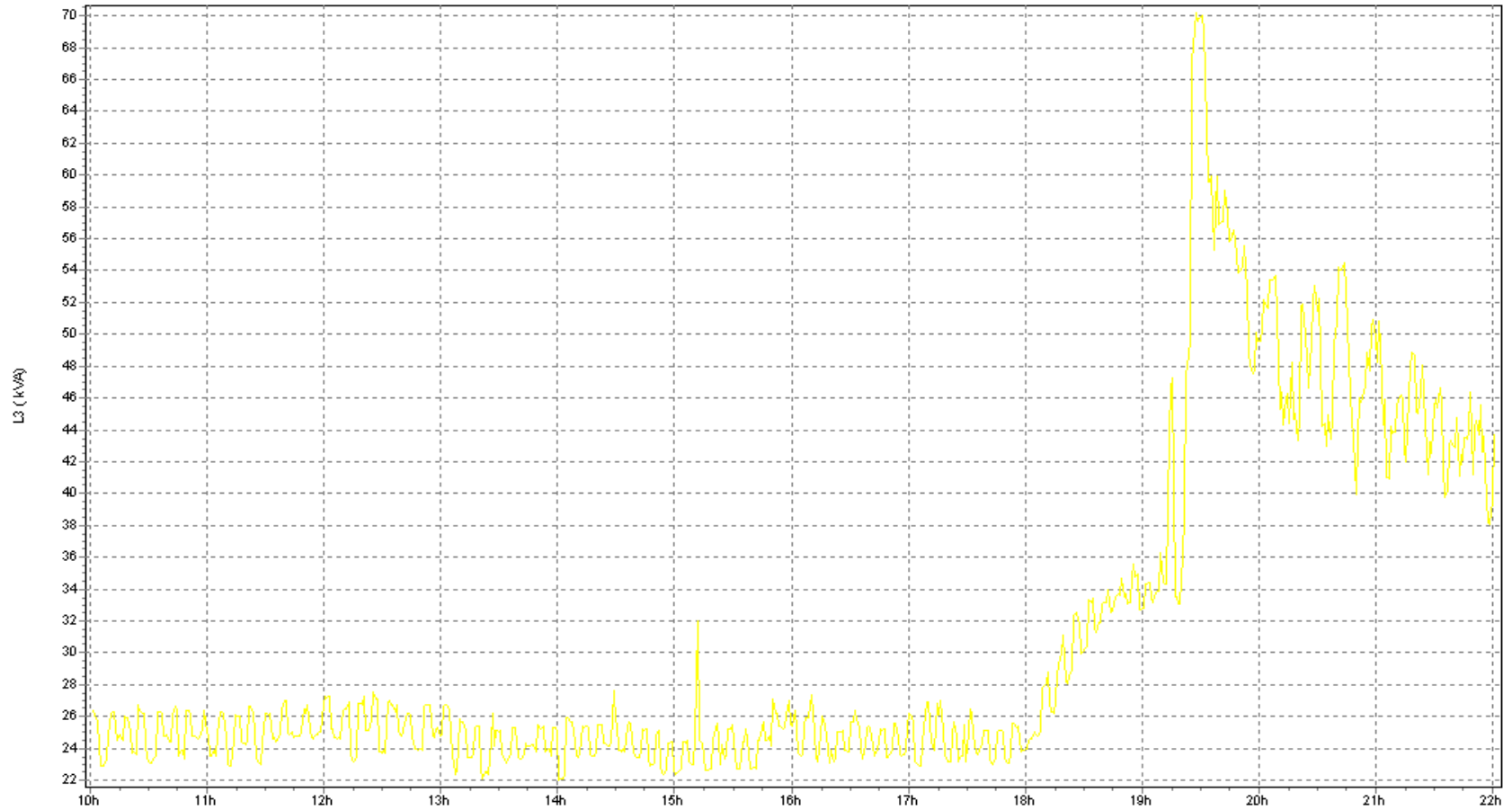
Gráfica 5.1.42 Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



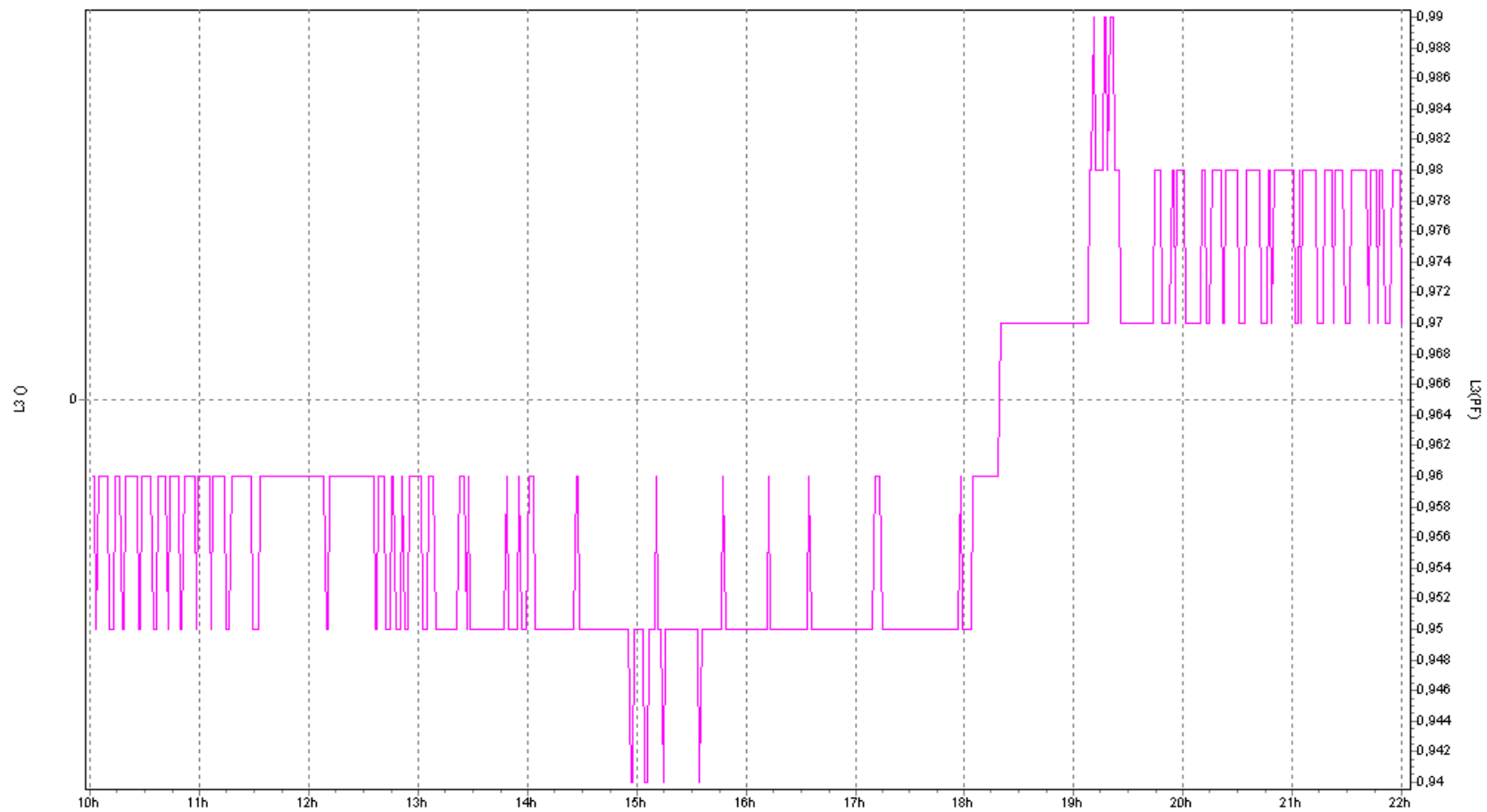
Gráfica 5.1.43 Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.44 Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Mínimo

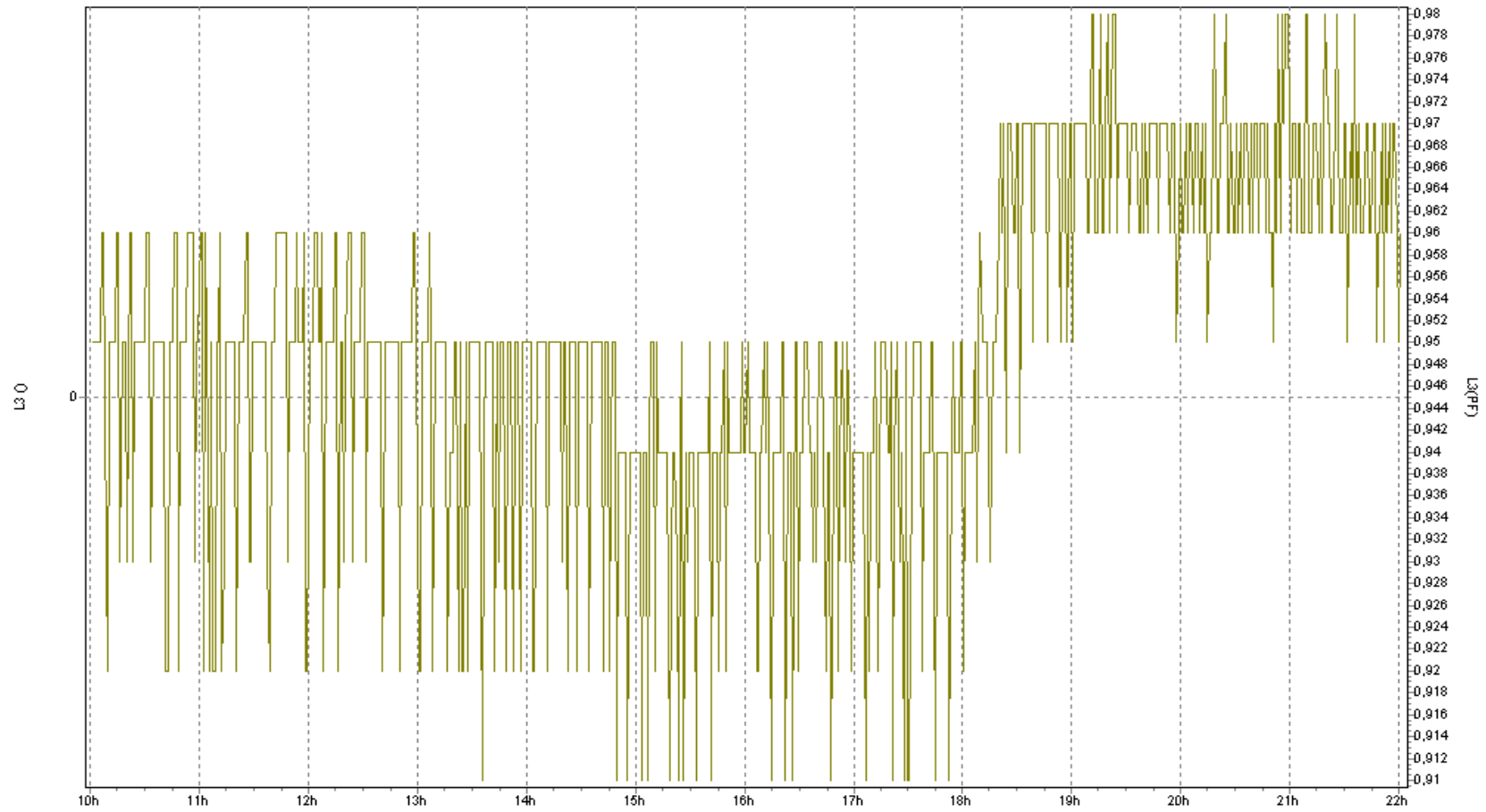
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.45 Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Máximo

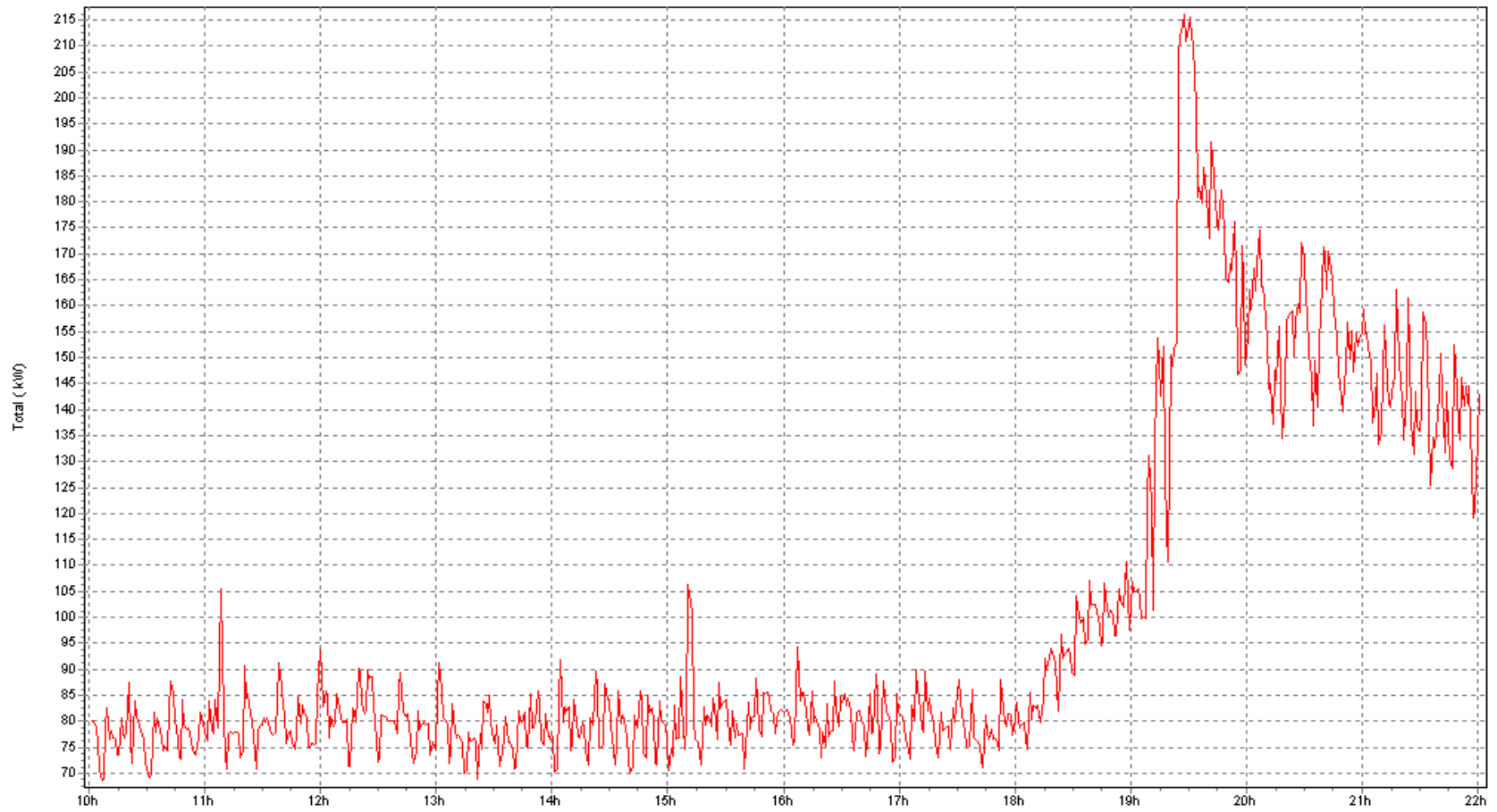
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





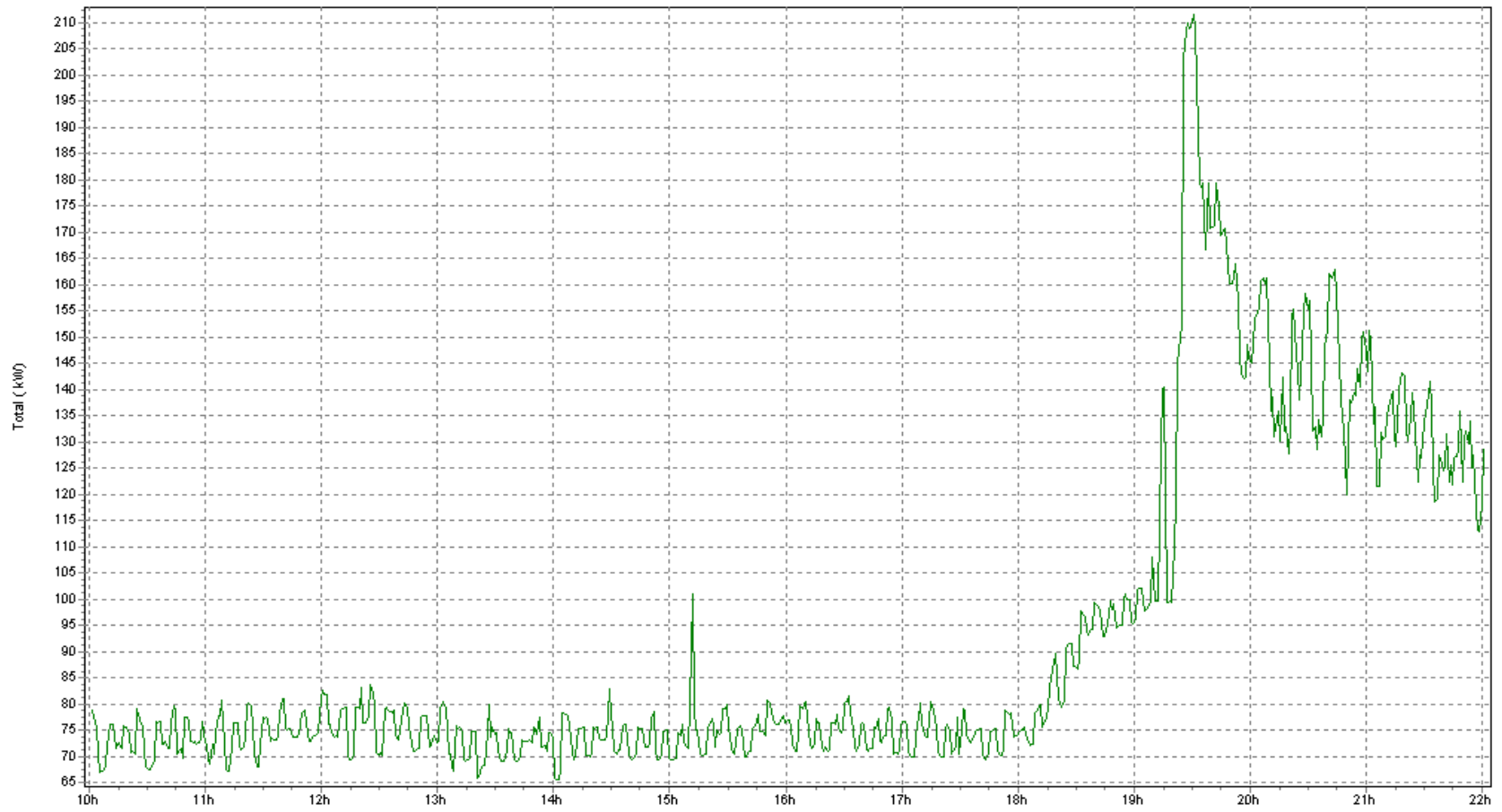
Gráfica 5.1.46 Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



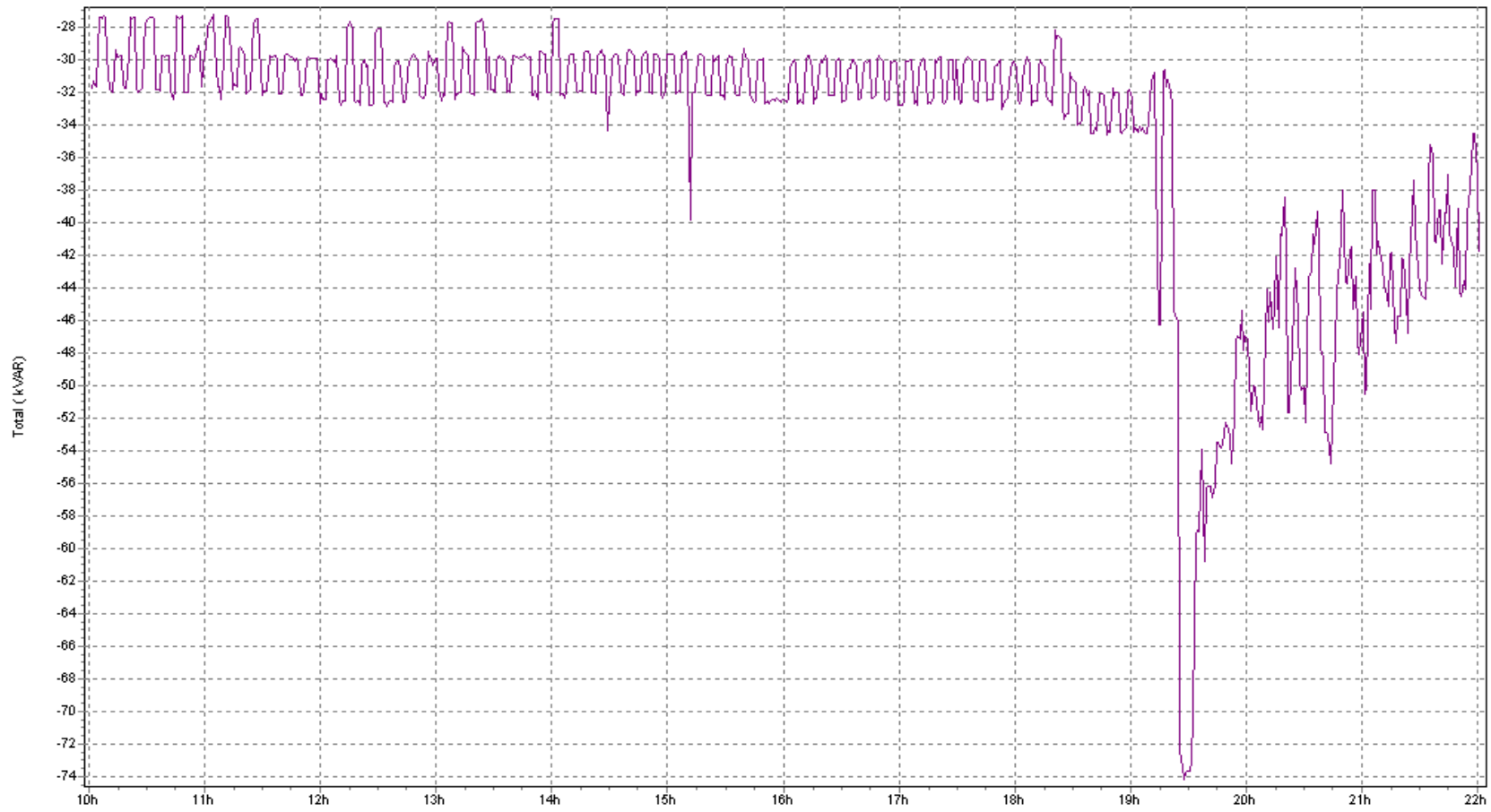
Gráfica 5.1.47 Potencia Activa Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



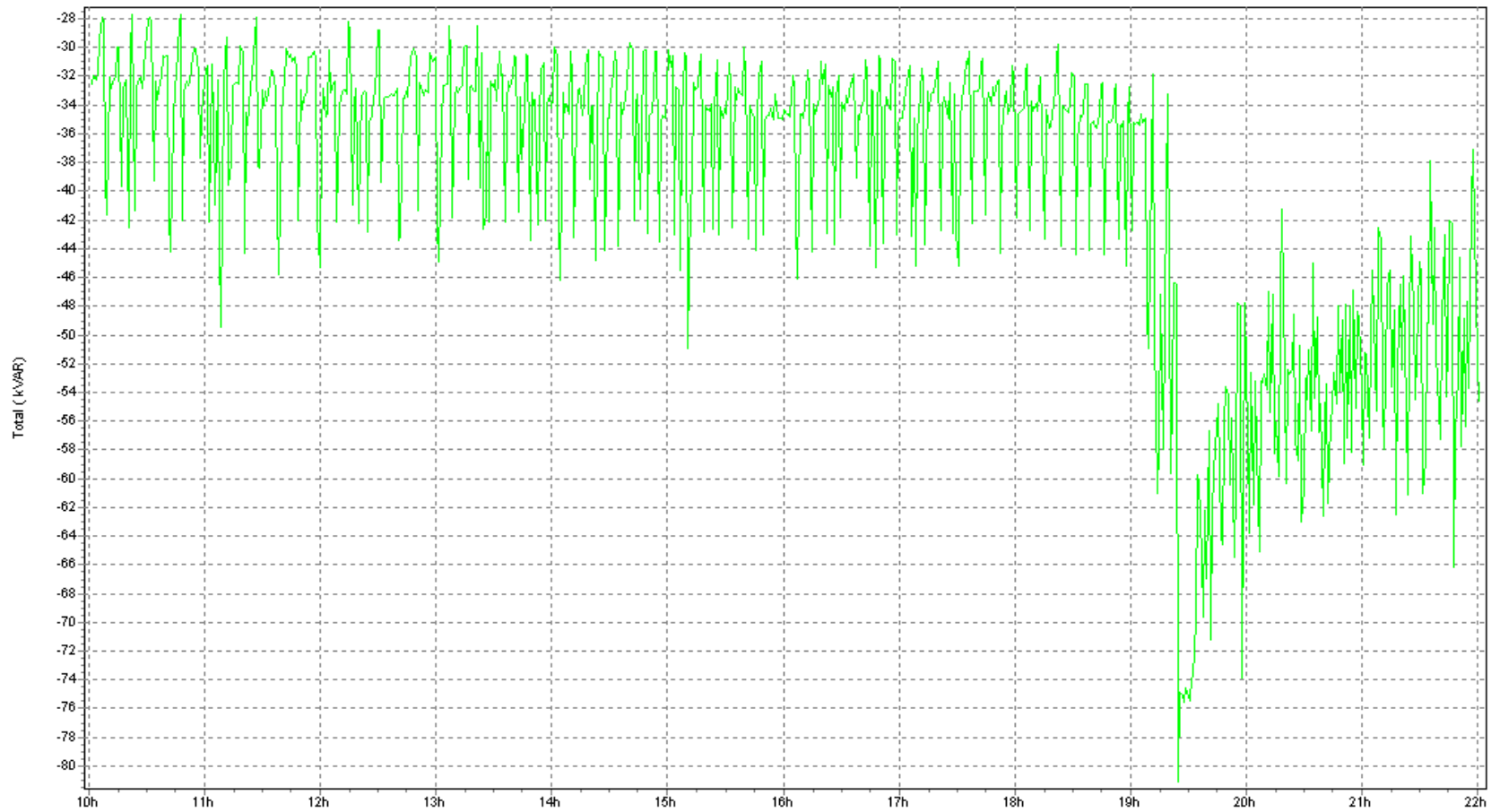
Gráfica 5.1.48 Potencia Activa Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



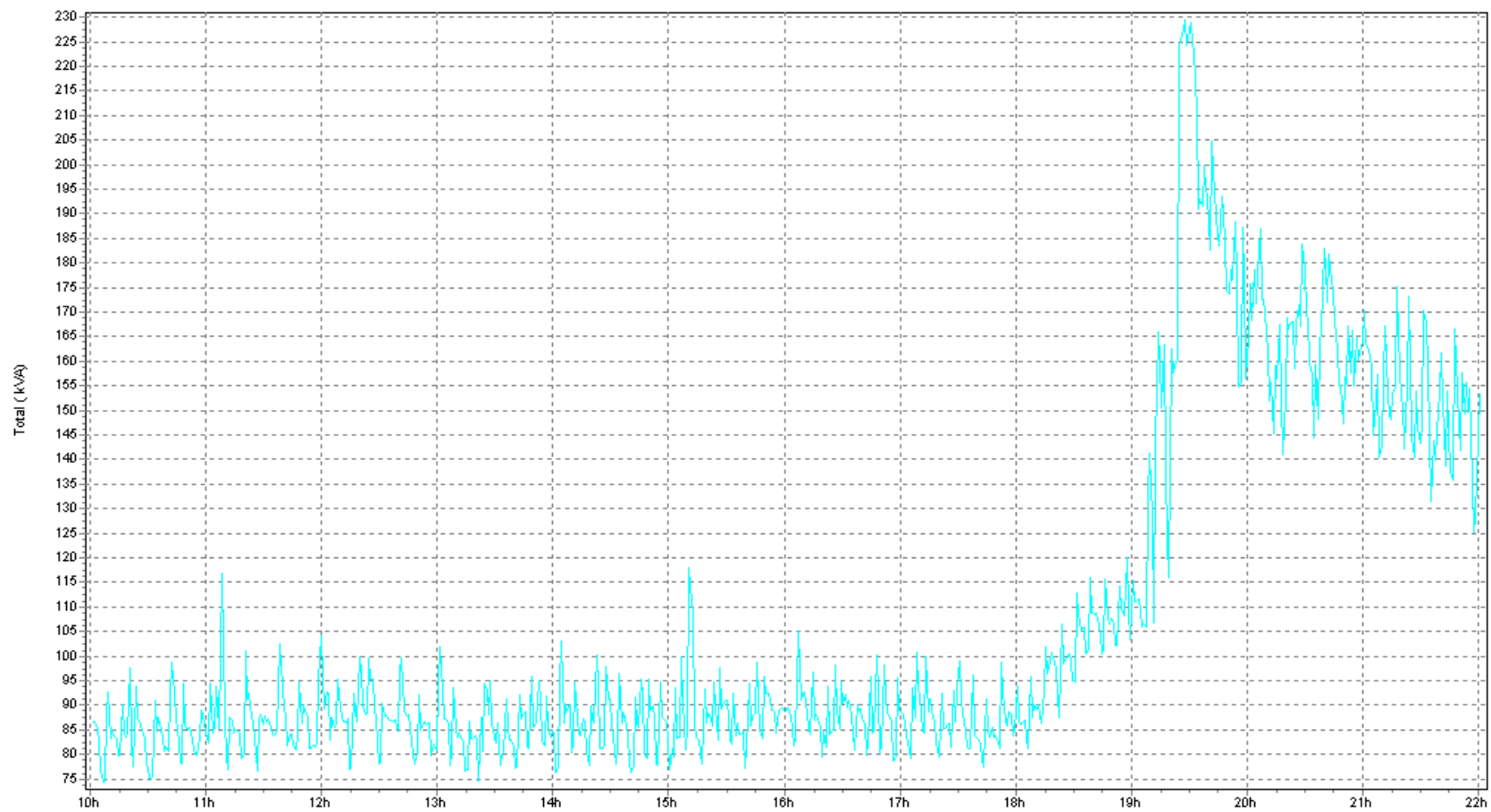
Gráfica 5.1.49 Potencia Reactiva Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



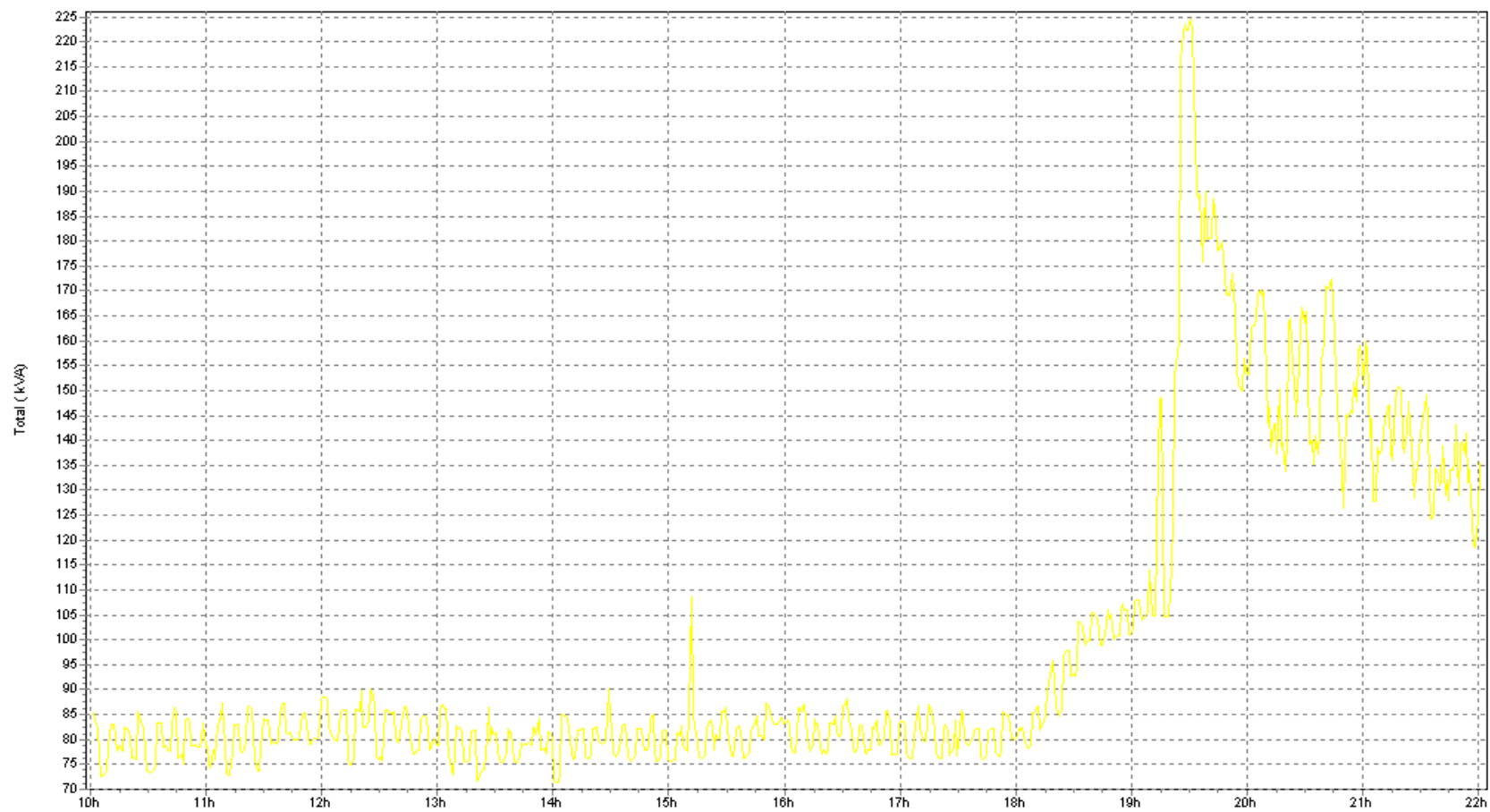
Gráfica 5.1.50 Potencia Reactiva Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



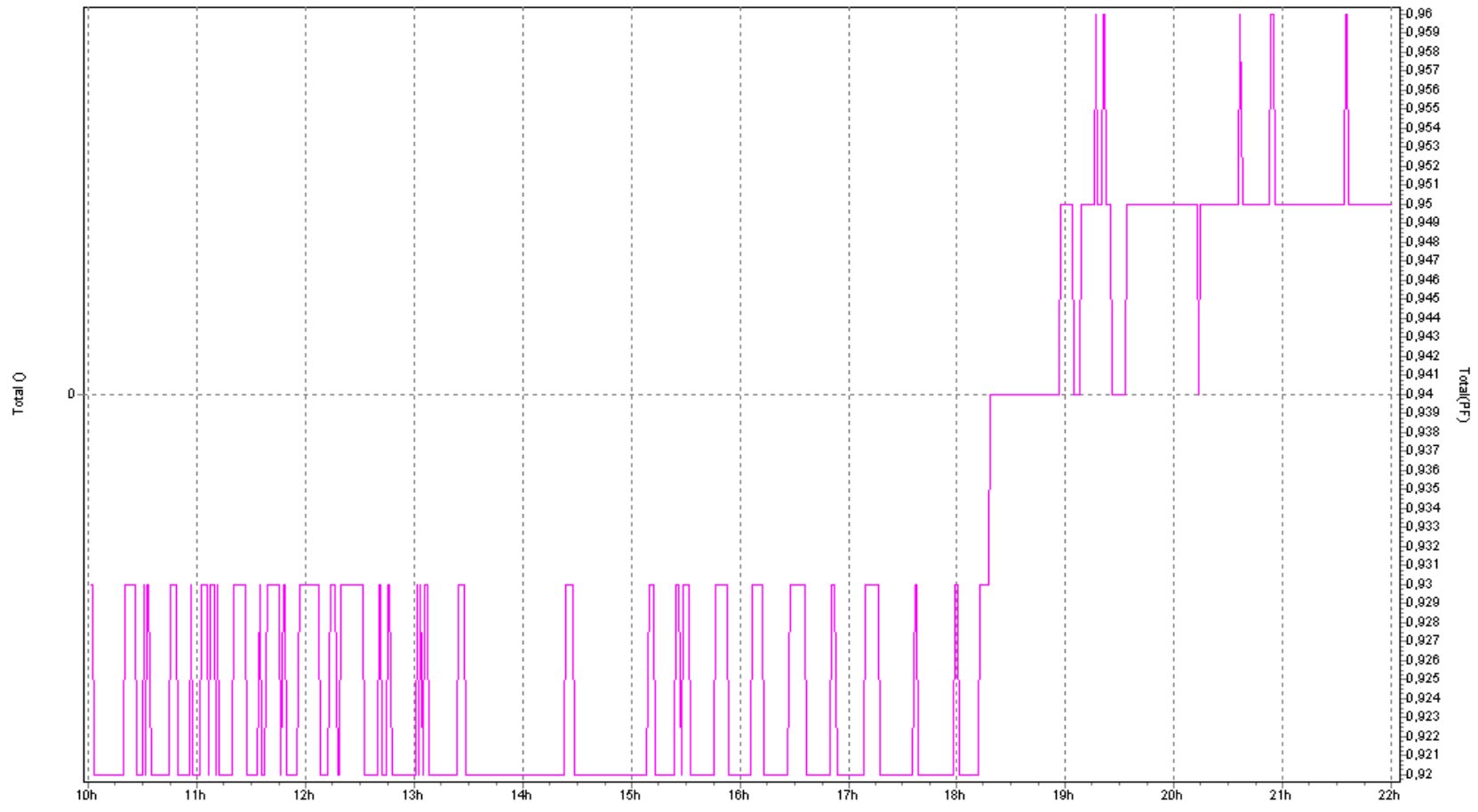
Gráfica 5.1.51 Potencia Aparente Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.52 Potencia Aparente Total – Valor Mínimo

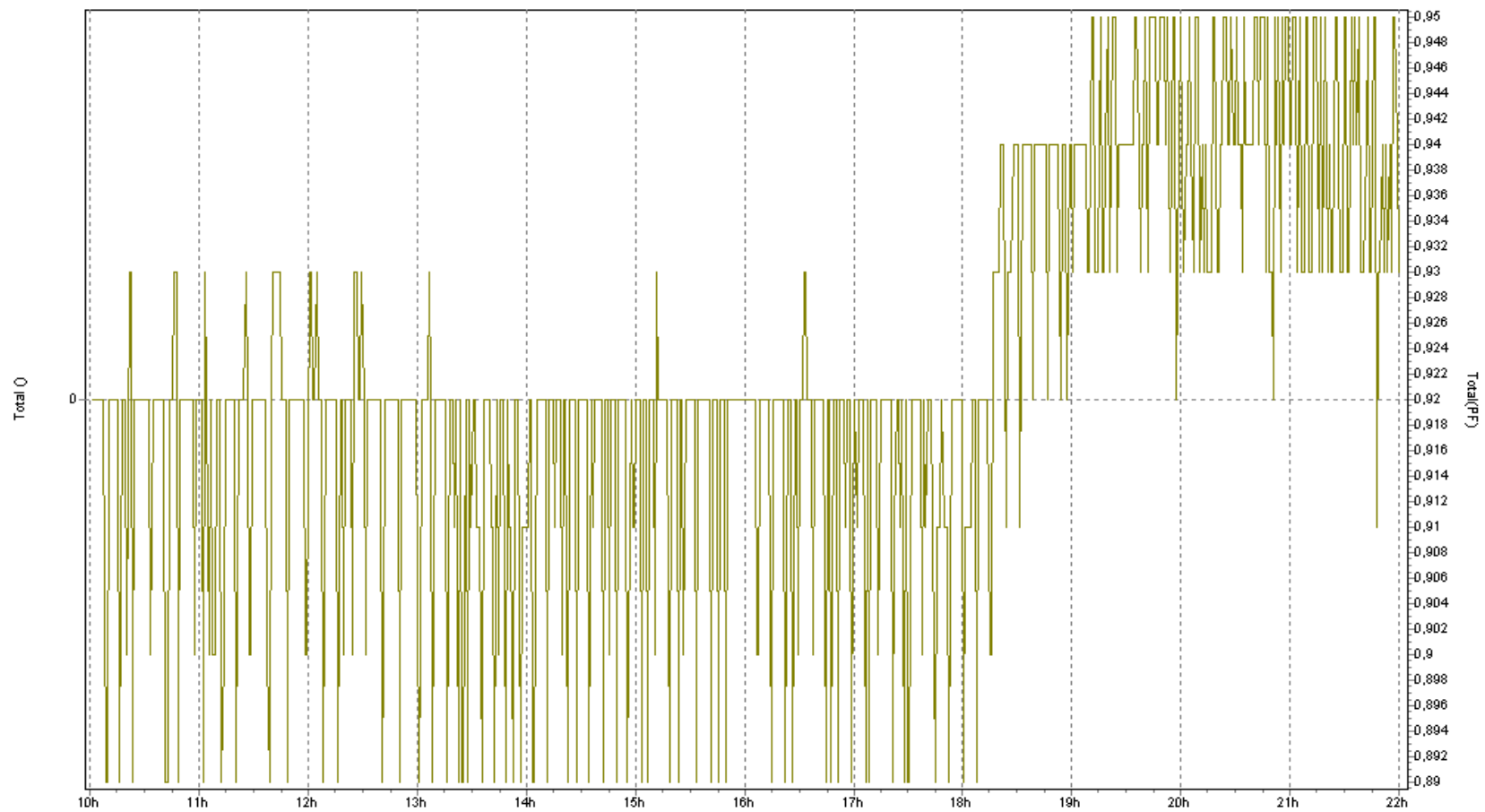
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.53 Factor de Potencia Total – Valor Máximo

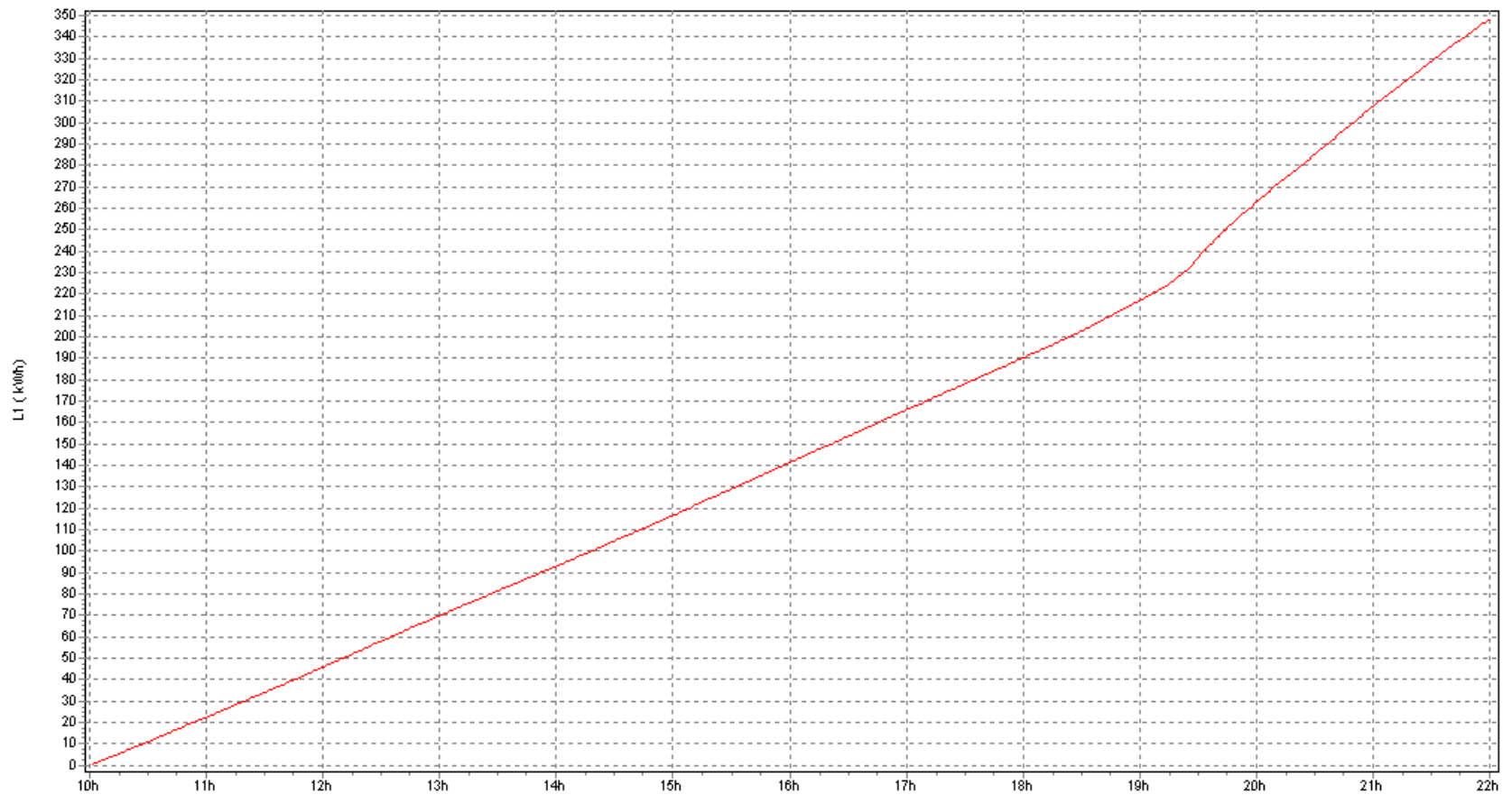
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





Gráfica 5.1.54 Factor de Potencia Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



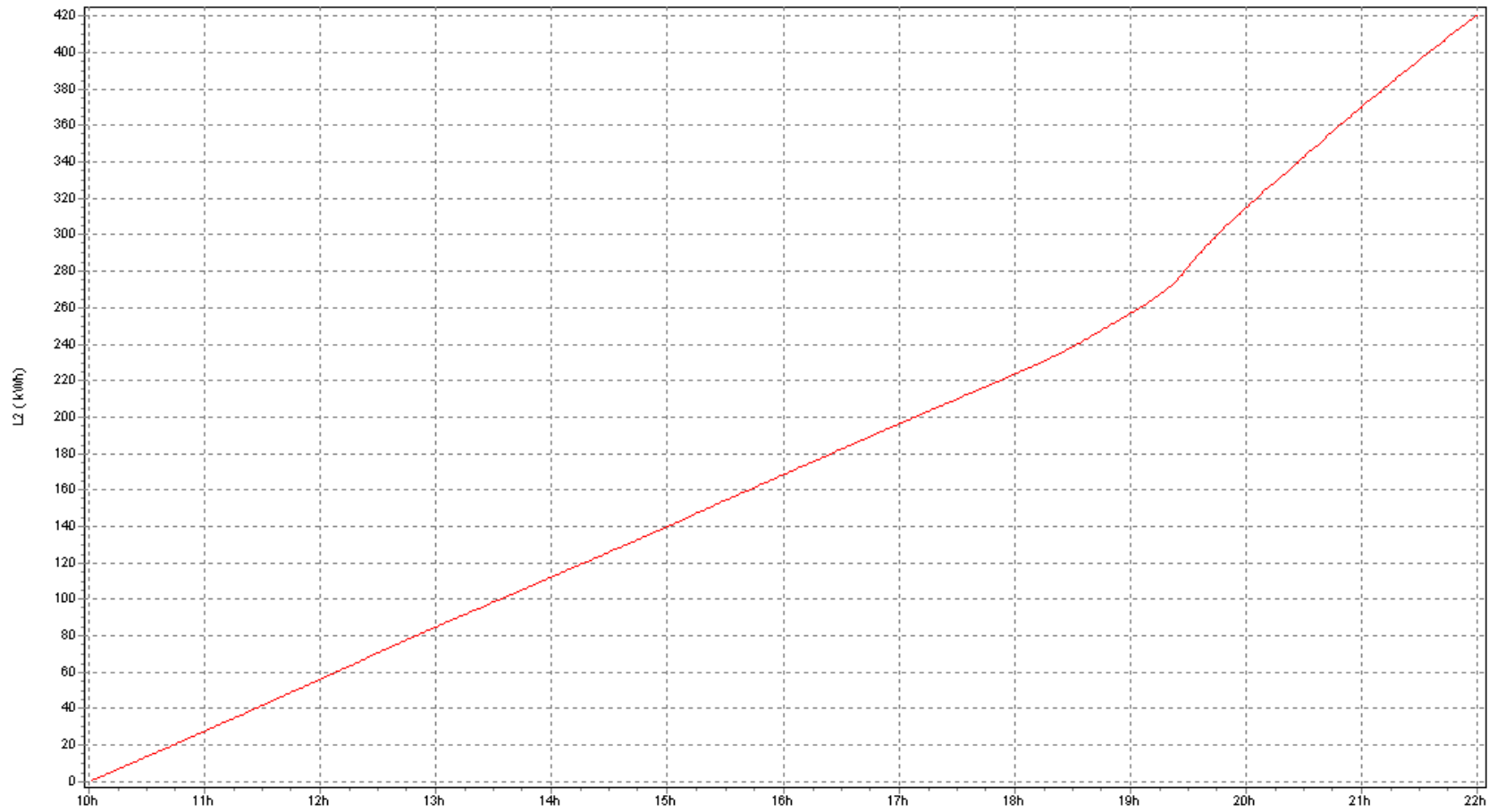
Gráfica 5.1.55 Energía Activa en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



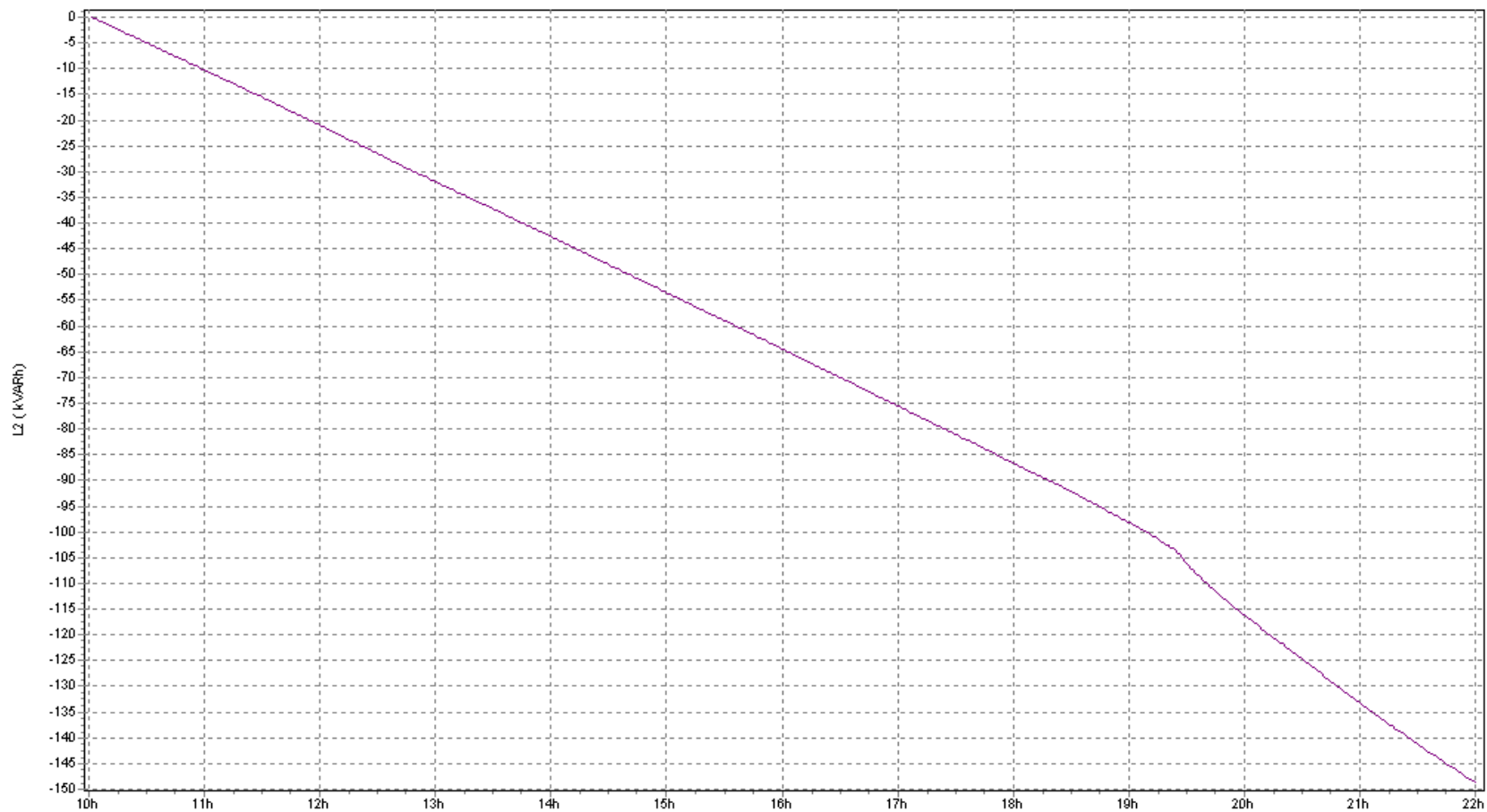
Gráfica 5.1.56 Energía Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



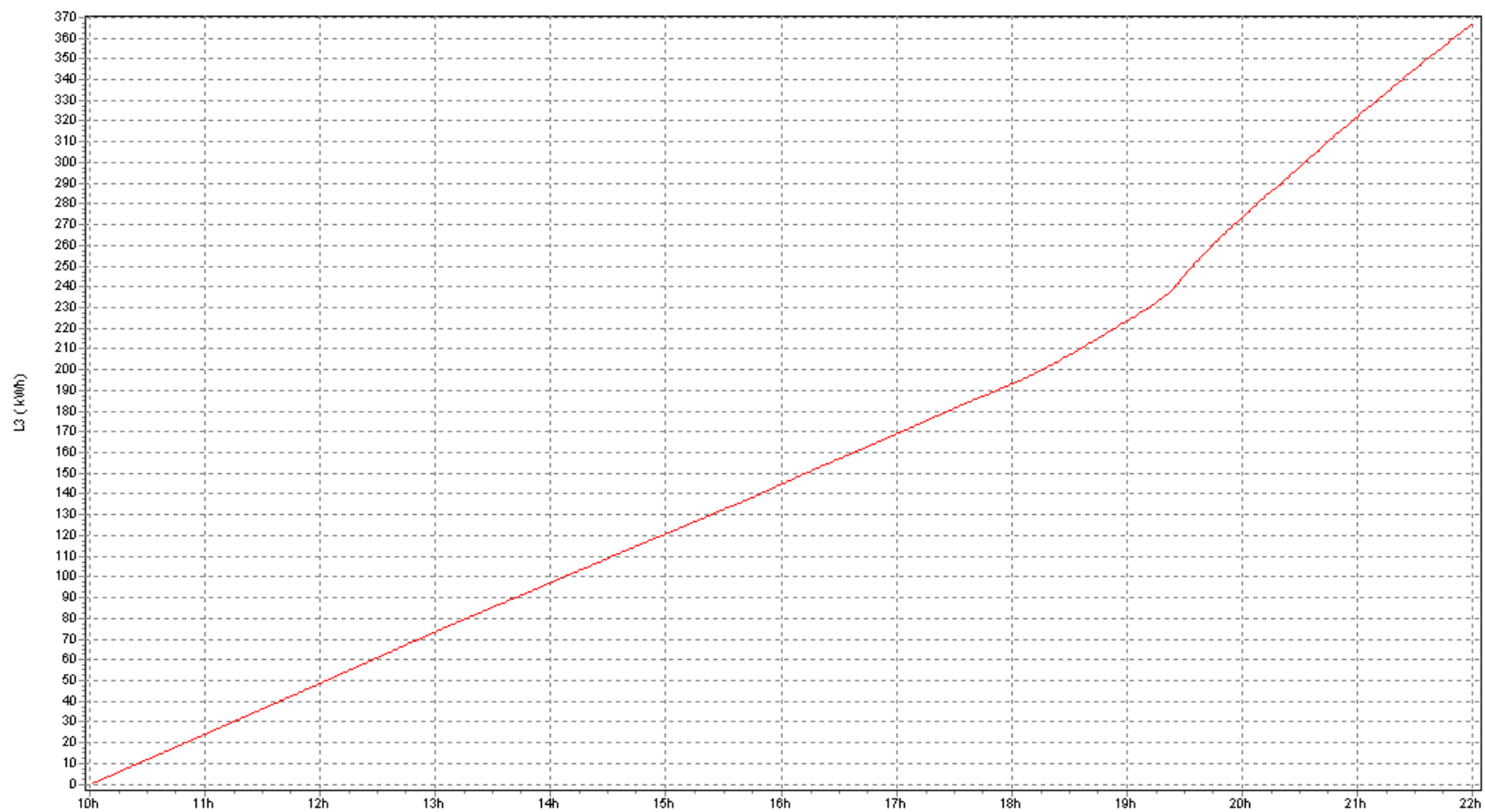
Gráfica 5.1.57 Energía Activa en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



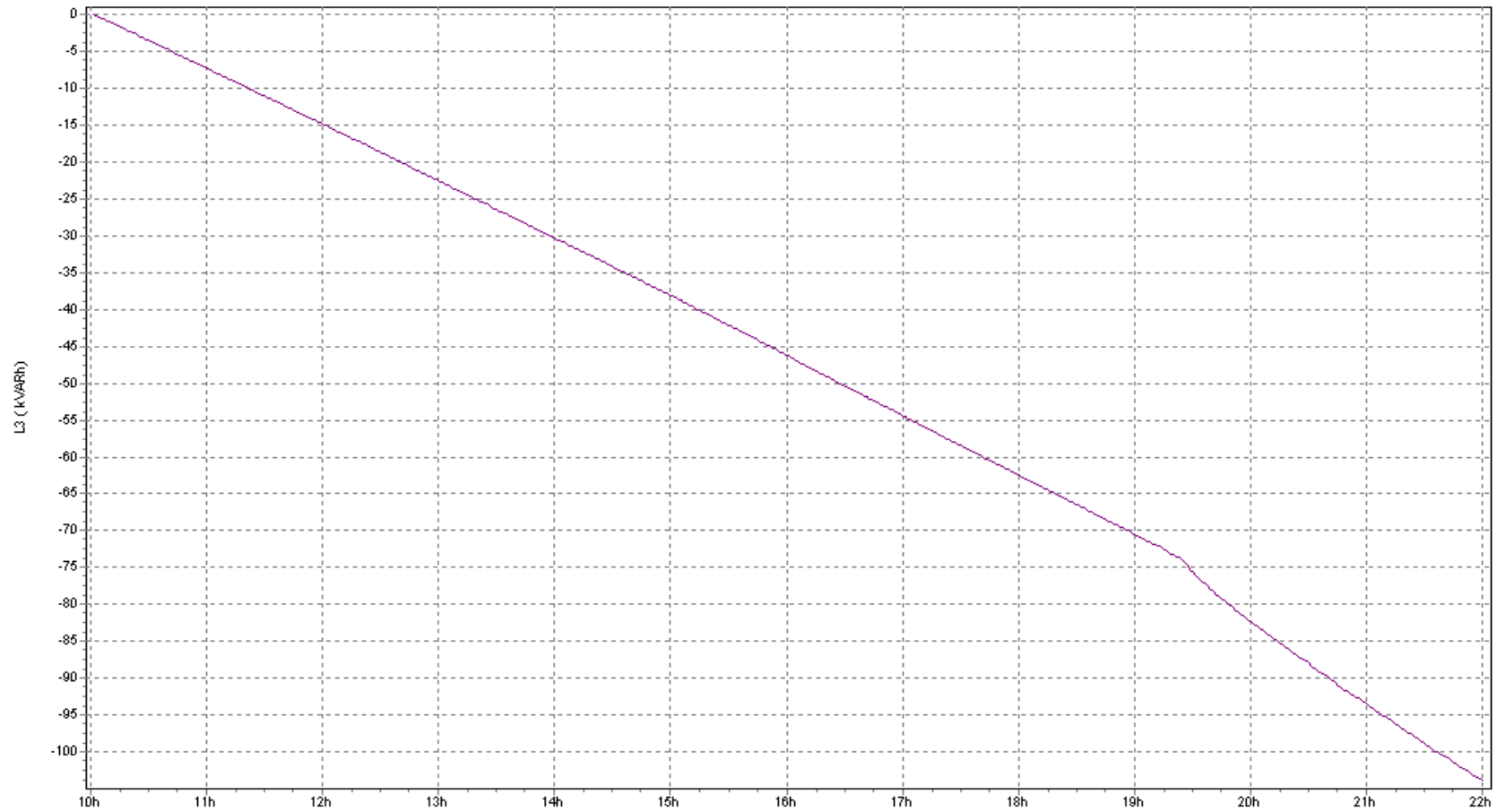
Gráfica 5.1.58 Energía Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



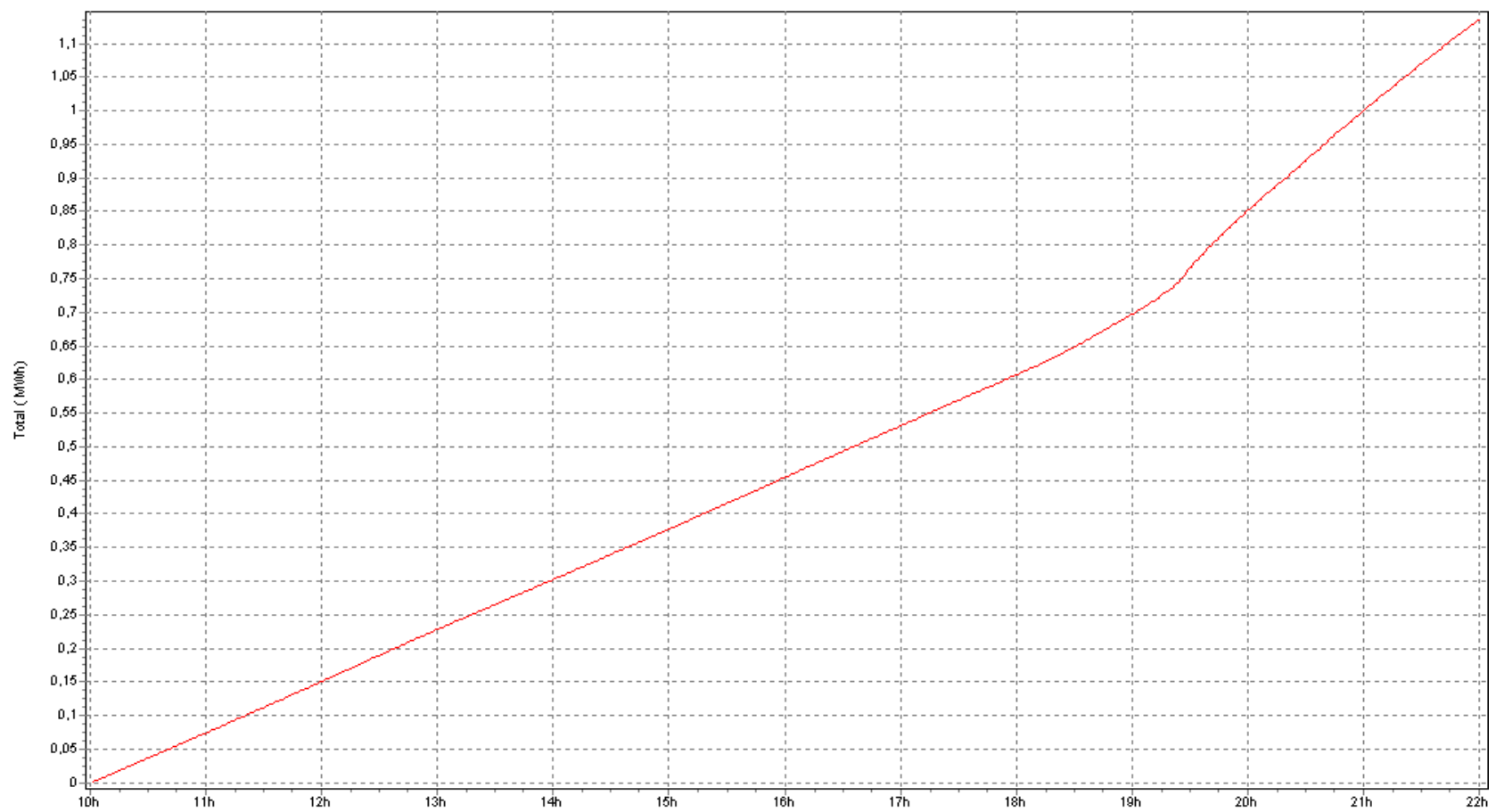
Gráfica 5.1.59 Energía Activa en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.60 Energía Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.61 Energía Activa Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log





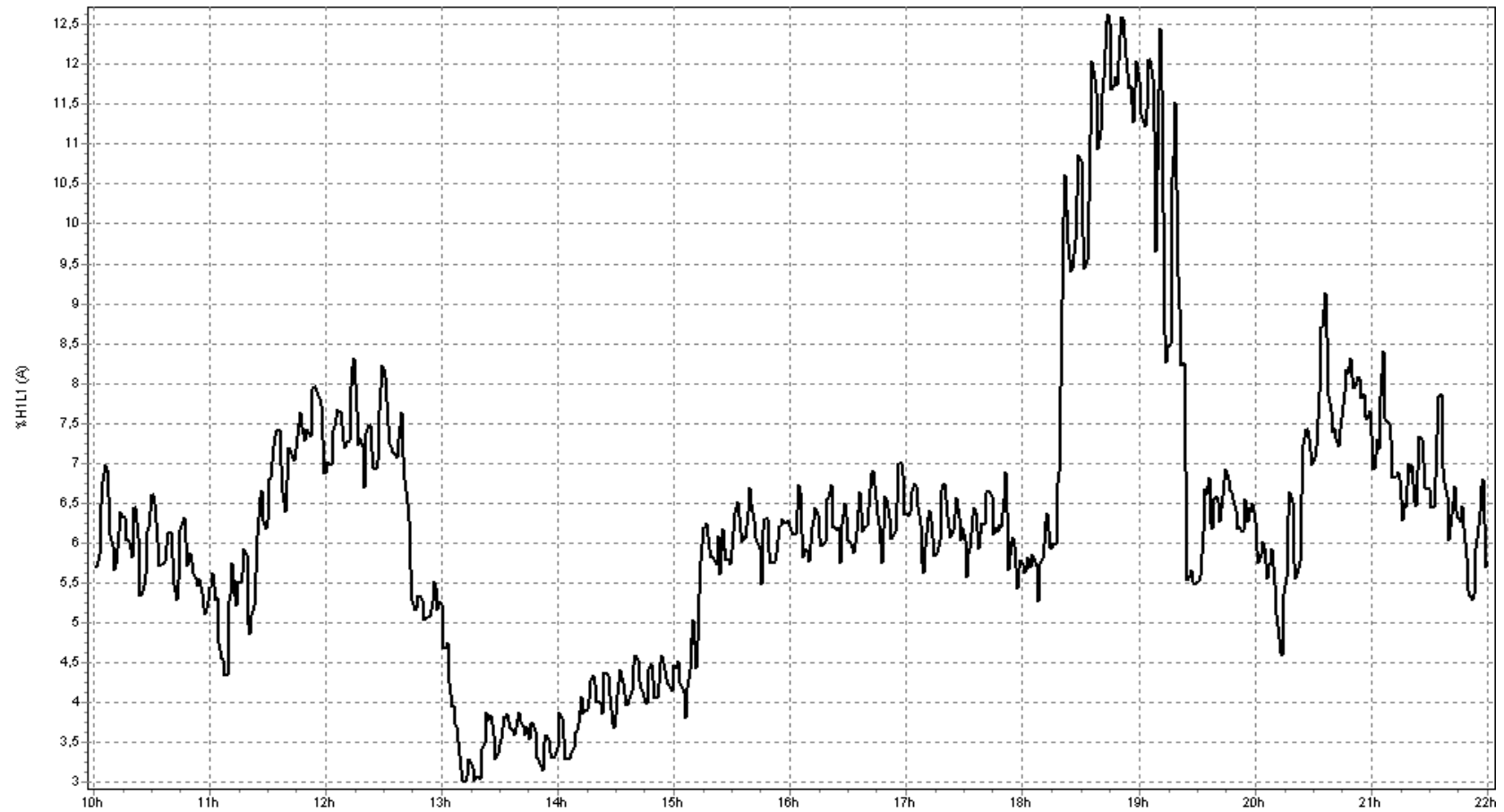
Gráfica 5.1.62 Energía Reactiva Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.63 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 1

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.64 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 1

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.65 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 2

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



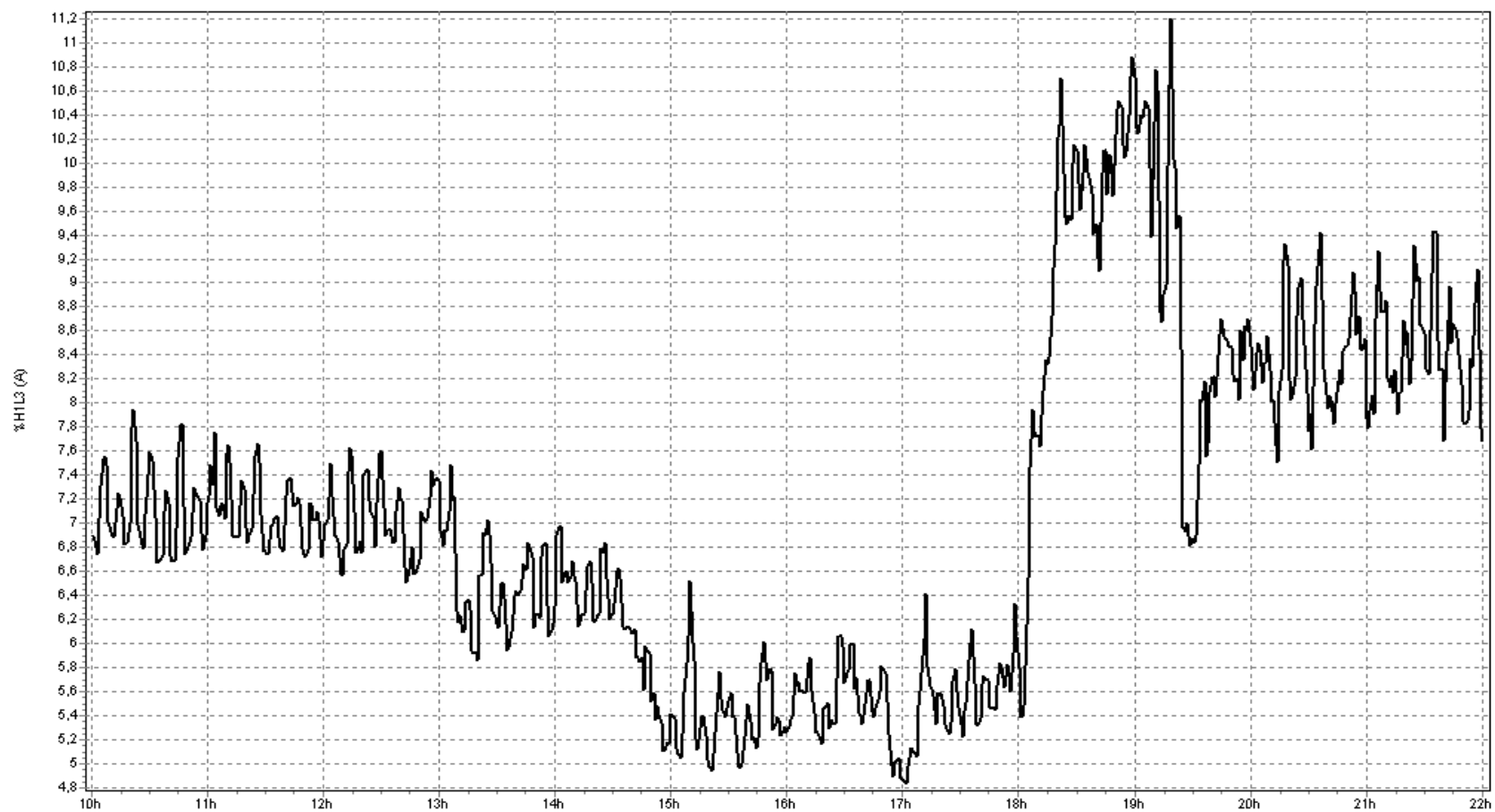
Gráfica 5.1.66 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 2

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



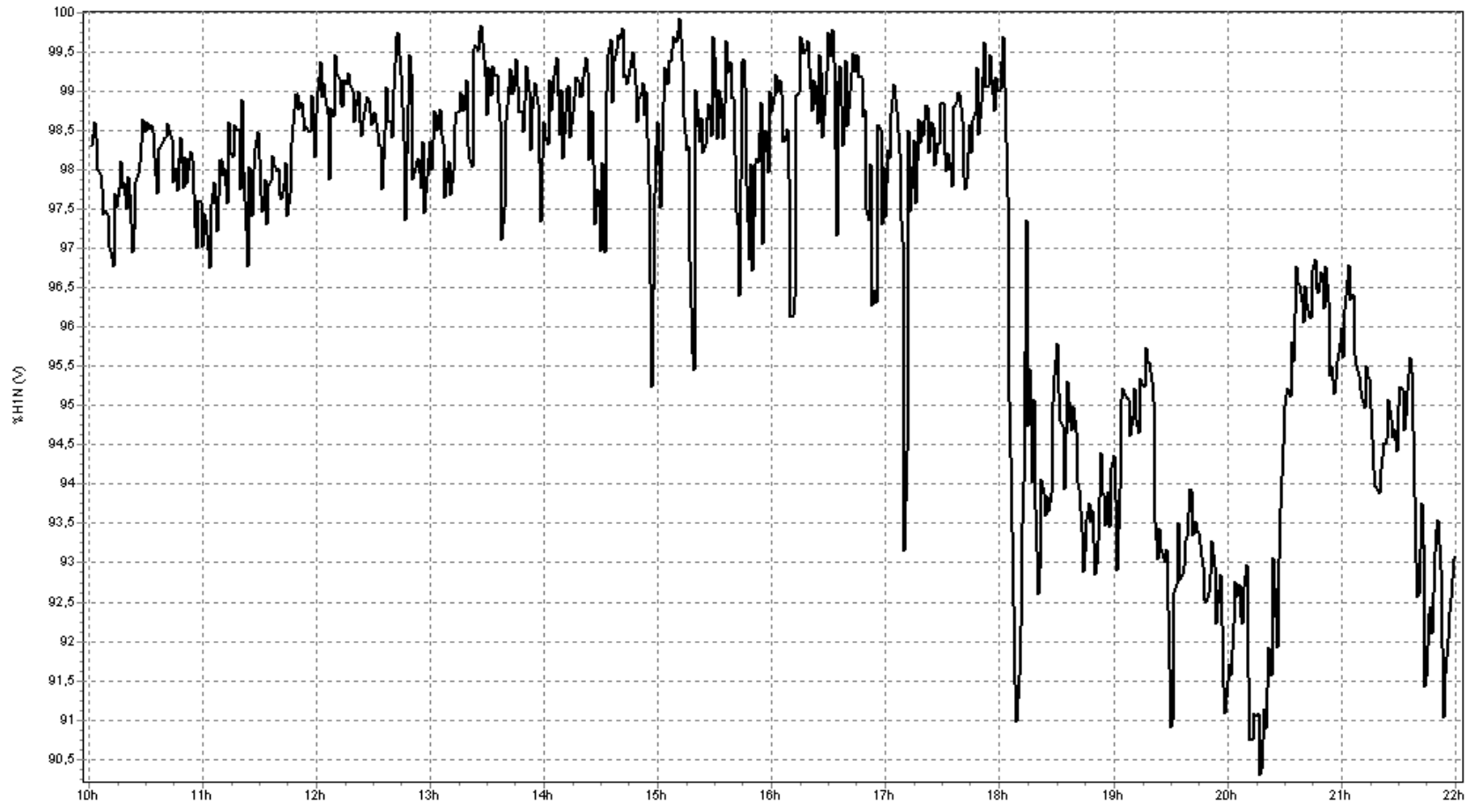
Gráfica 5.1.67 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 3

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.68 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 3

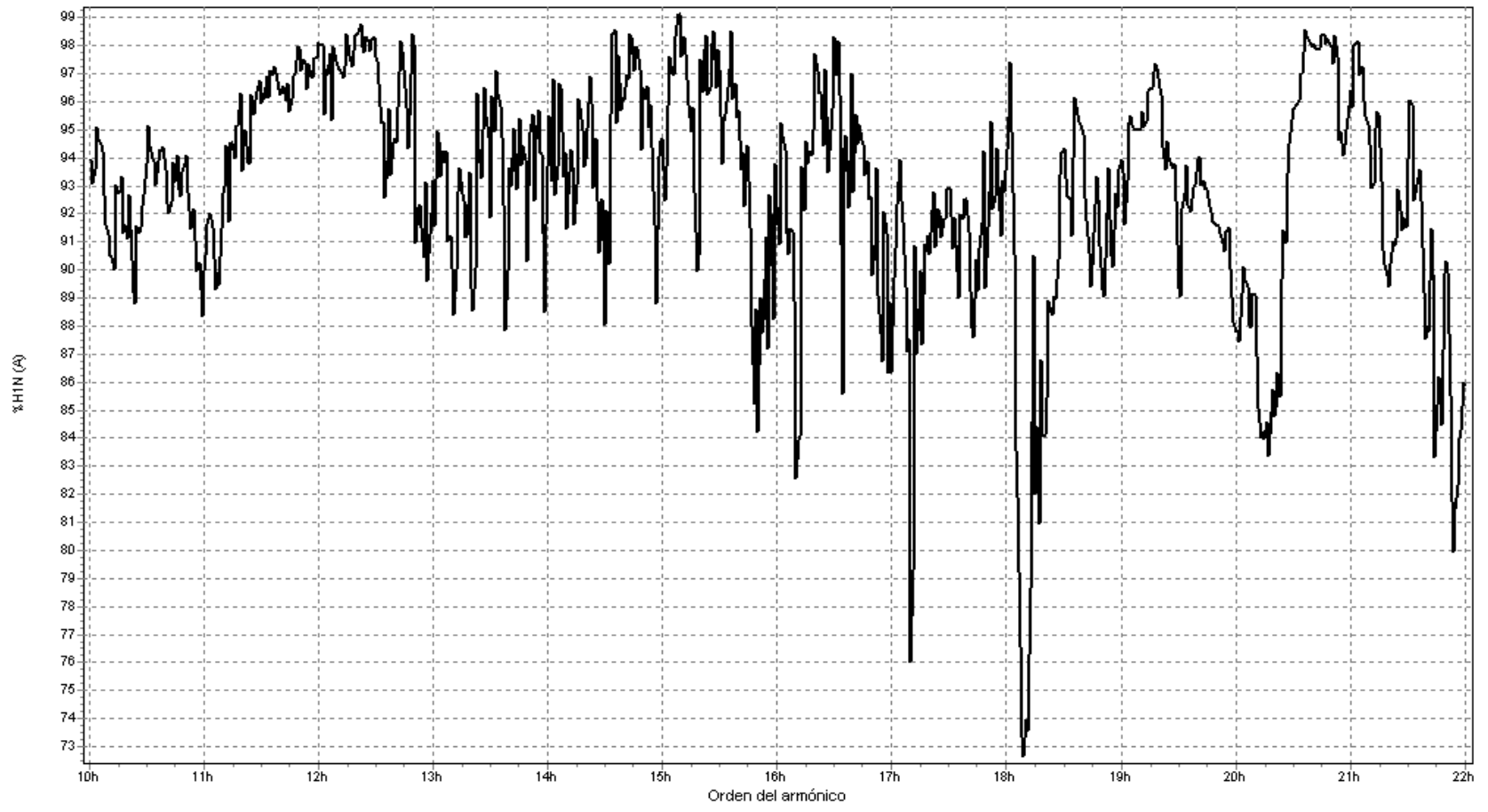
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.1.69 Distorsión Armónica Total de Voltaje en el Neutro

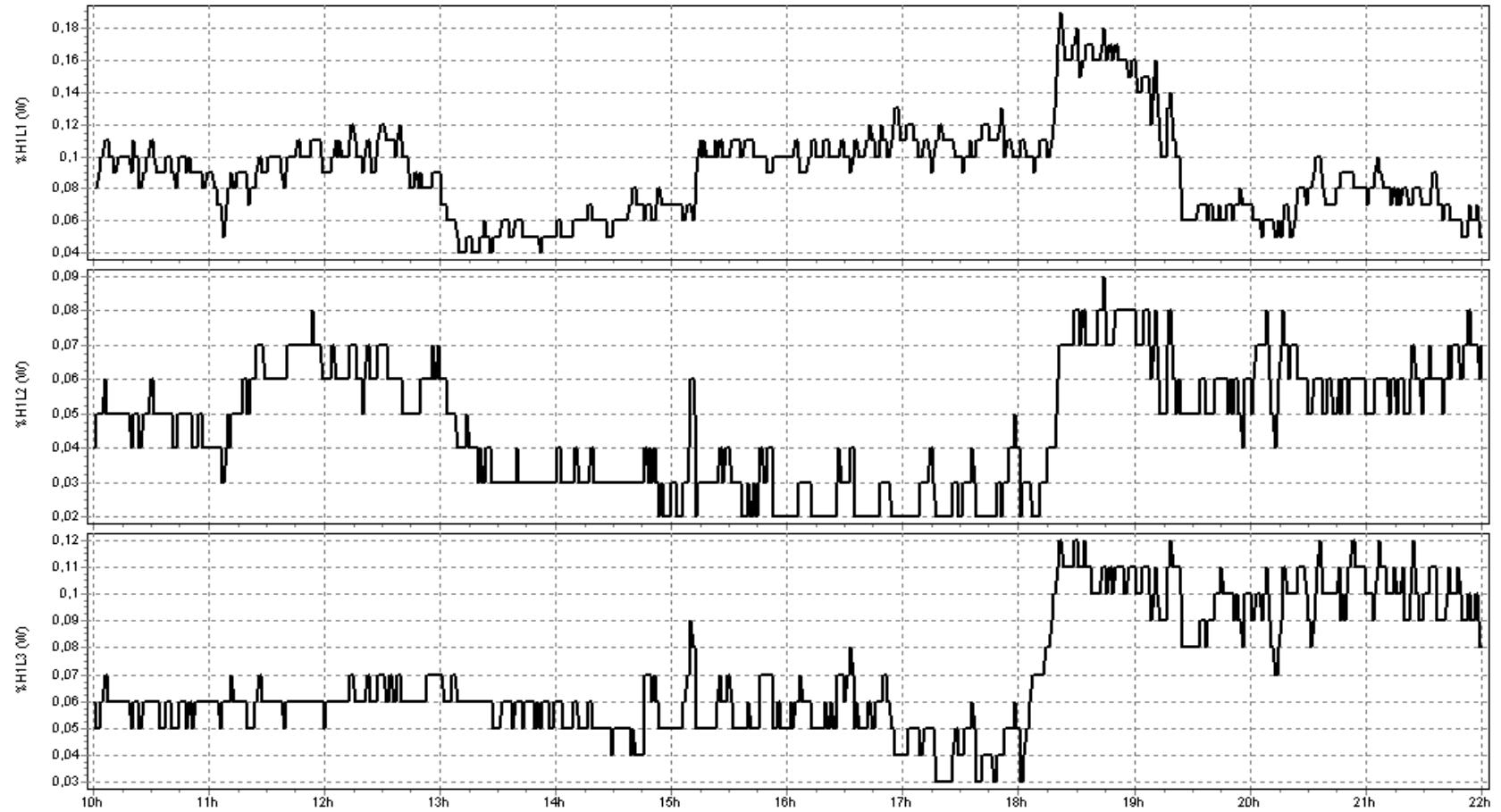
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





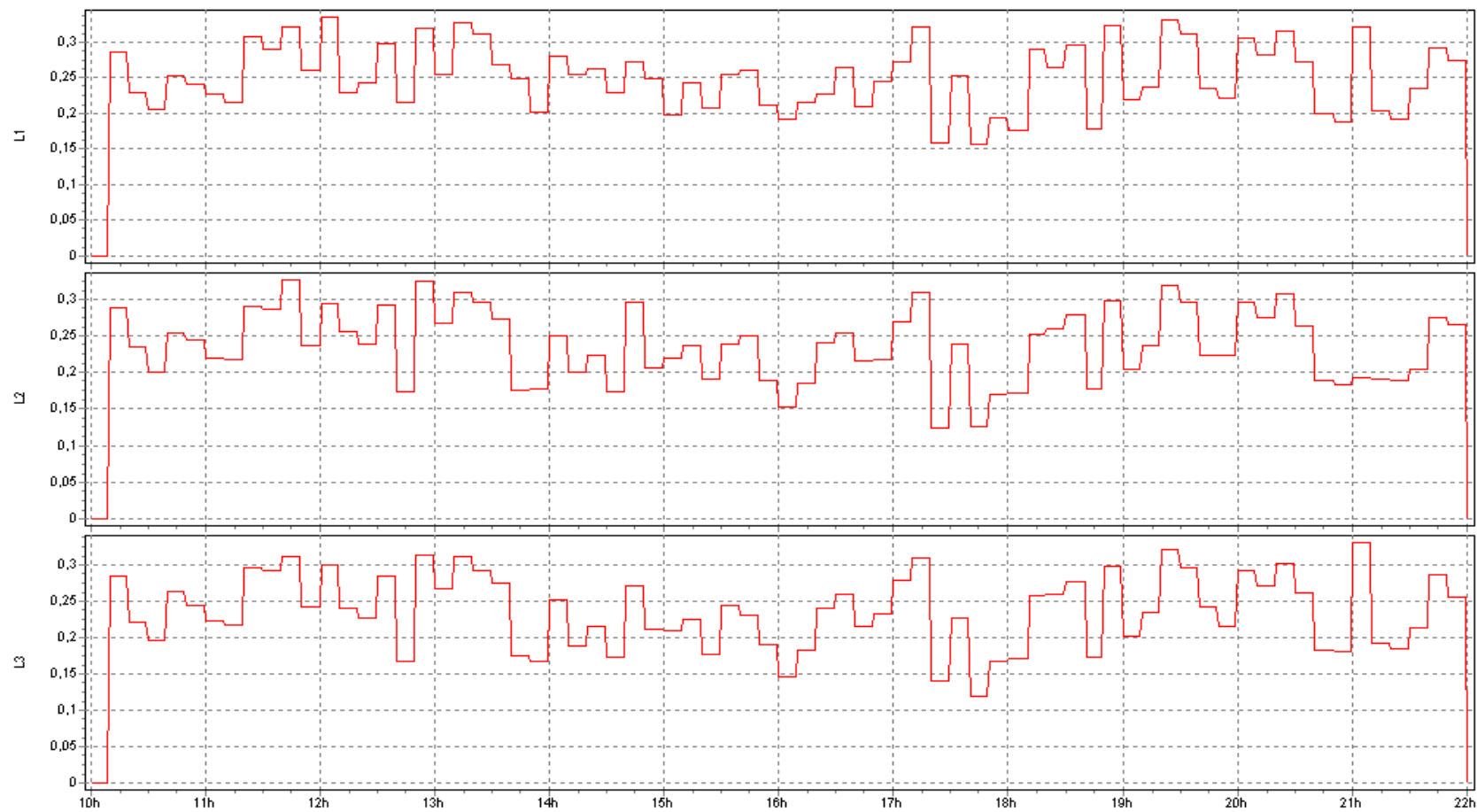
Gráfica 5.1.70 Distorsión Armónica Total de Corriente en el Neutro

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



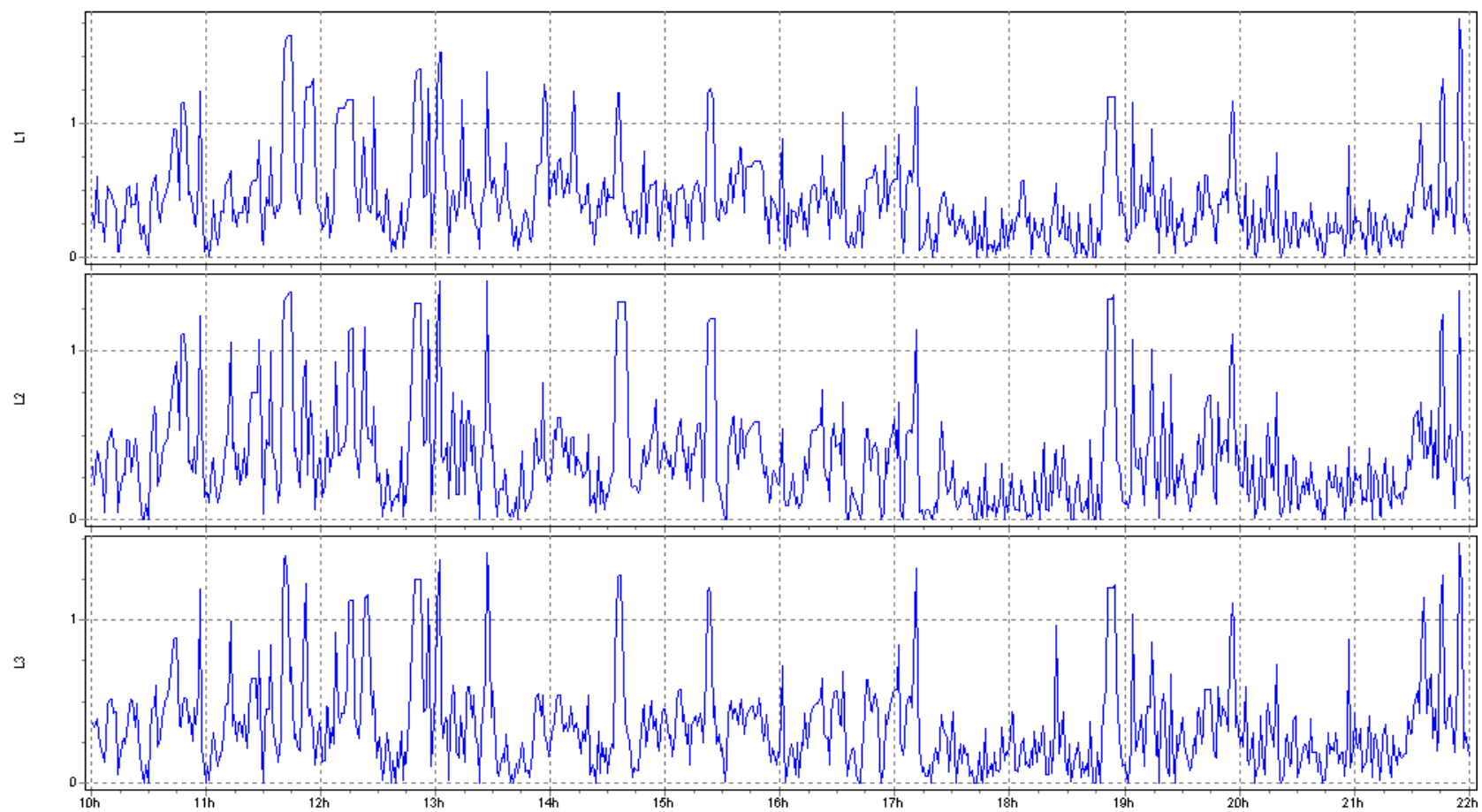
Gráfica 5.1.71 Distorsión Armónica Total de Potencia

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



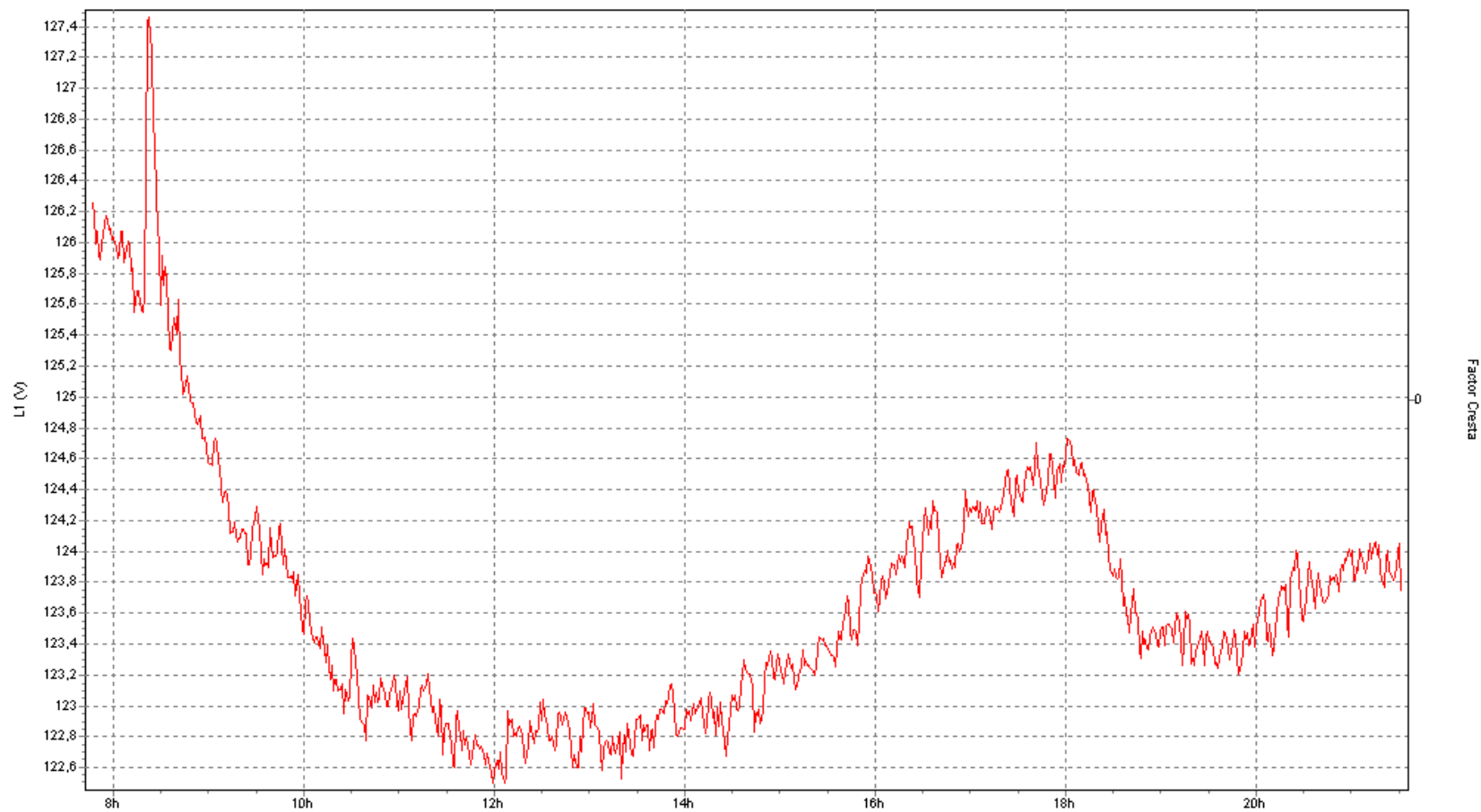
Gráfica 5.1.72 Perturbación de Corta Duración

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



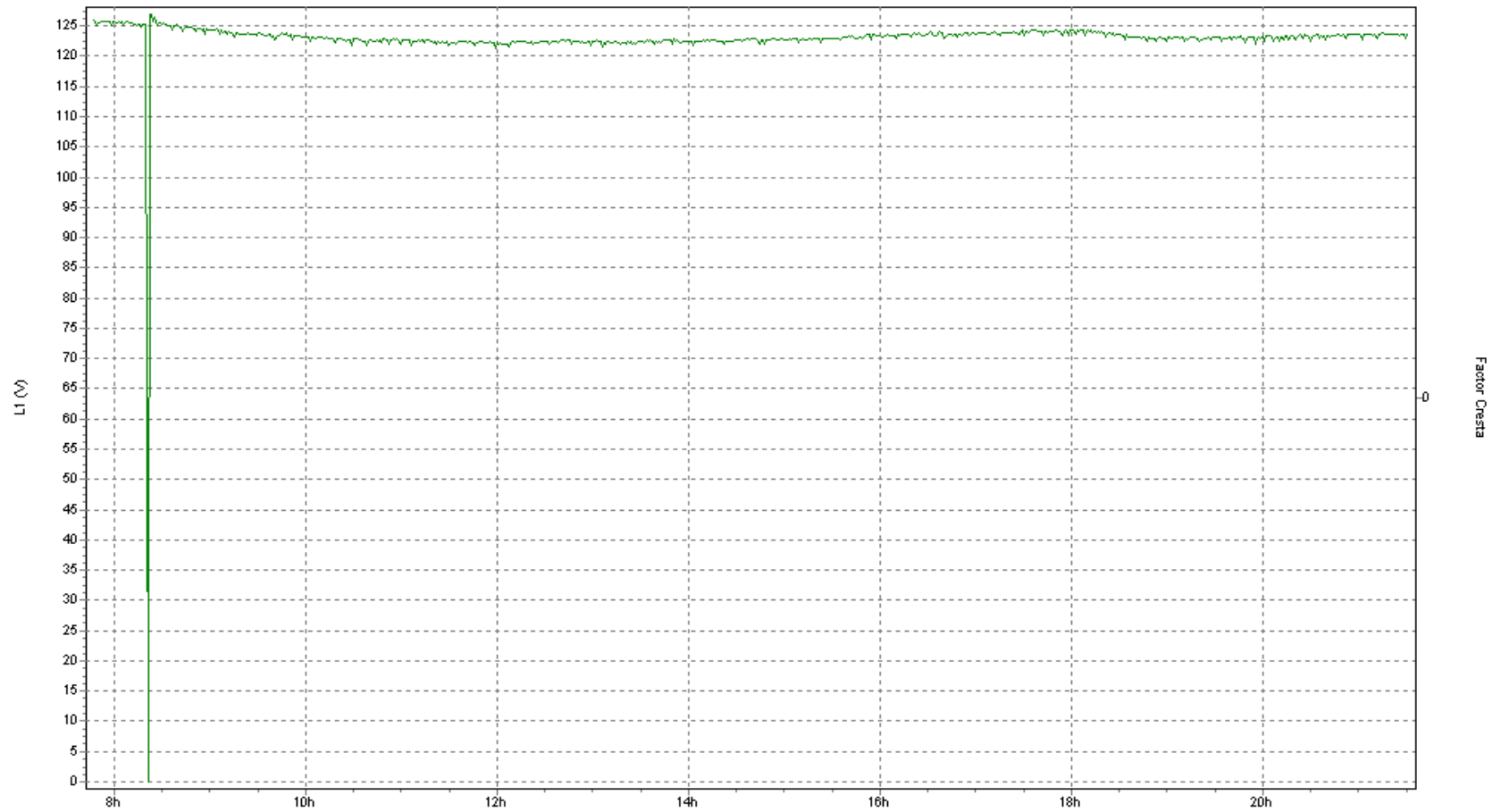
Gráfica 5.1.73 Perturbación de Larga Duración

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



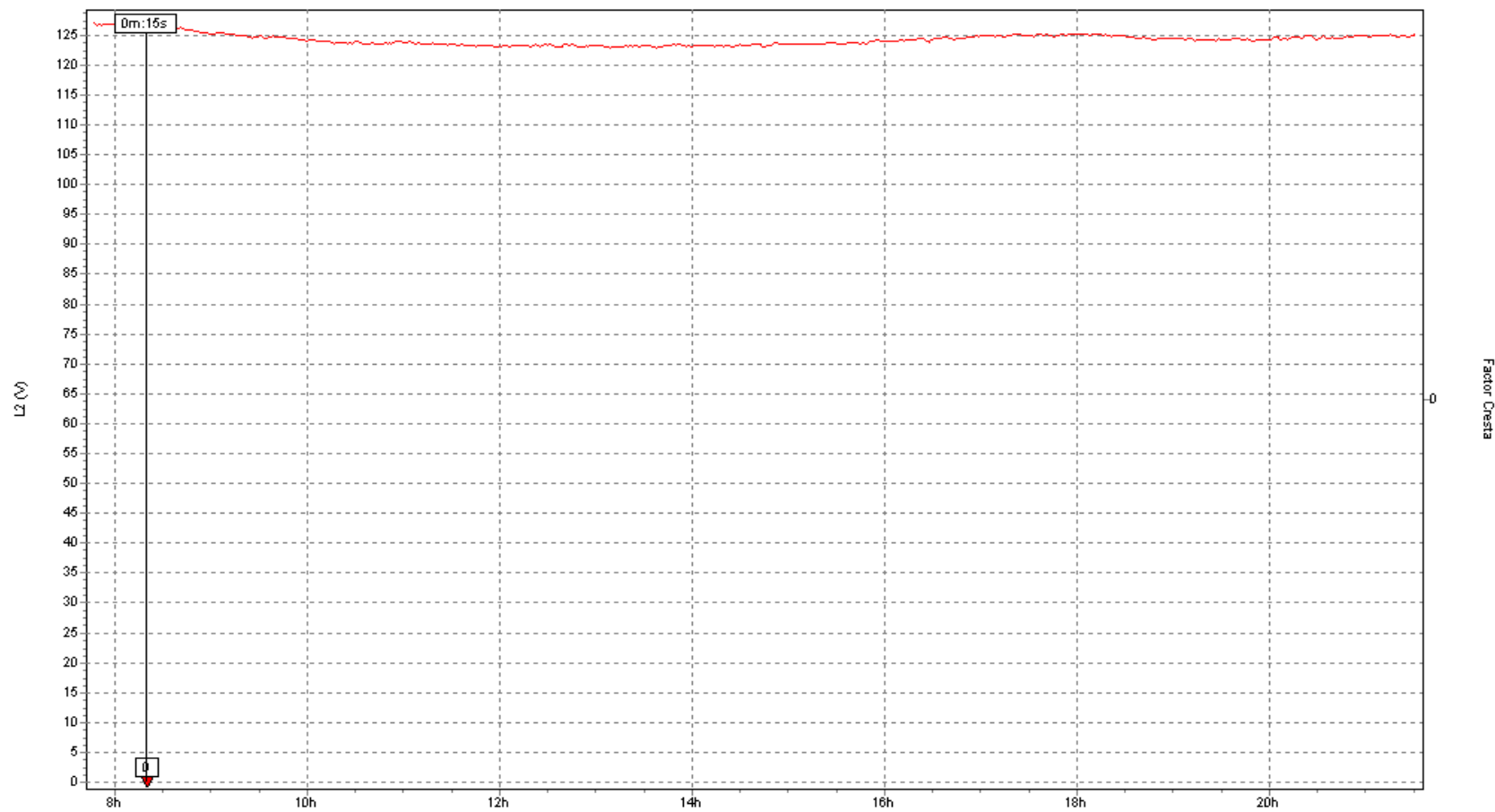
Gráfica 5.2.1 Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



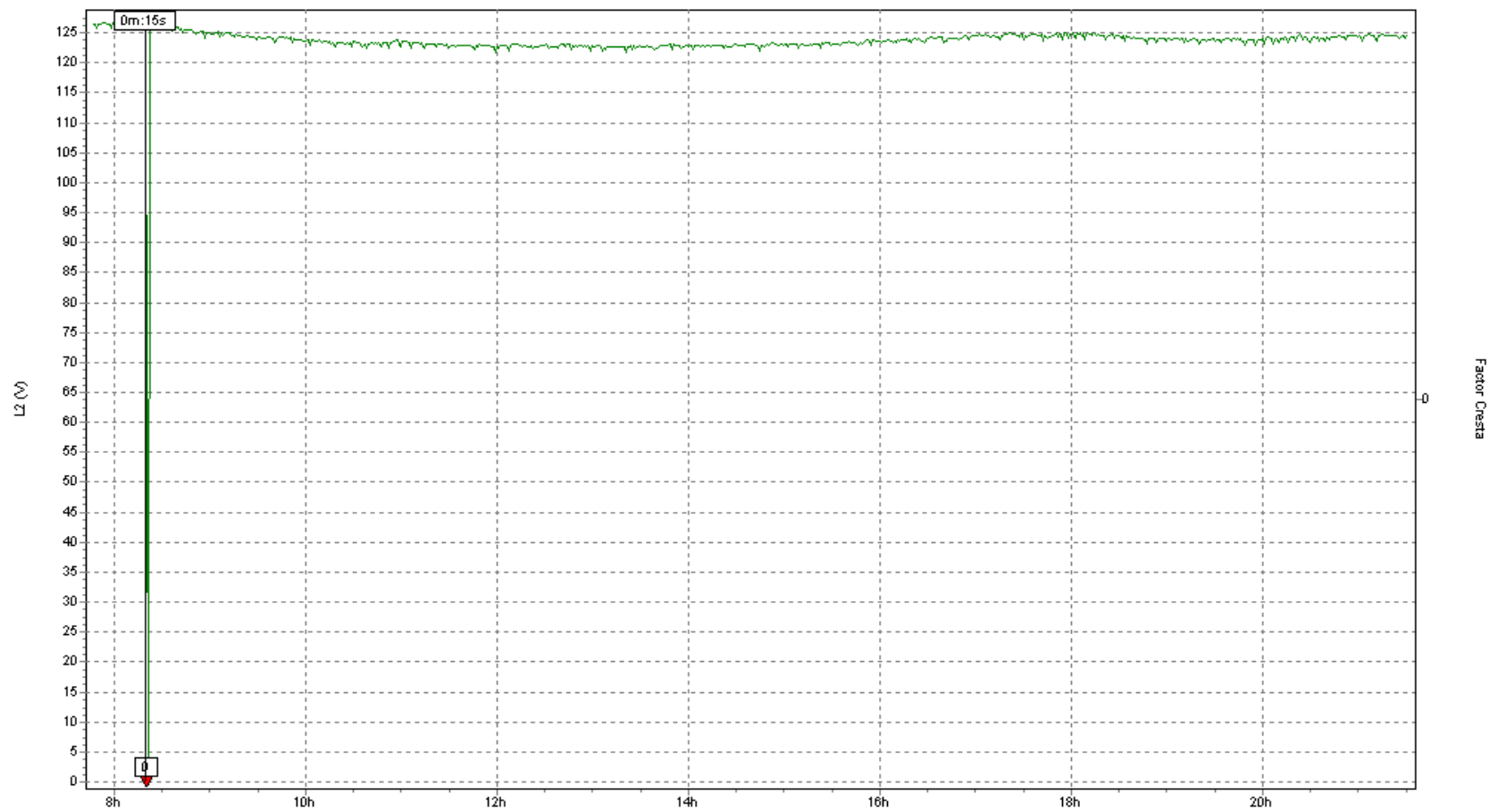
Gráfica 5.2.2 Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.3 Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Máximo

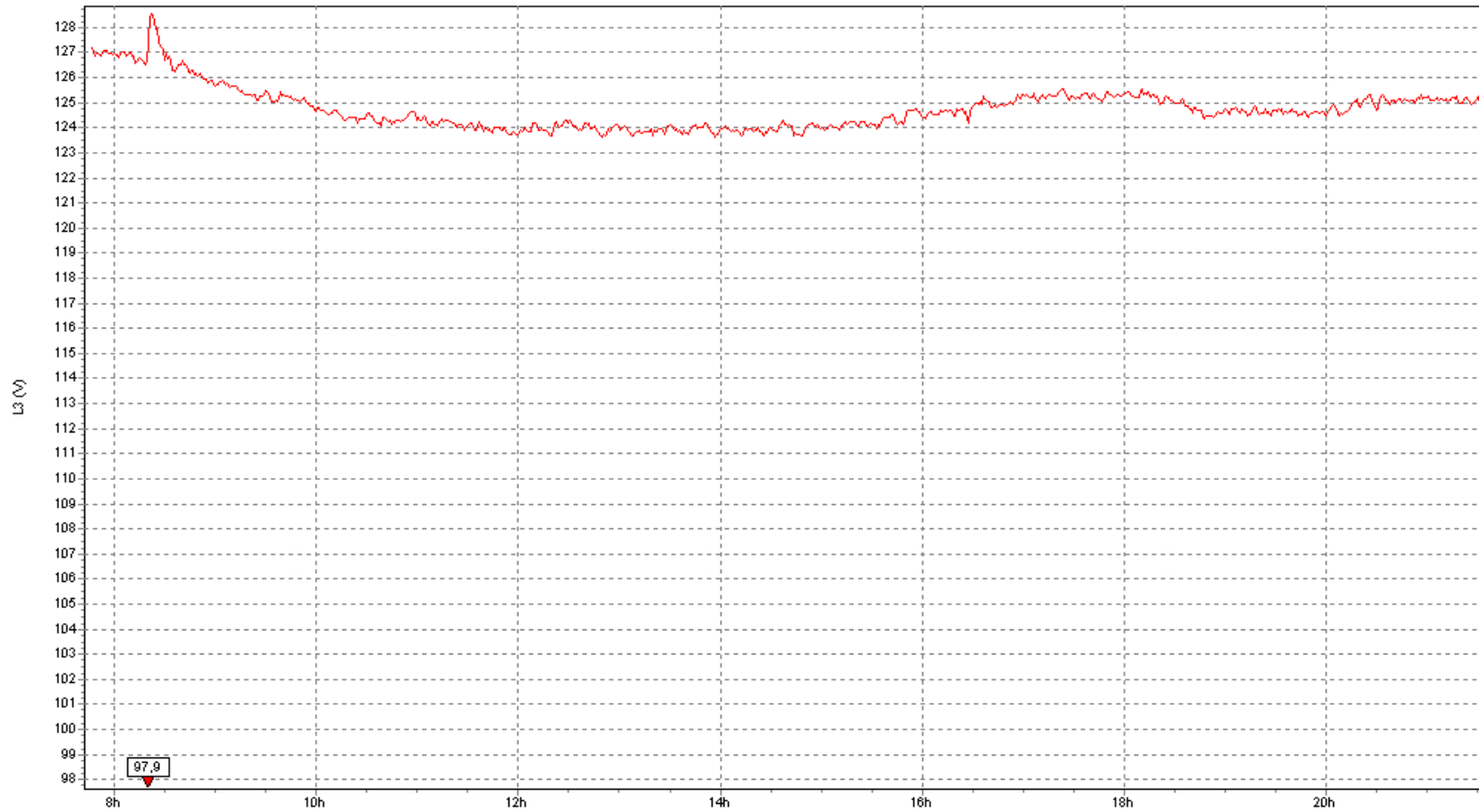
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.4 Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo

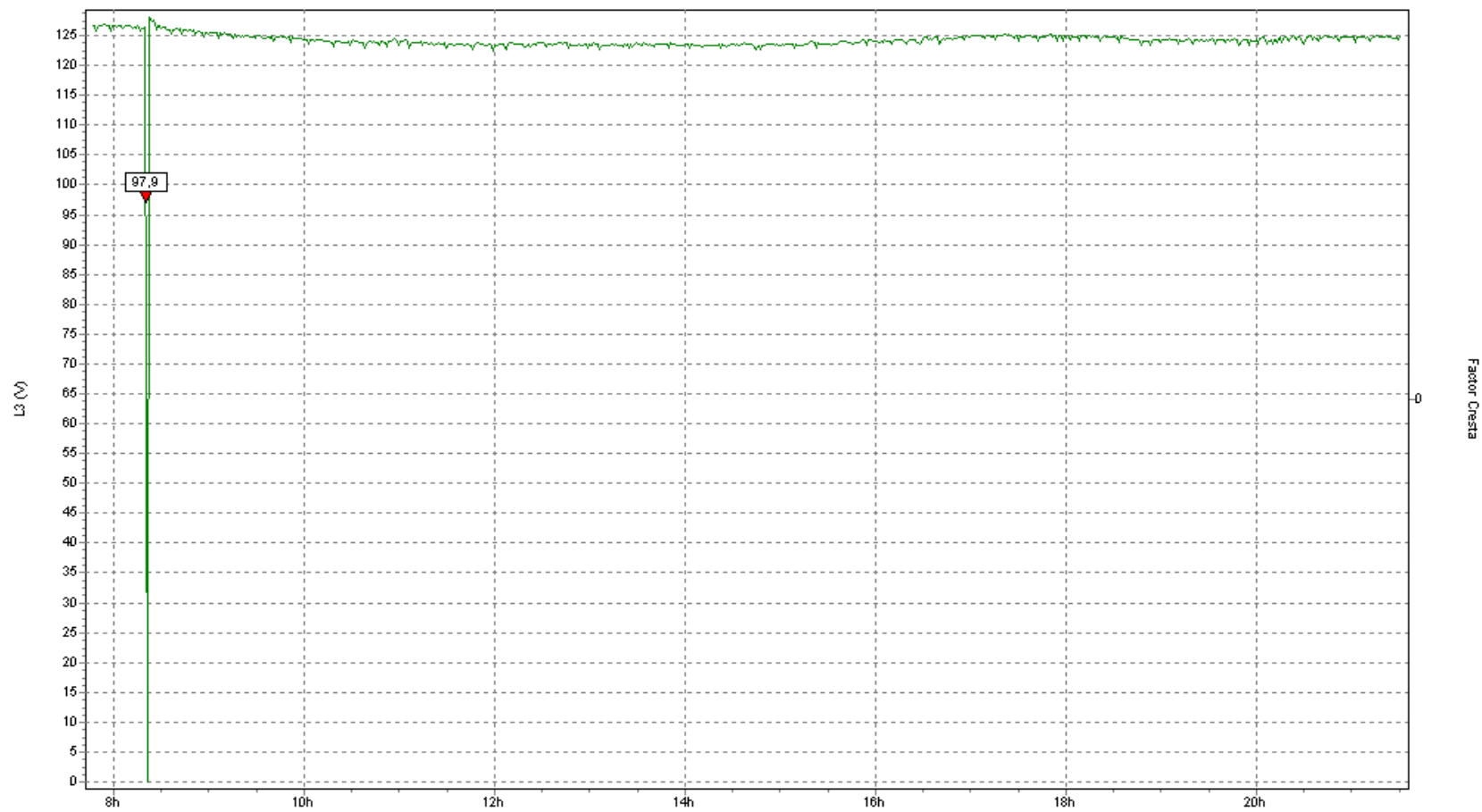
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





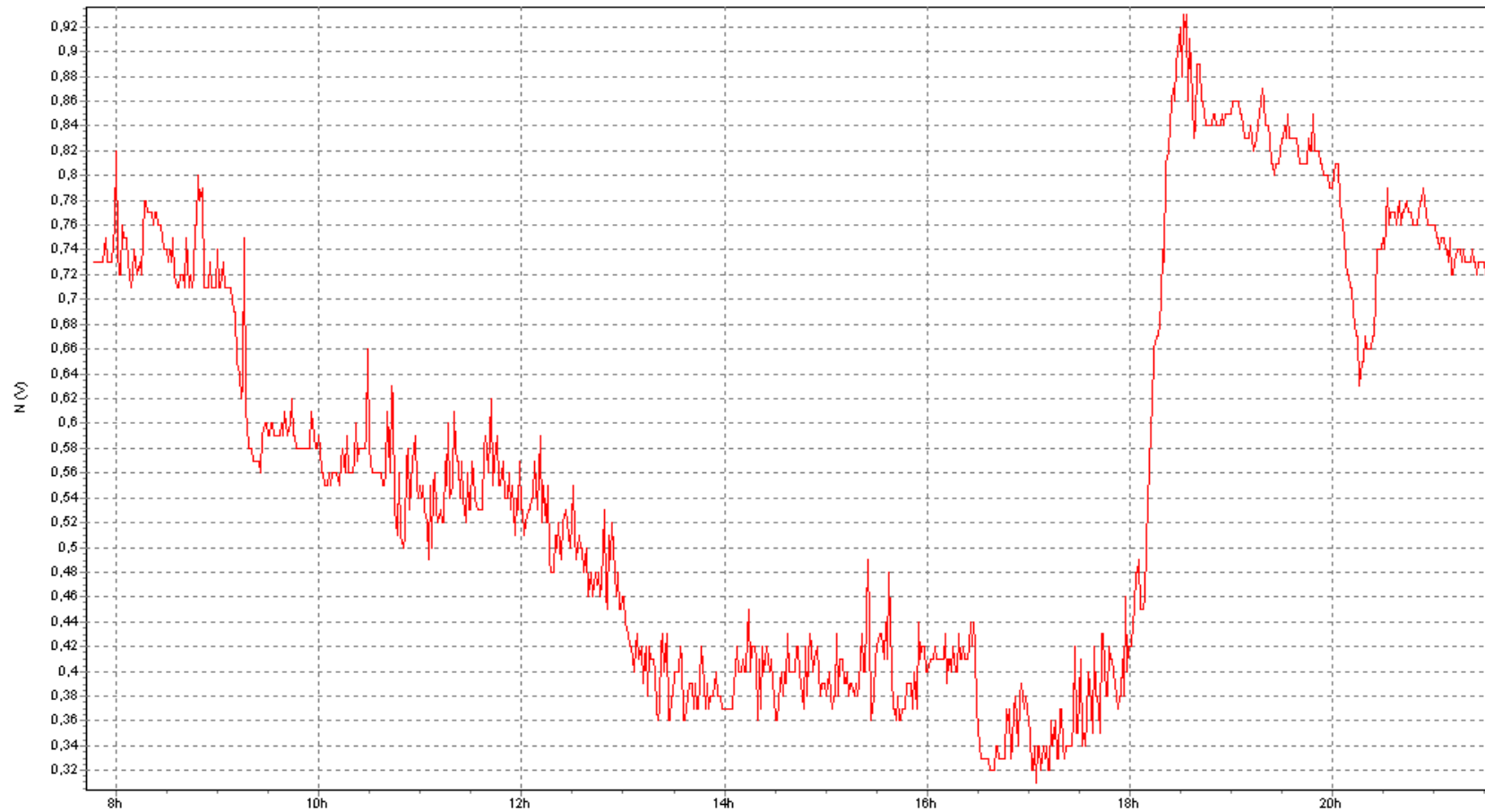
Gráfica 5.2.5 Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



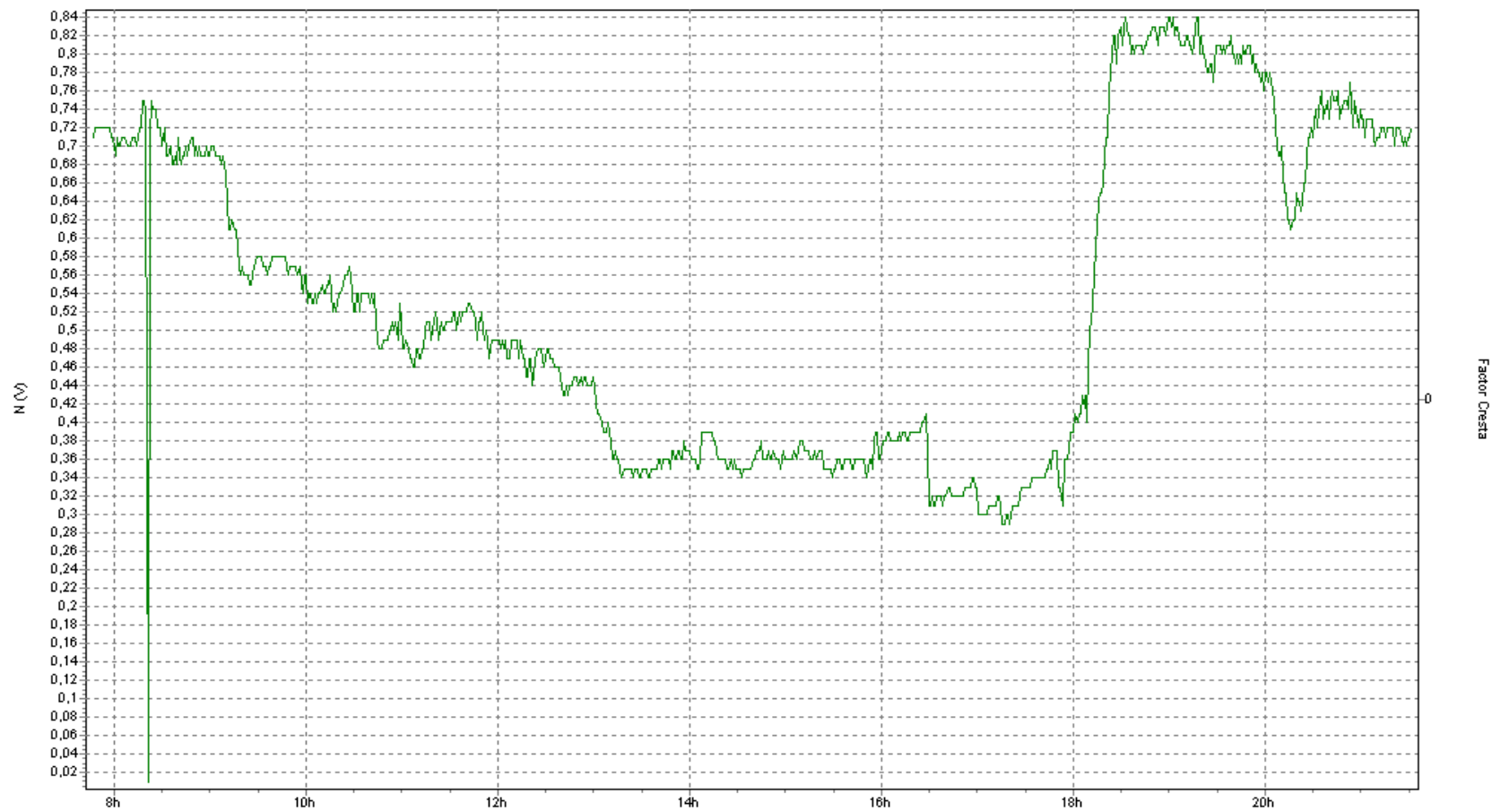
Gráfica 5.2.6 Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



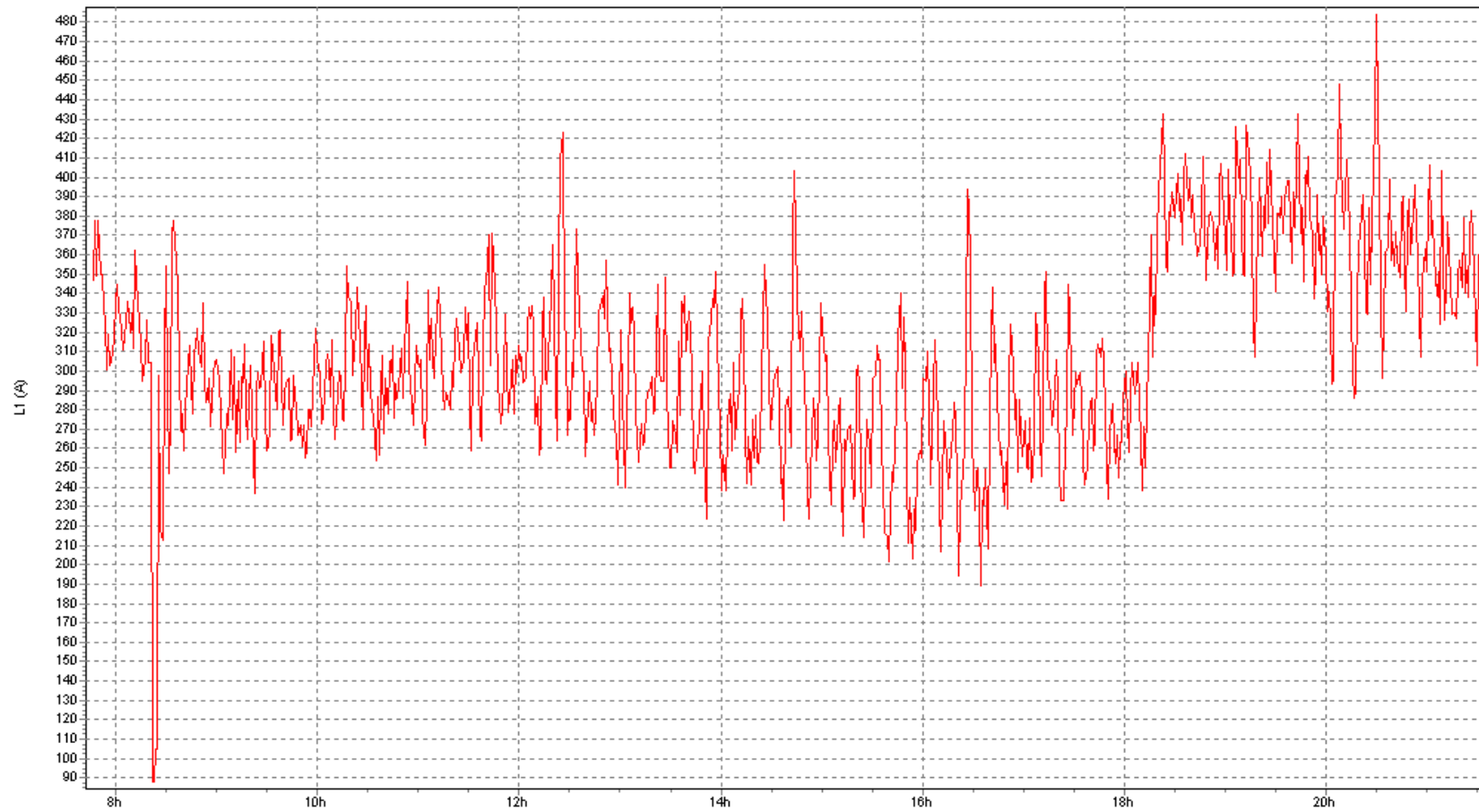
Gráfica 5.2.7 Voltaje RMS en el Neutro – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.8 Voltaje RMS en el Neutro – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



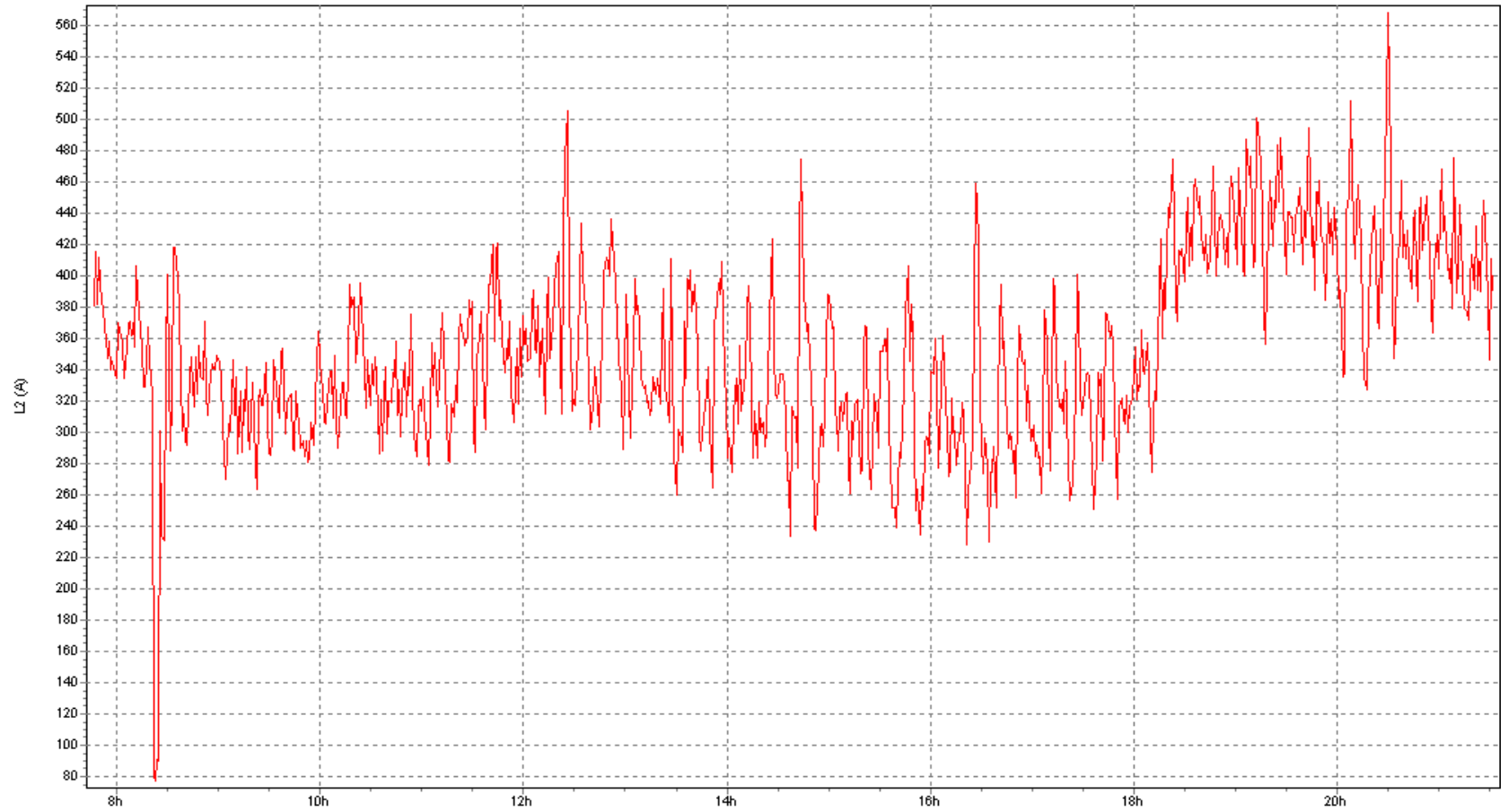
Gráfica 5.2.9 Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.10 Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.11 Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Máximo

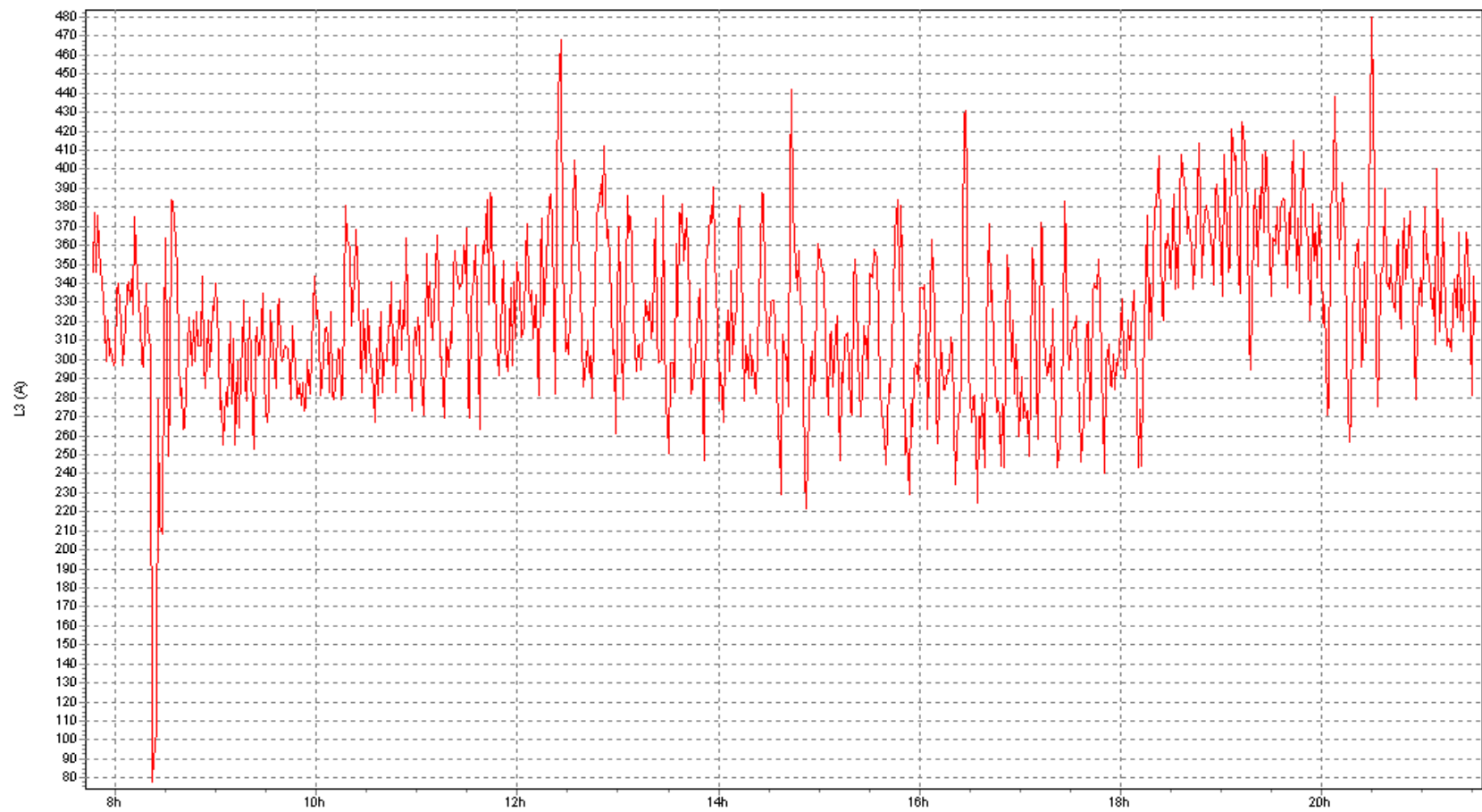
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.12 Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo

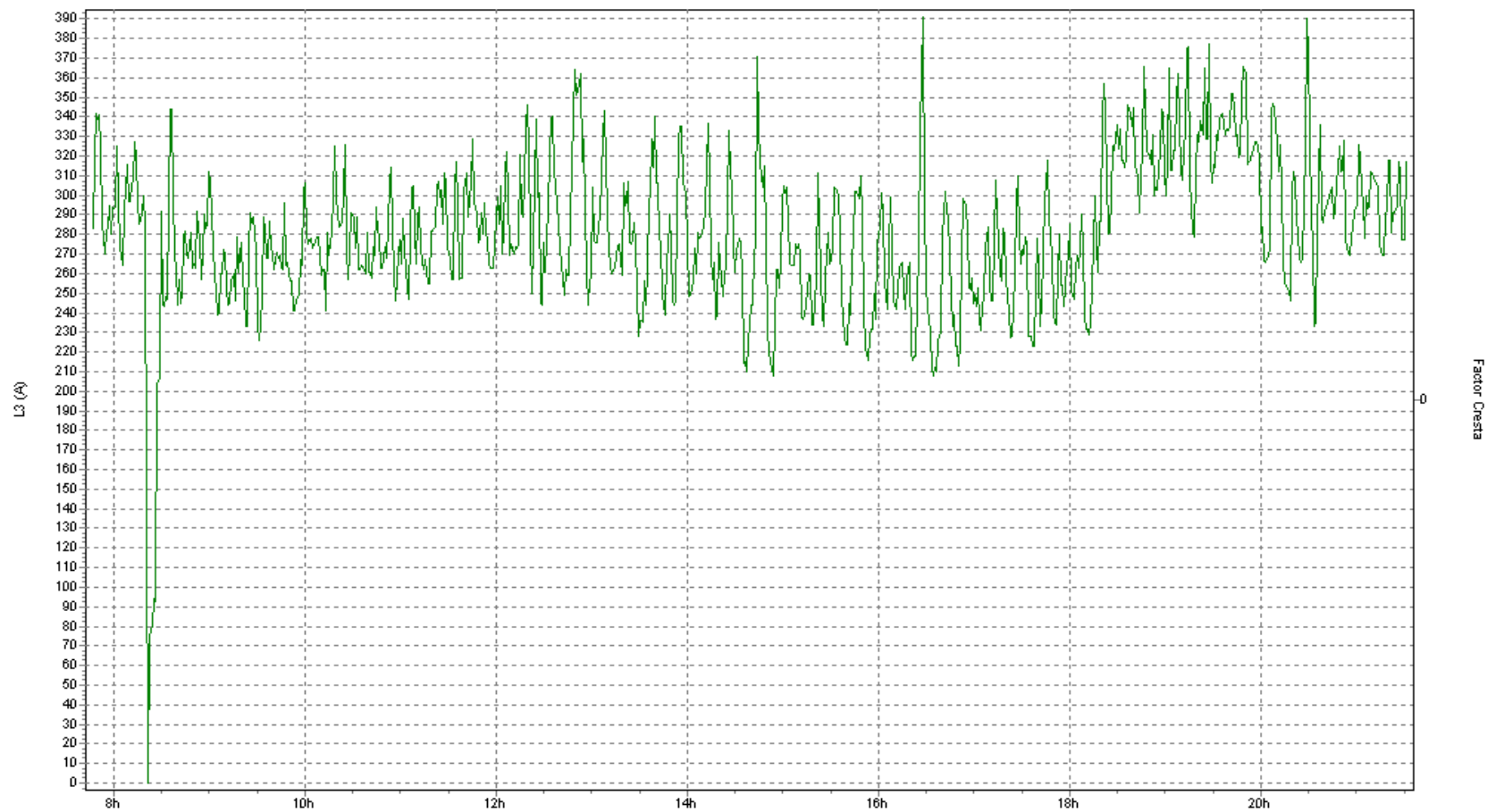
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





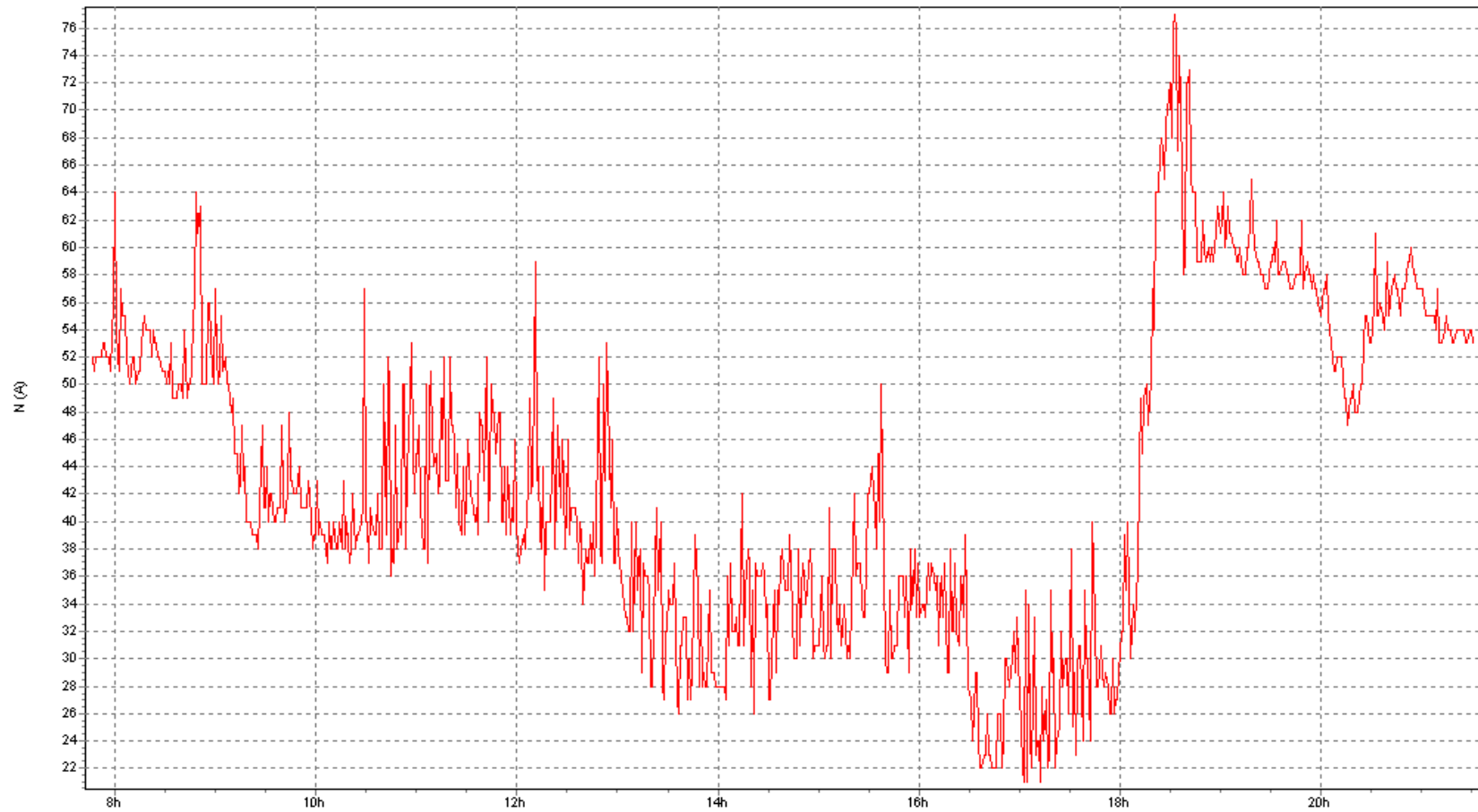
Gráfica 5.2.13 Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.14 Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



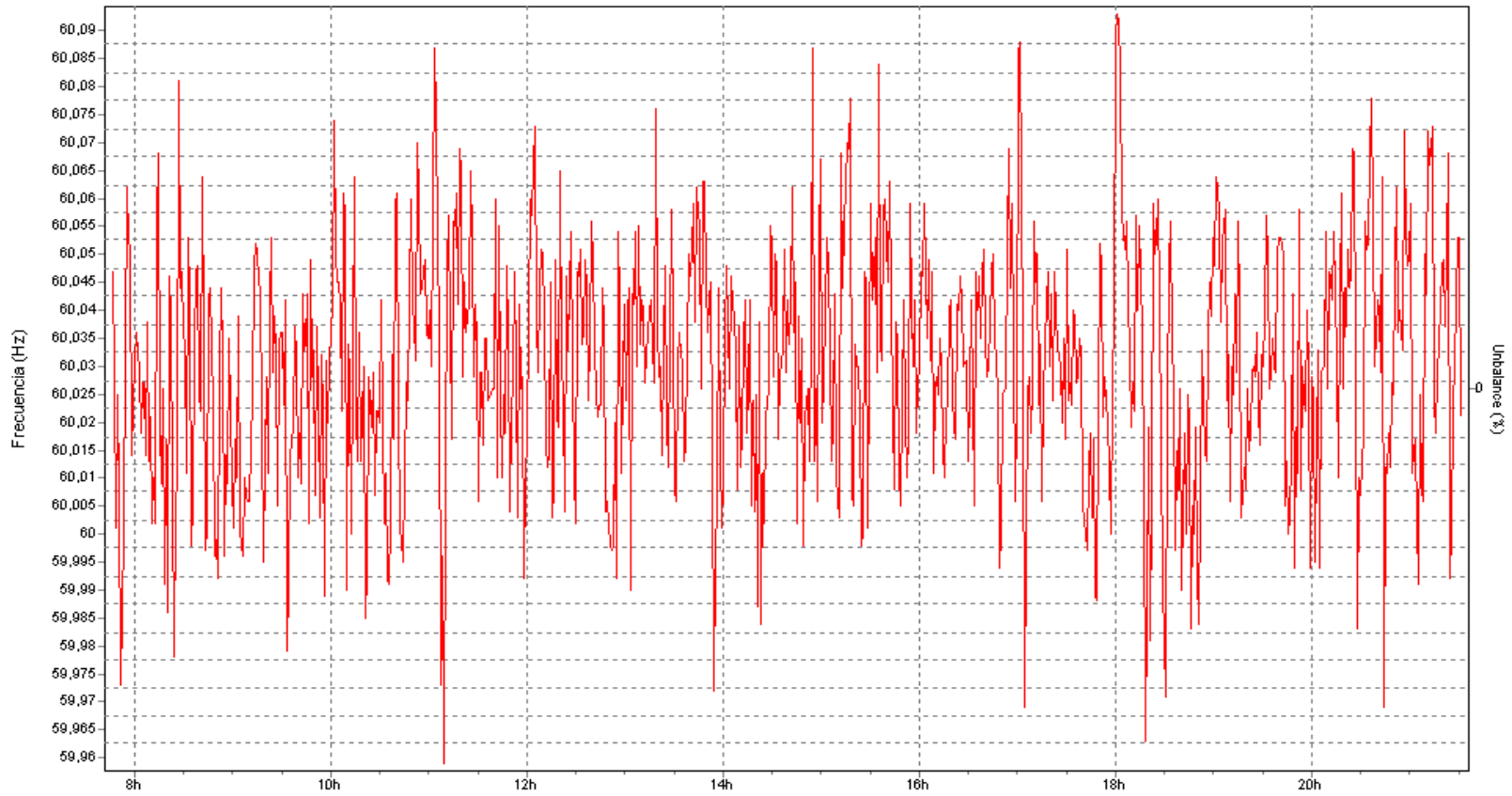
Gráfica 5.2.15 Corriente RMS en el Neutro – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



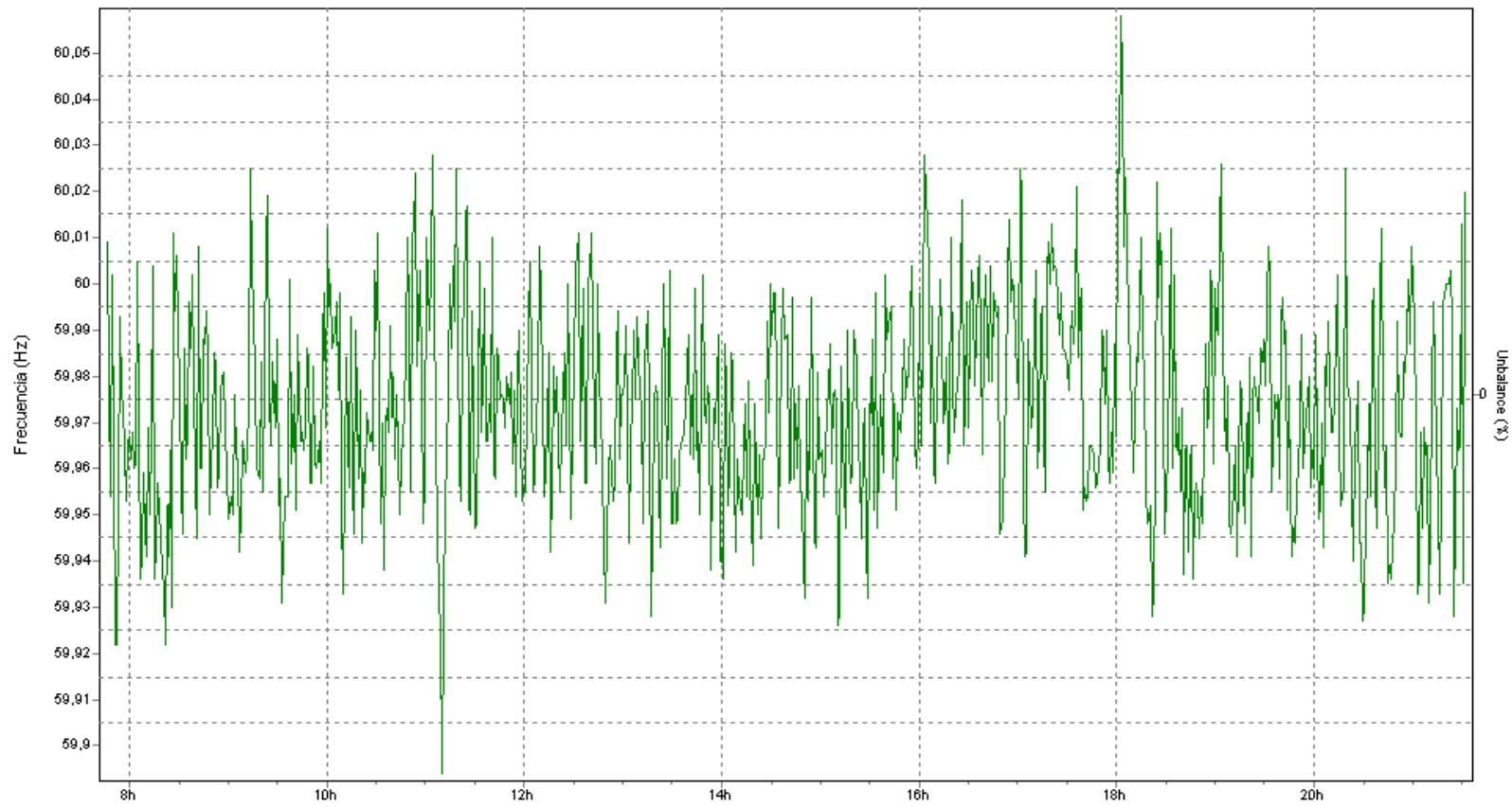
Gráfica 5.2.16 Corriente RMS en el Neutro – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



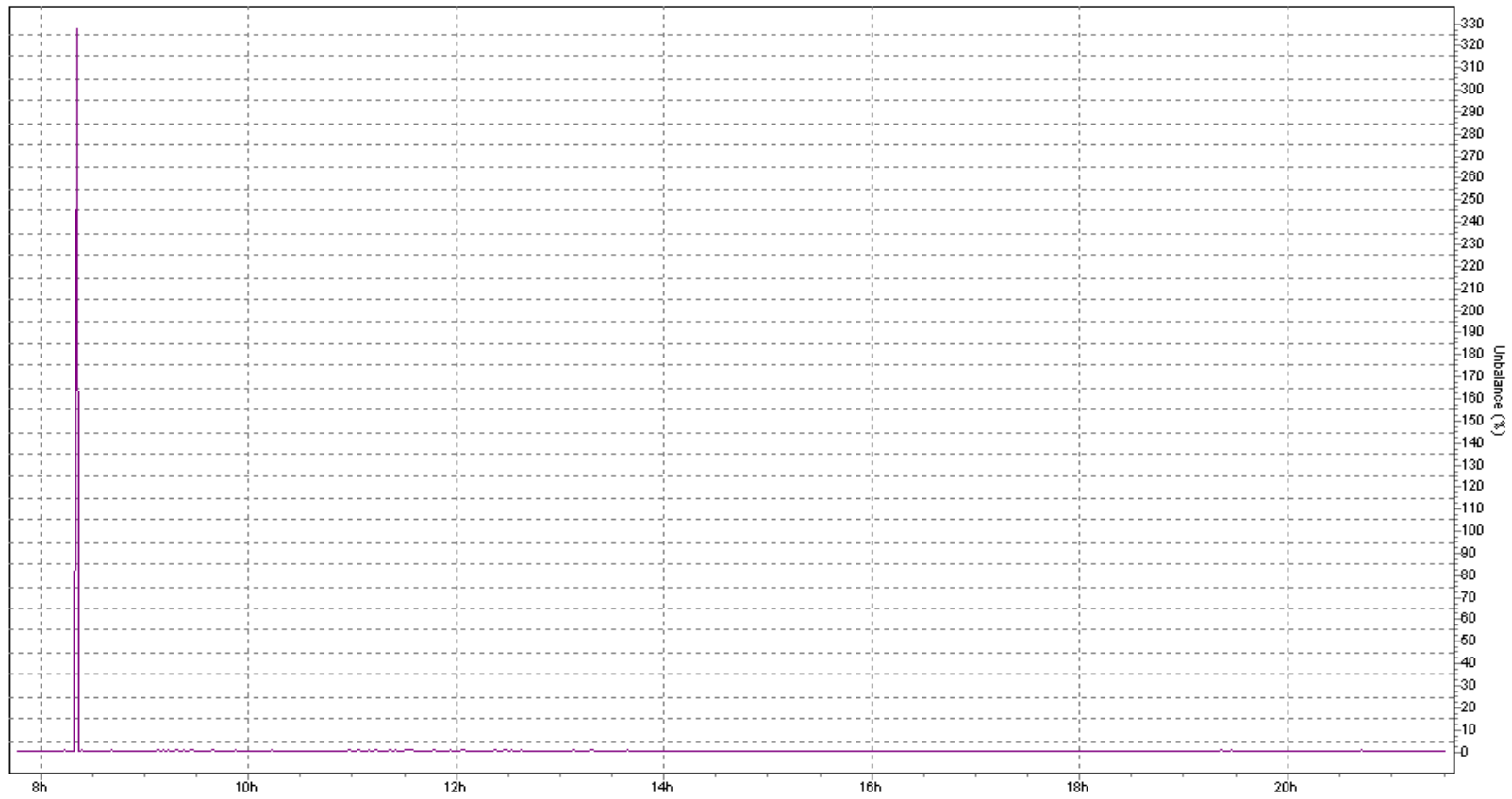
Gráfica 5.2.17 Frecuencia del Sistema – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



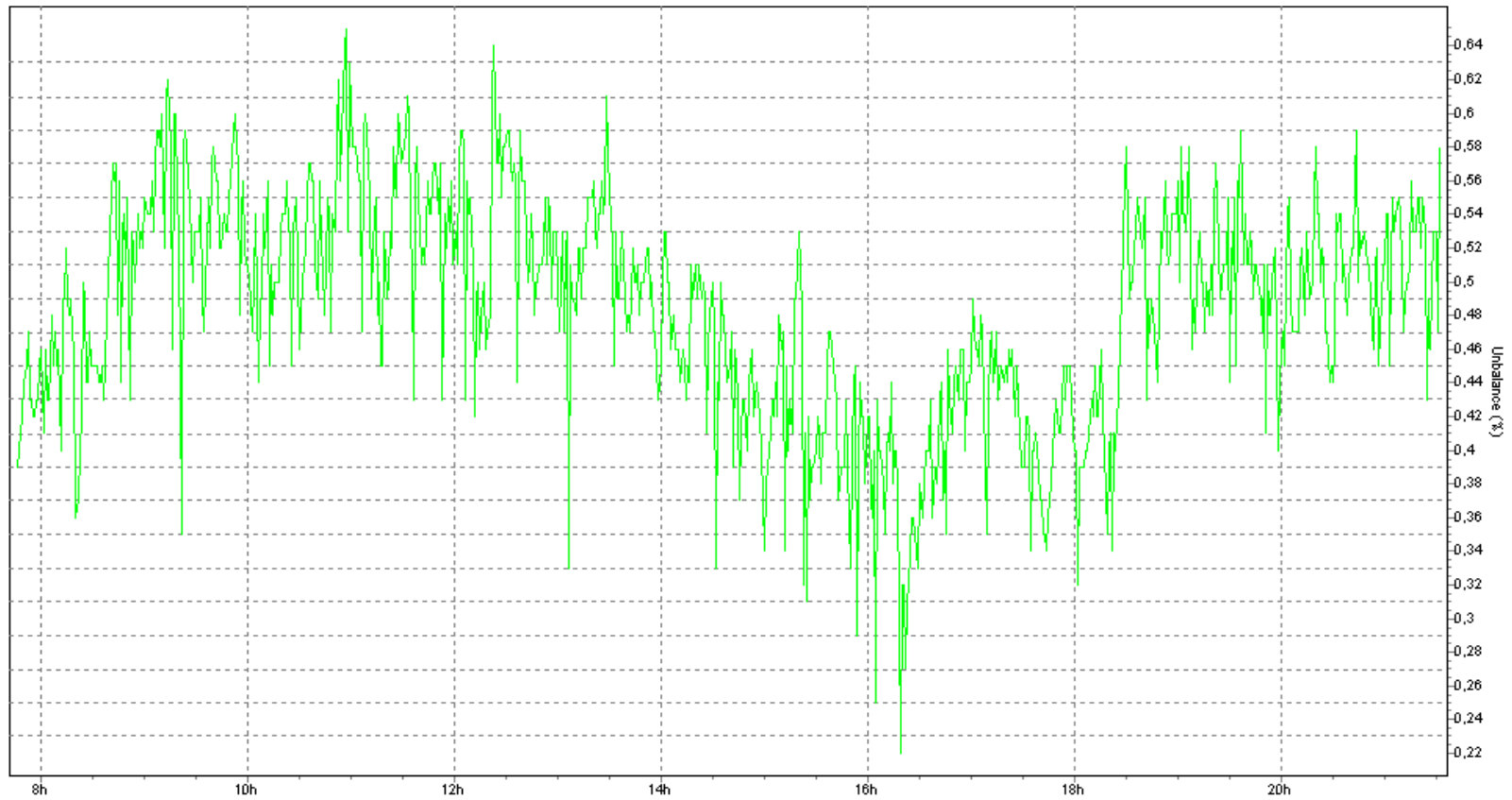
Gráfica 5.2.18 Frecuencia del Sistema – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.19 Desbalance de Voltaje – Valor Máximo

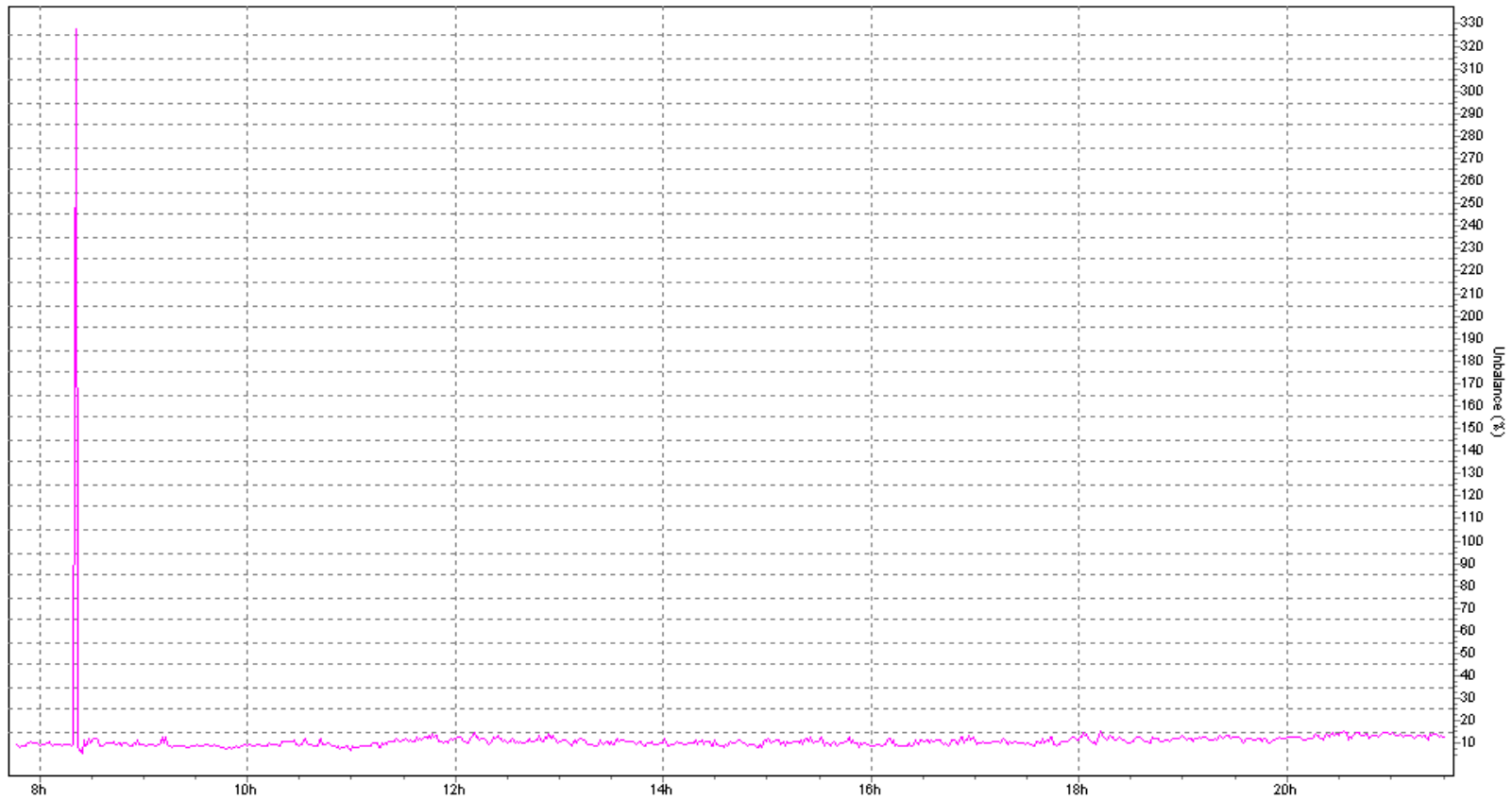
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.20 Desbalance de Voltaje – Valor Mínimo

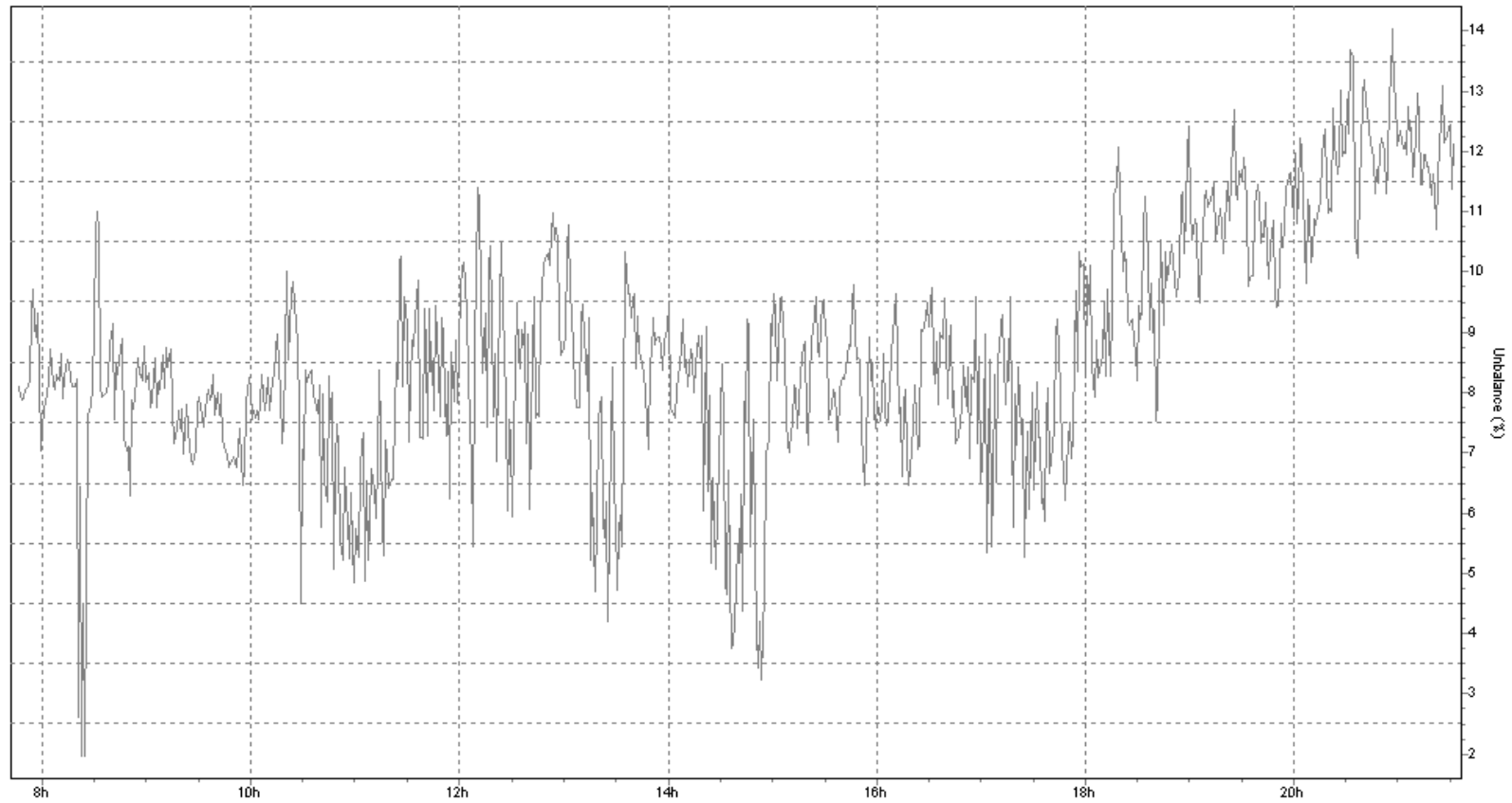
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





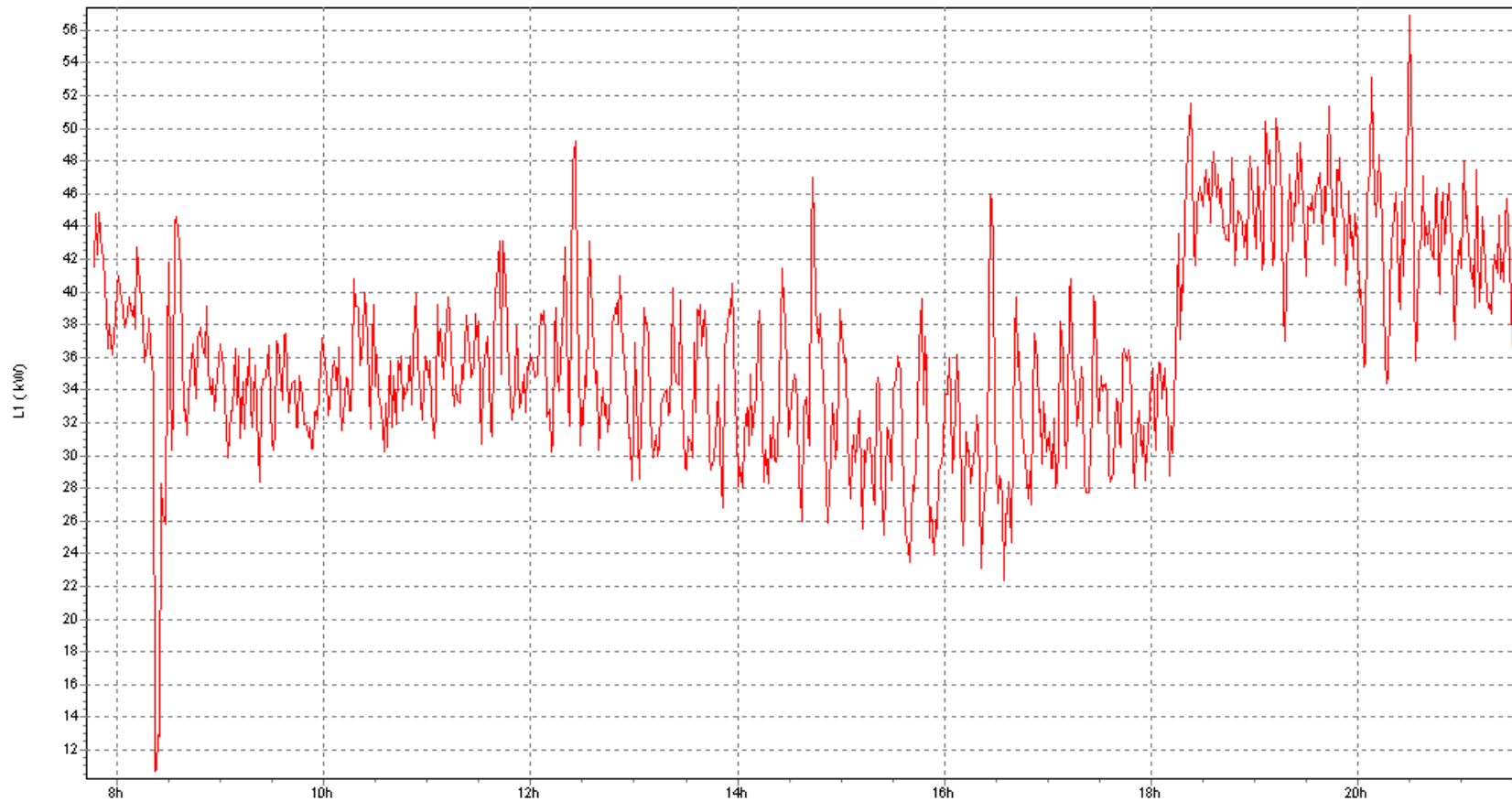
Gráfica 5.2.21 Desbalance de Corriente – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



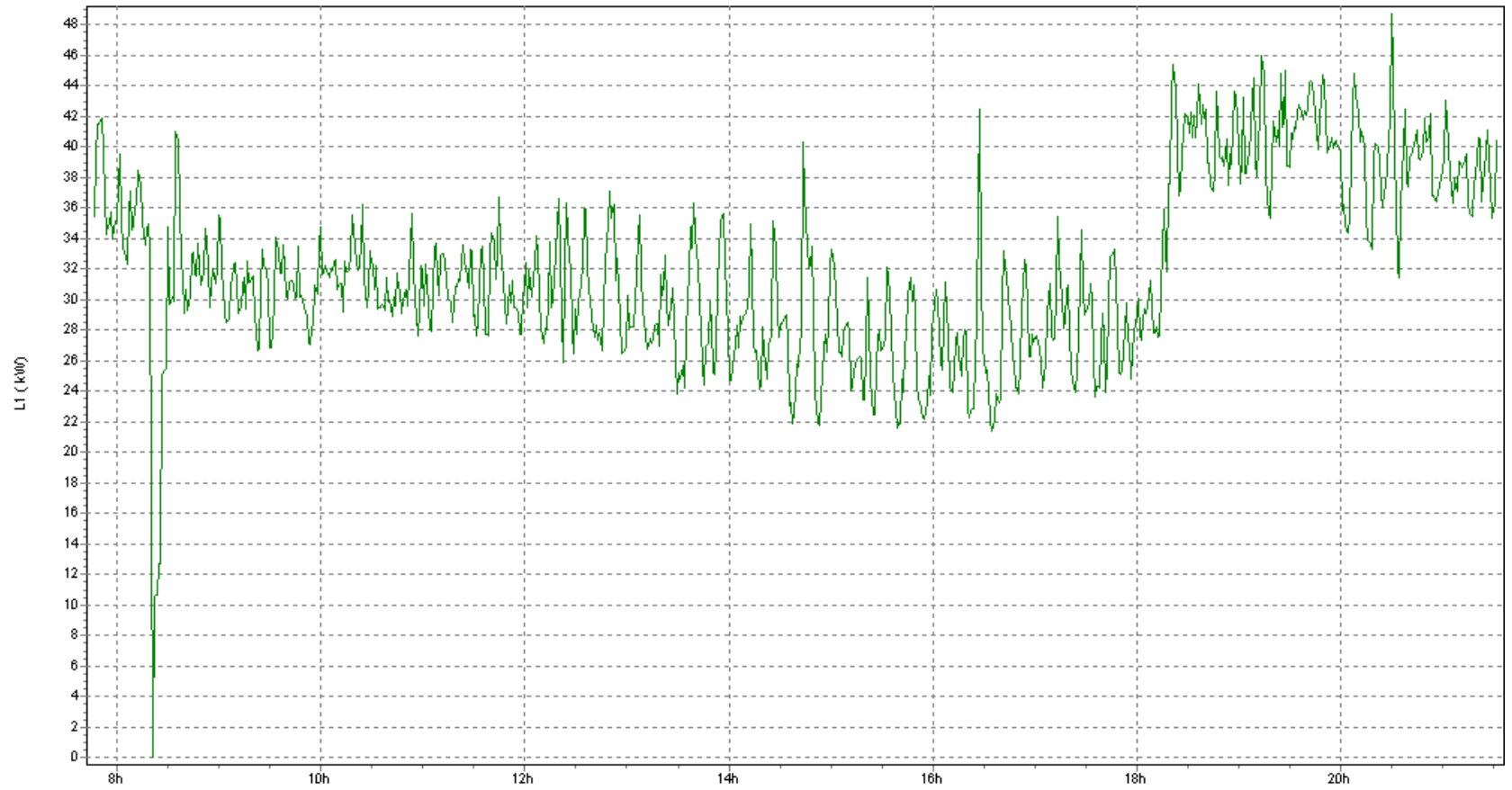
Gráfica 5.2.22 Desbalance de Corriente – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



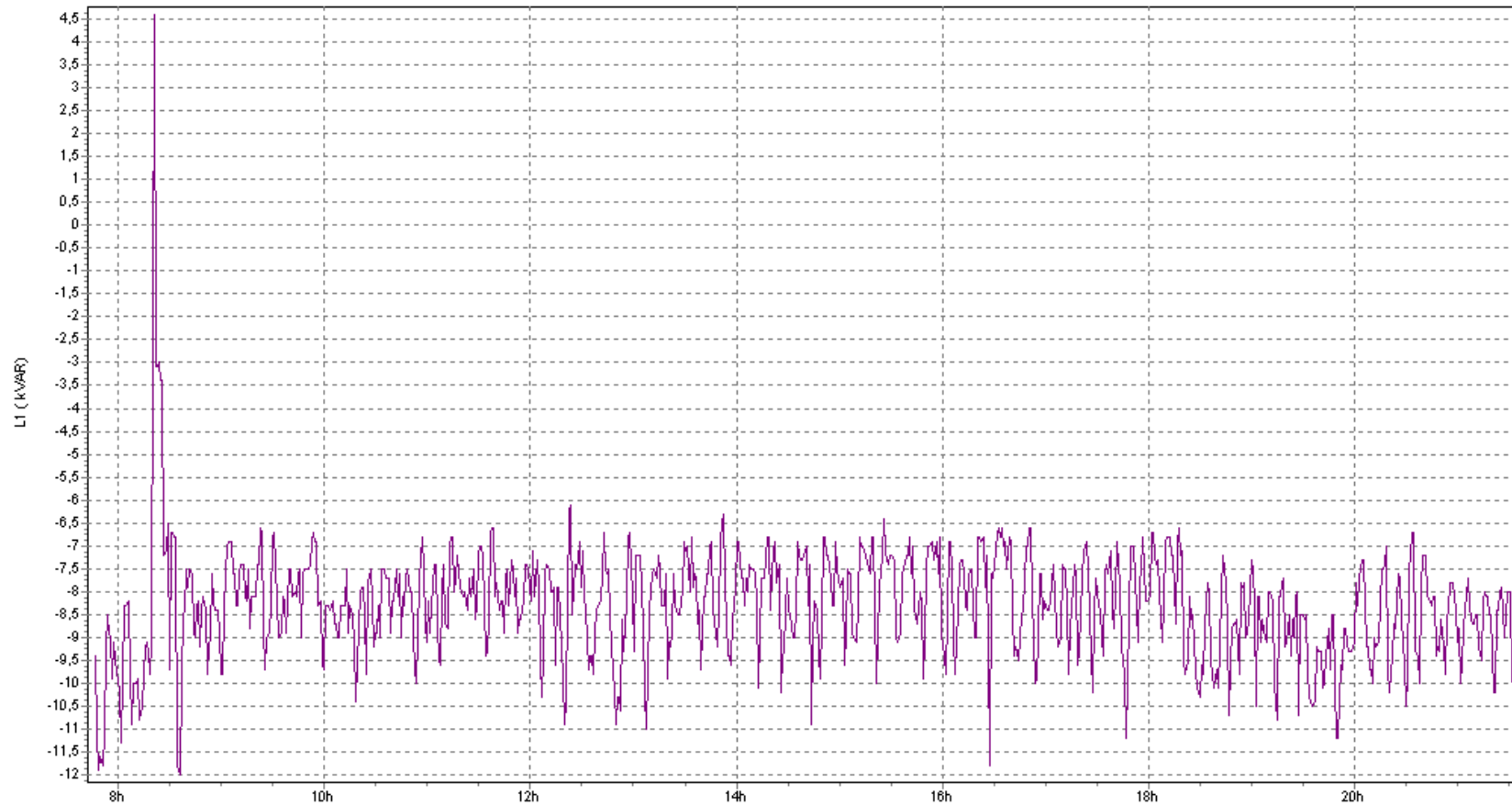
Gráfica 5.2.23 Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



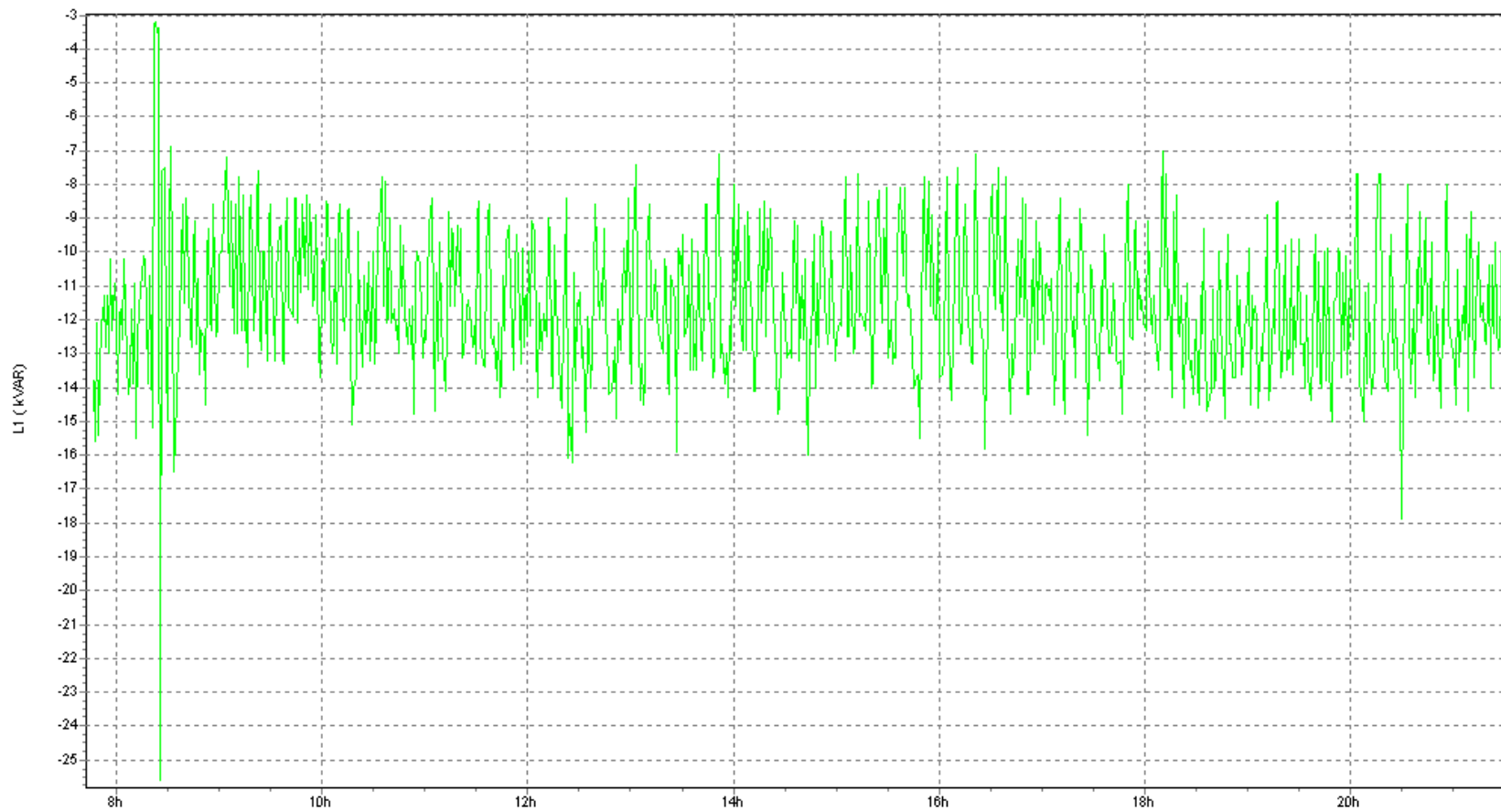
Gráfica 5.2.24 Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



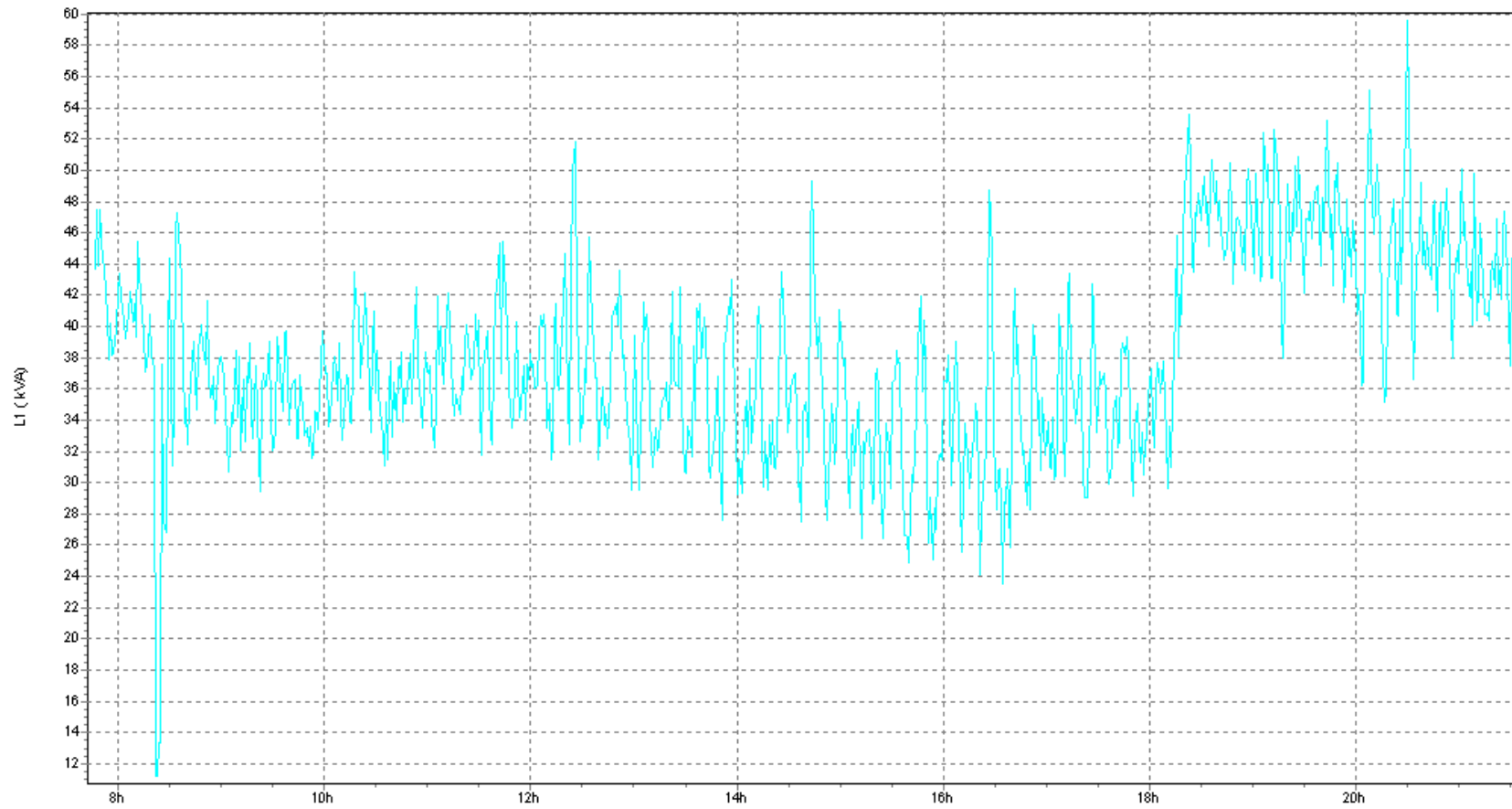
Gráfica 5.2.25 Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



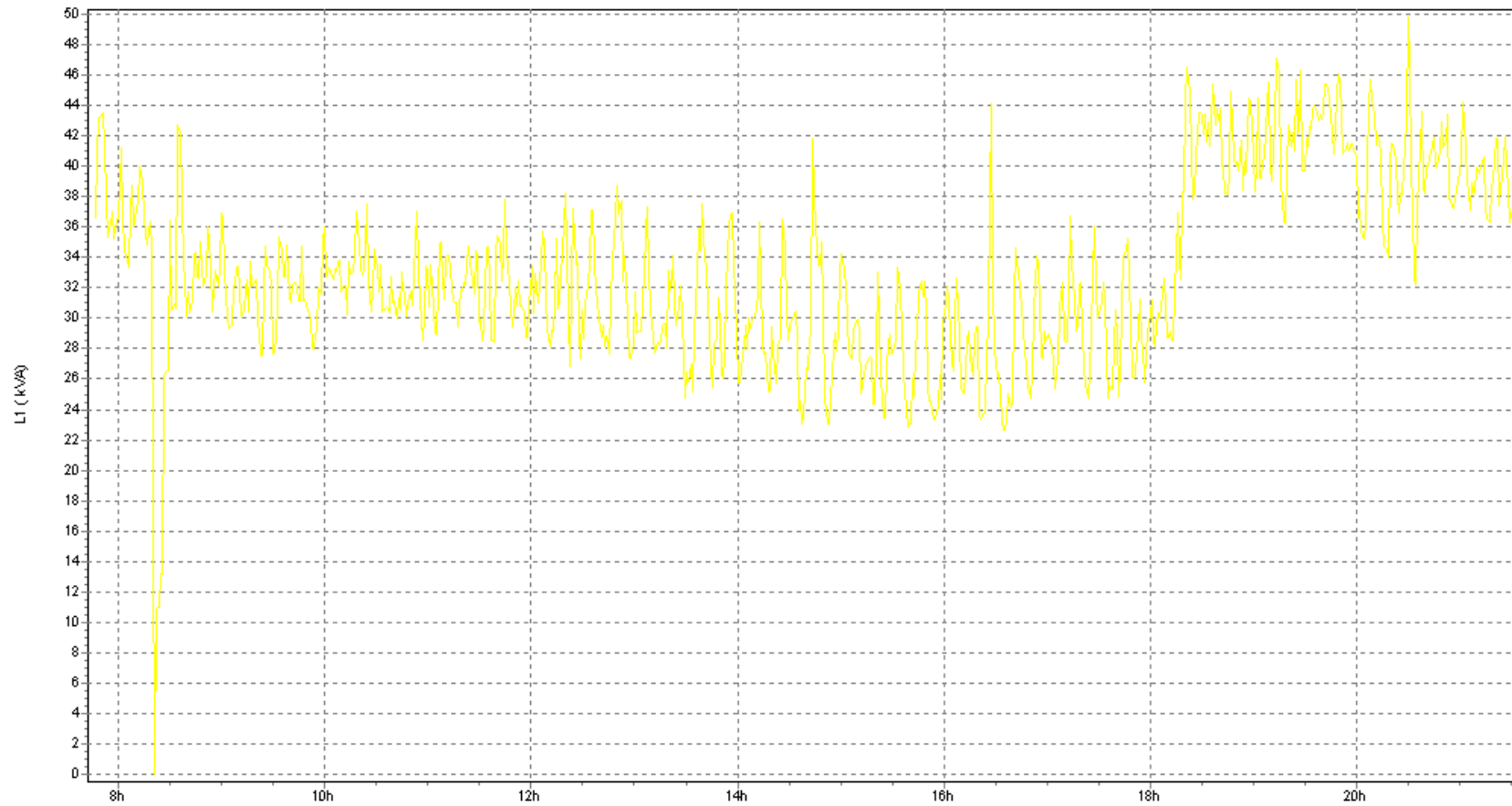
Gráfica 5.2.26 Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.27 Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Máximo

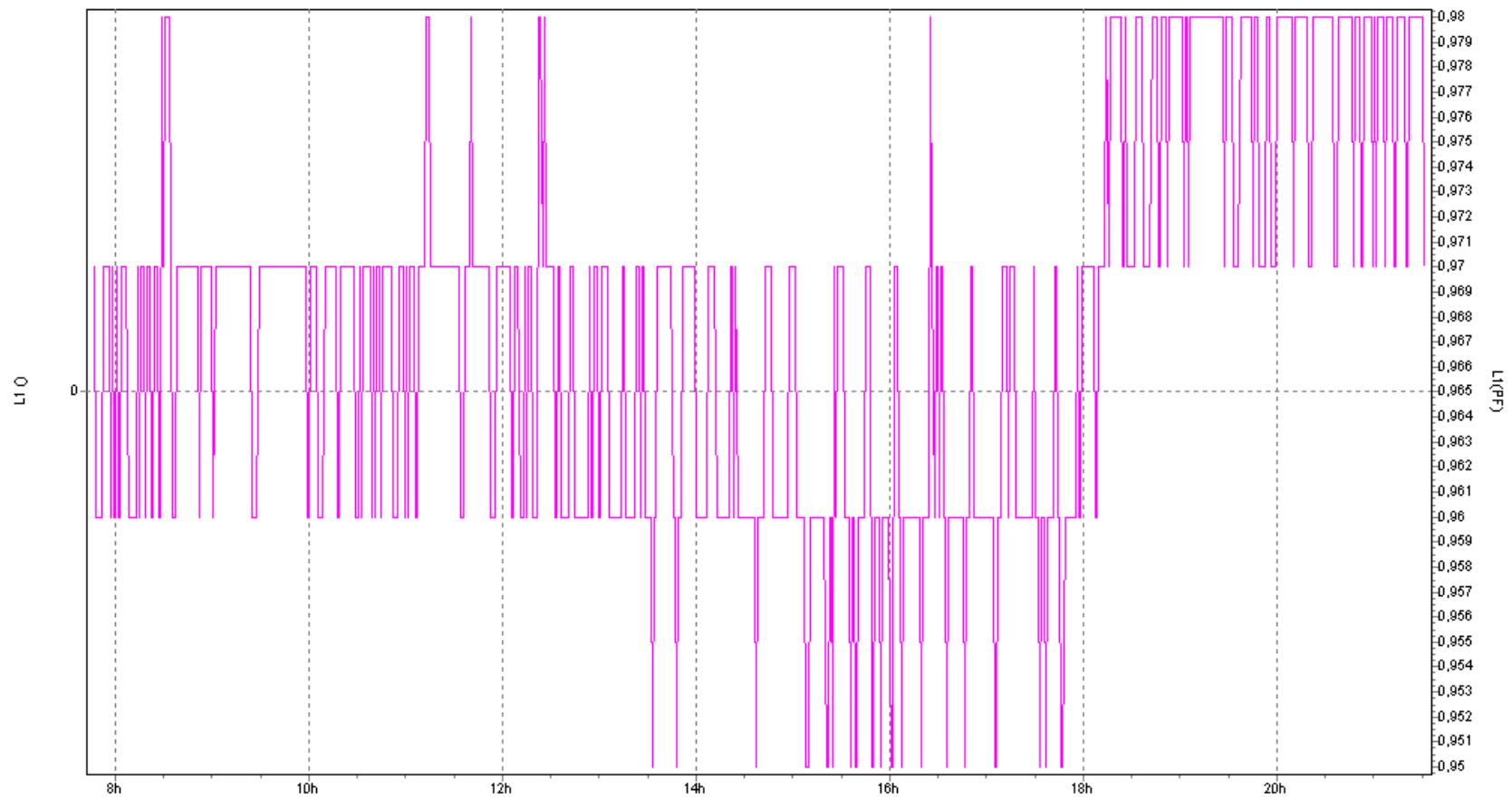
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.28 Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Mínimo

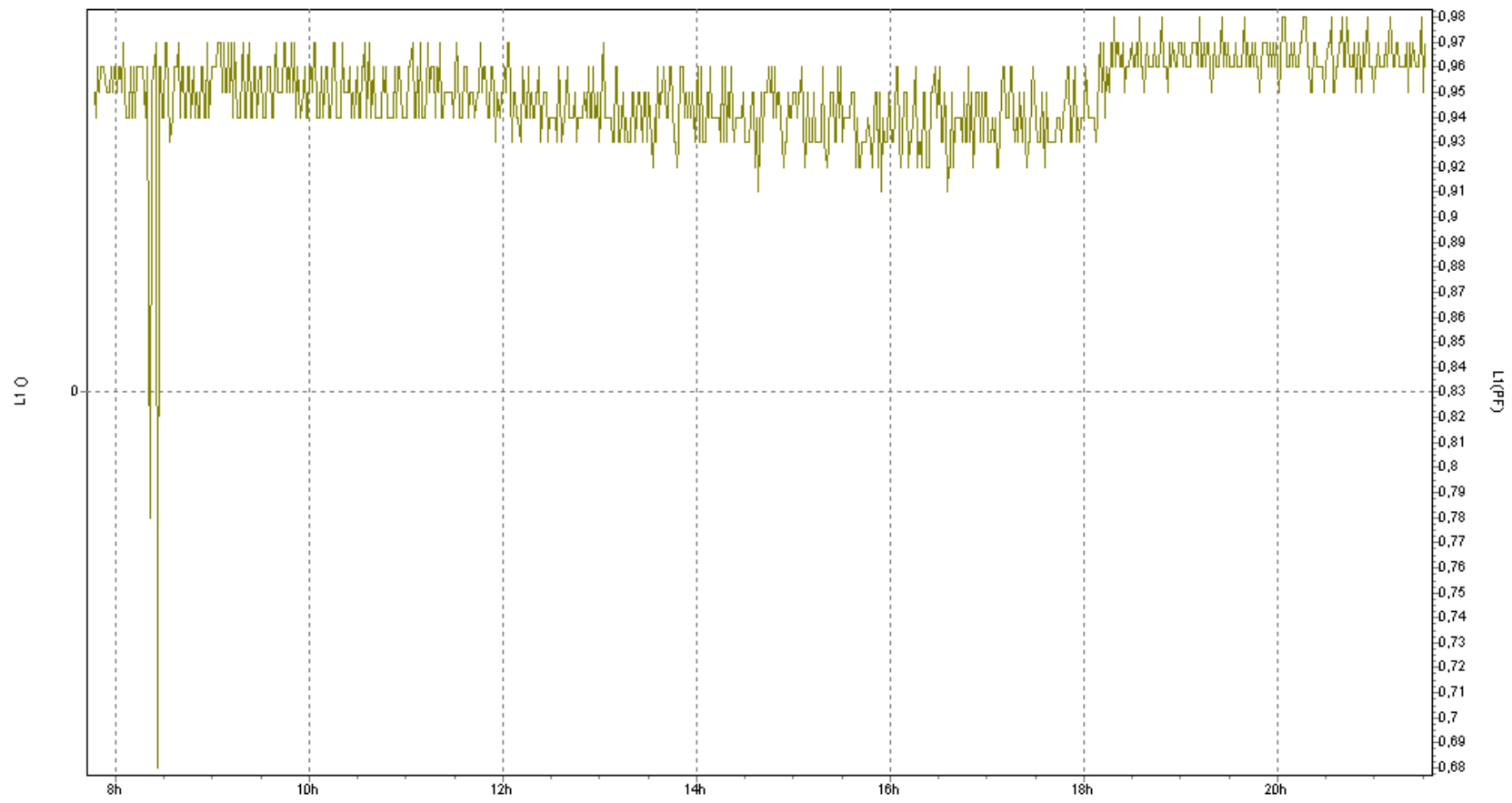
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





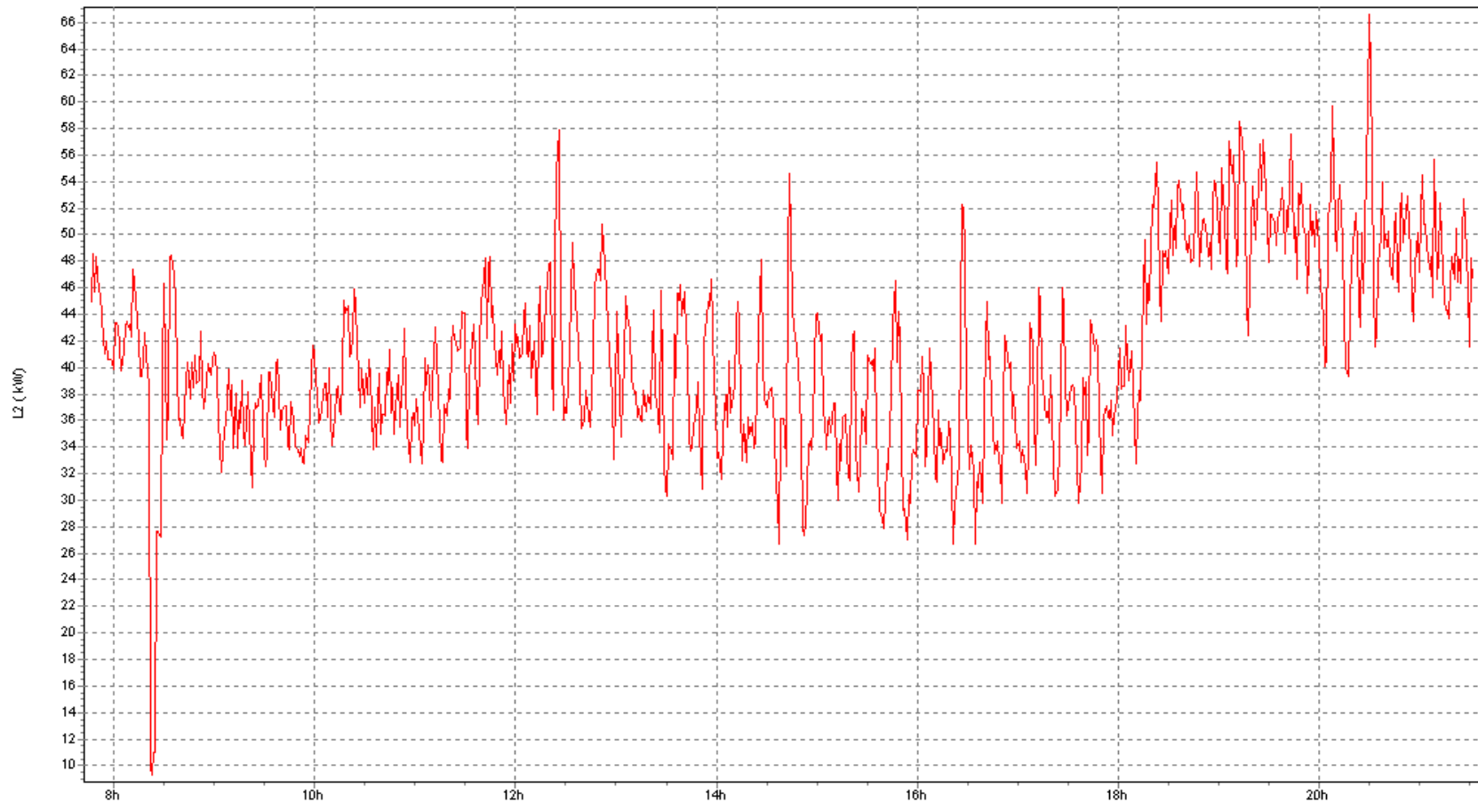
Gráfica 5.2.29 Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.30 Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.31 Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



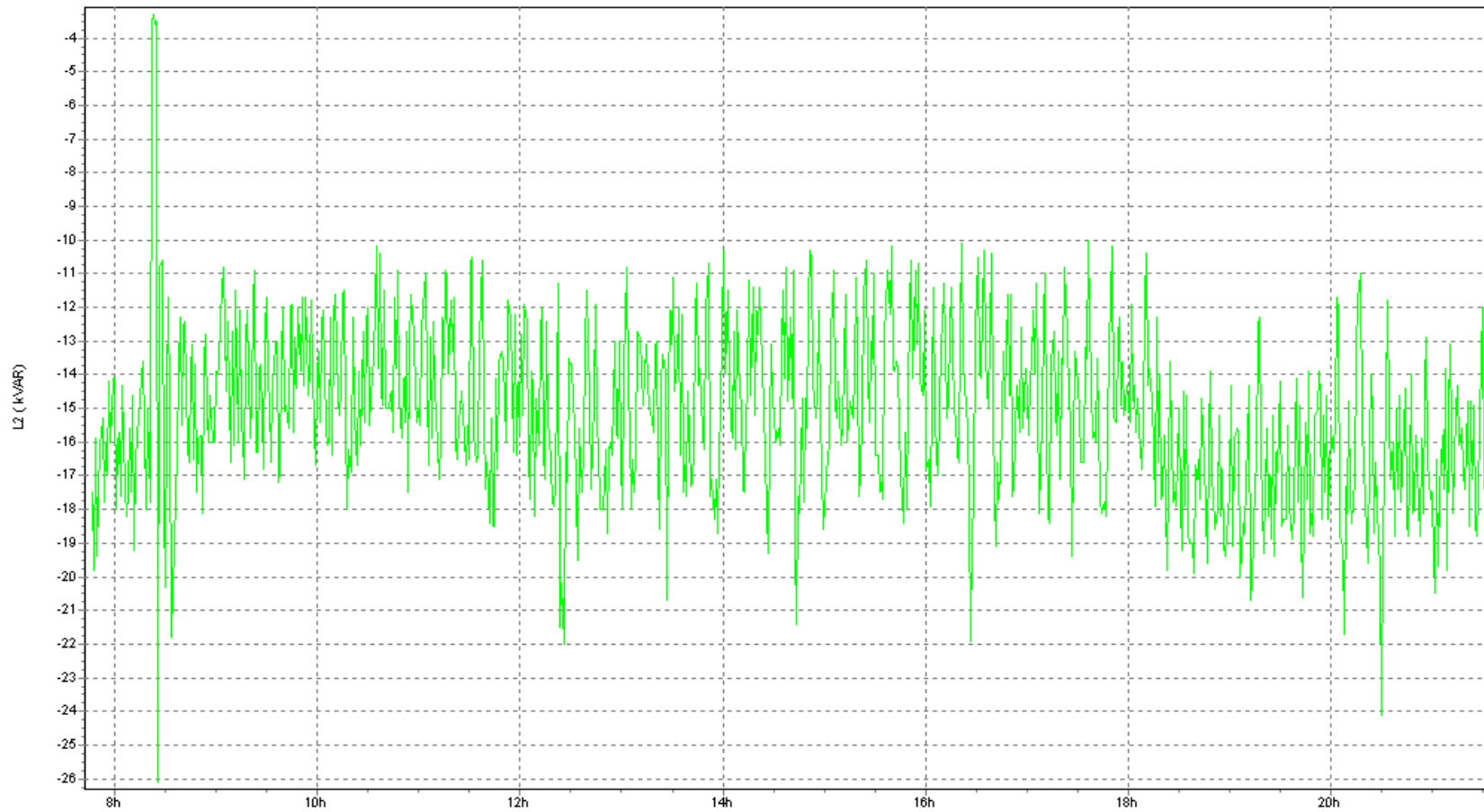
Gráfica 5.2.32 Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



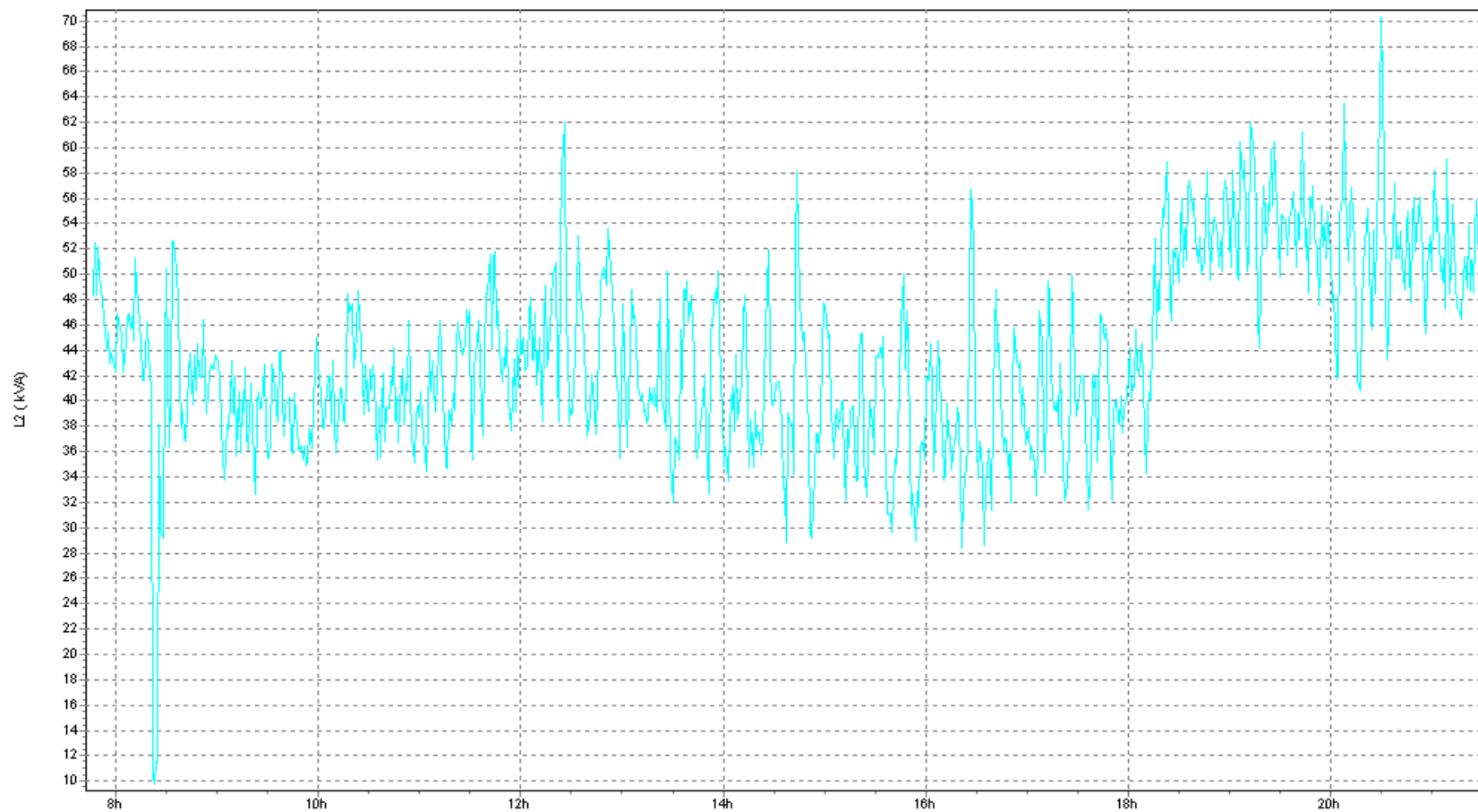
Gráfica 5.2.33 Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



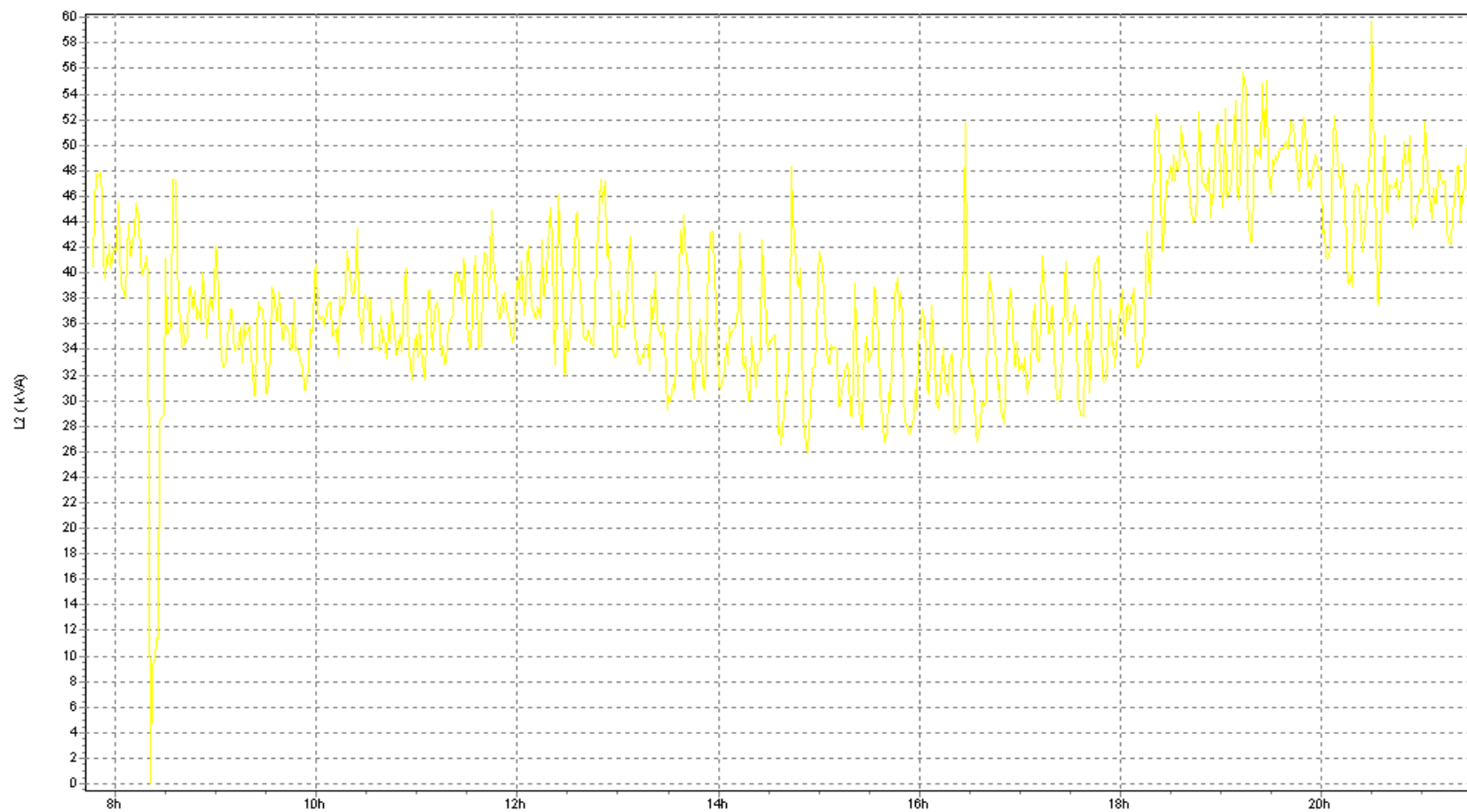
Gráfica 5.2.34 Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.35 Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Máximo

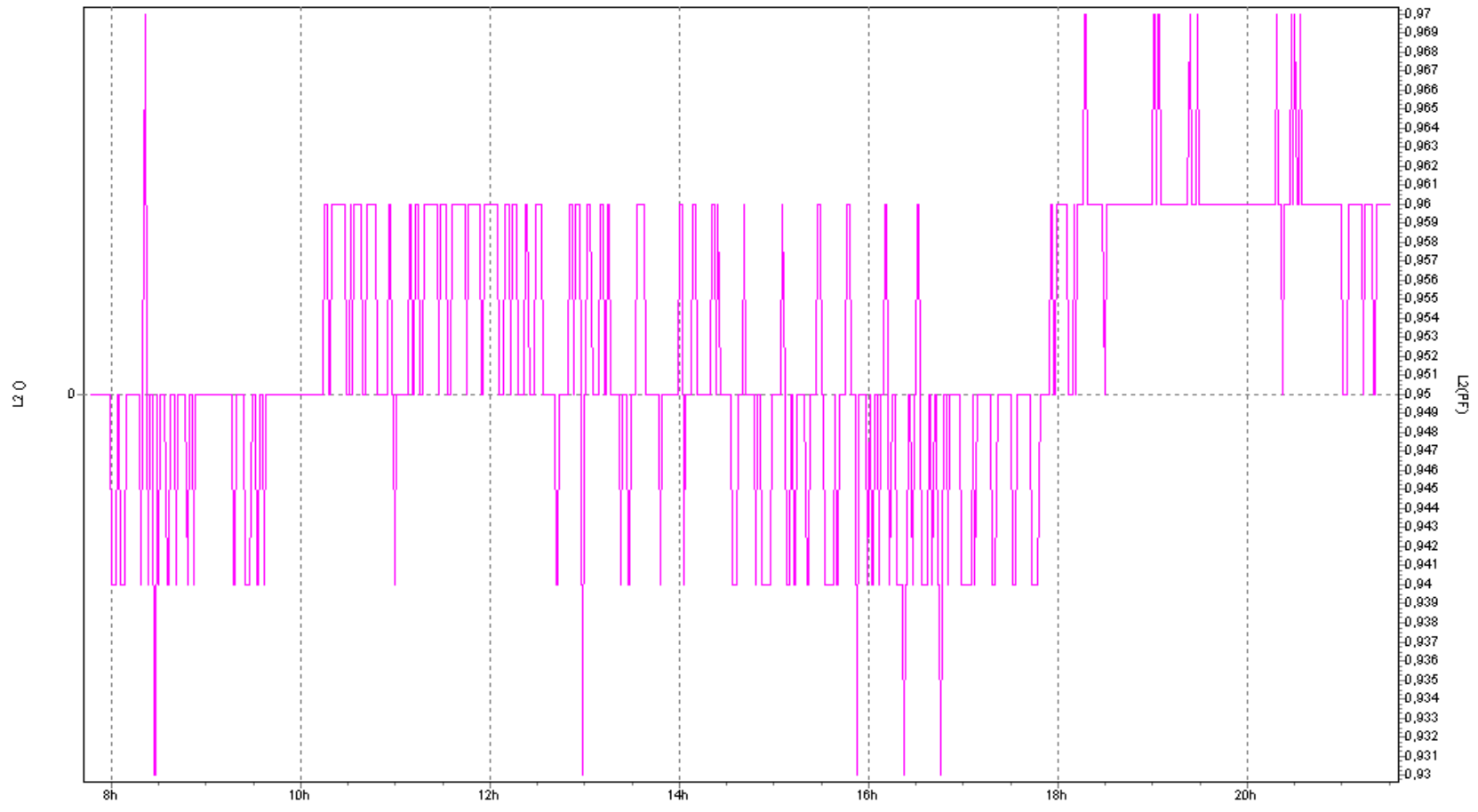
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.36 Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Mínimo

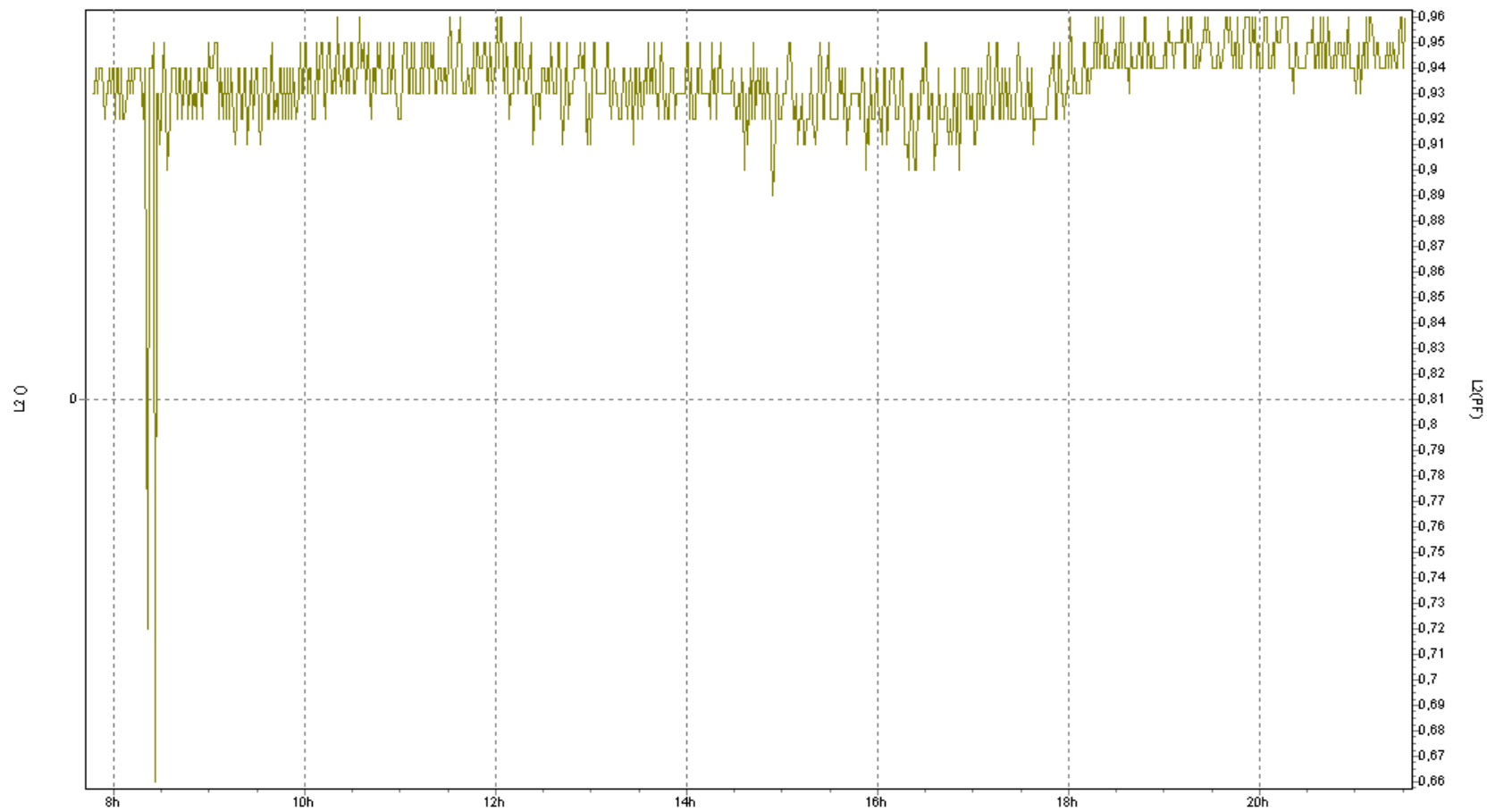
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





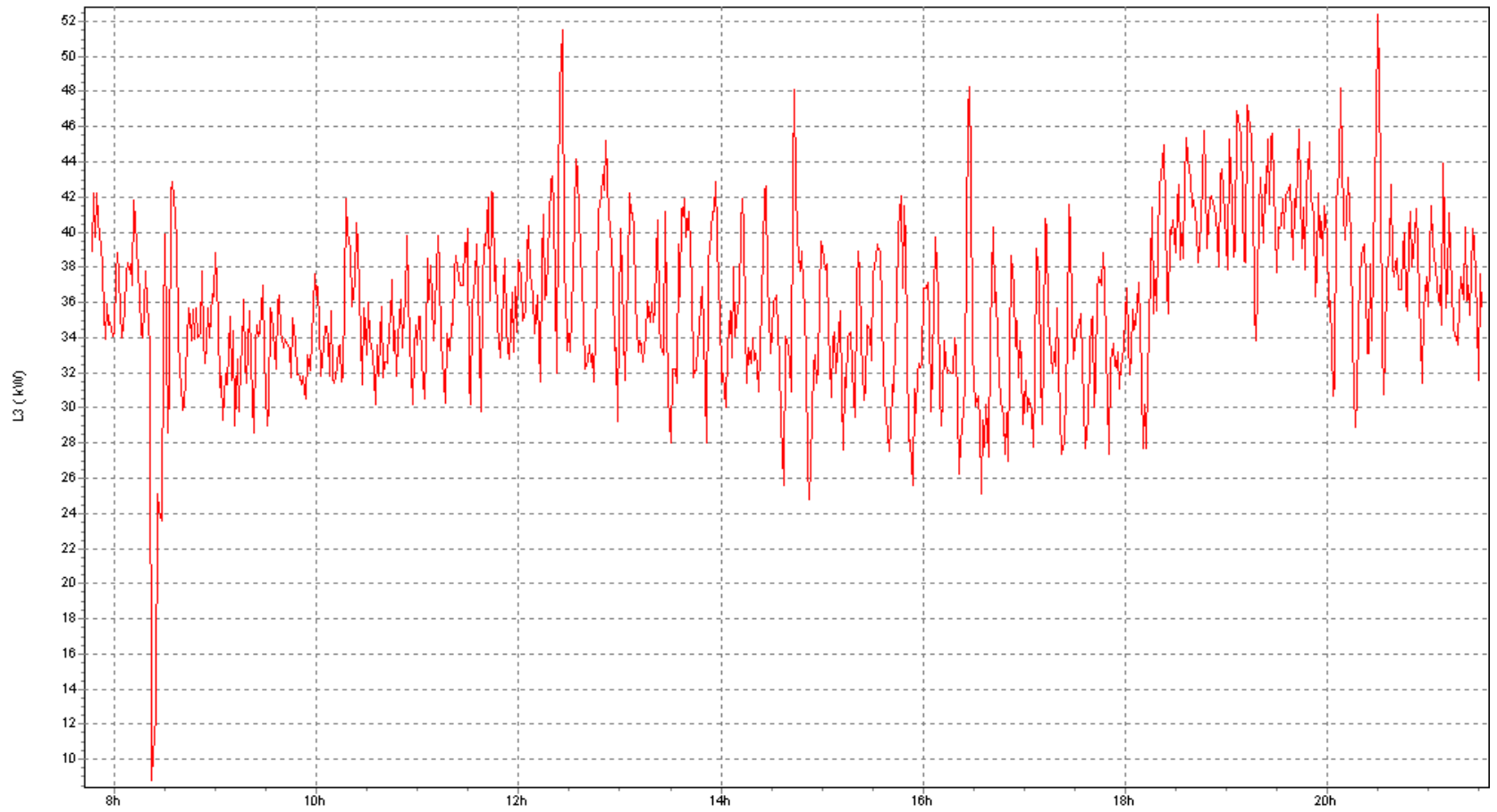
Gráfica 5.2.37 Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



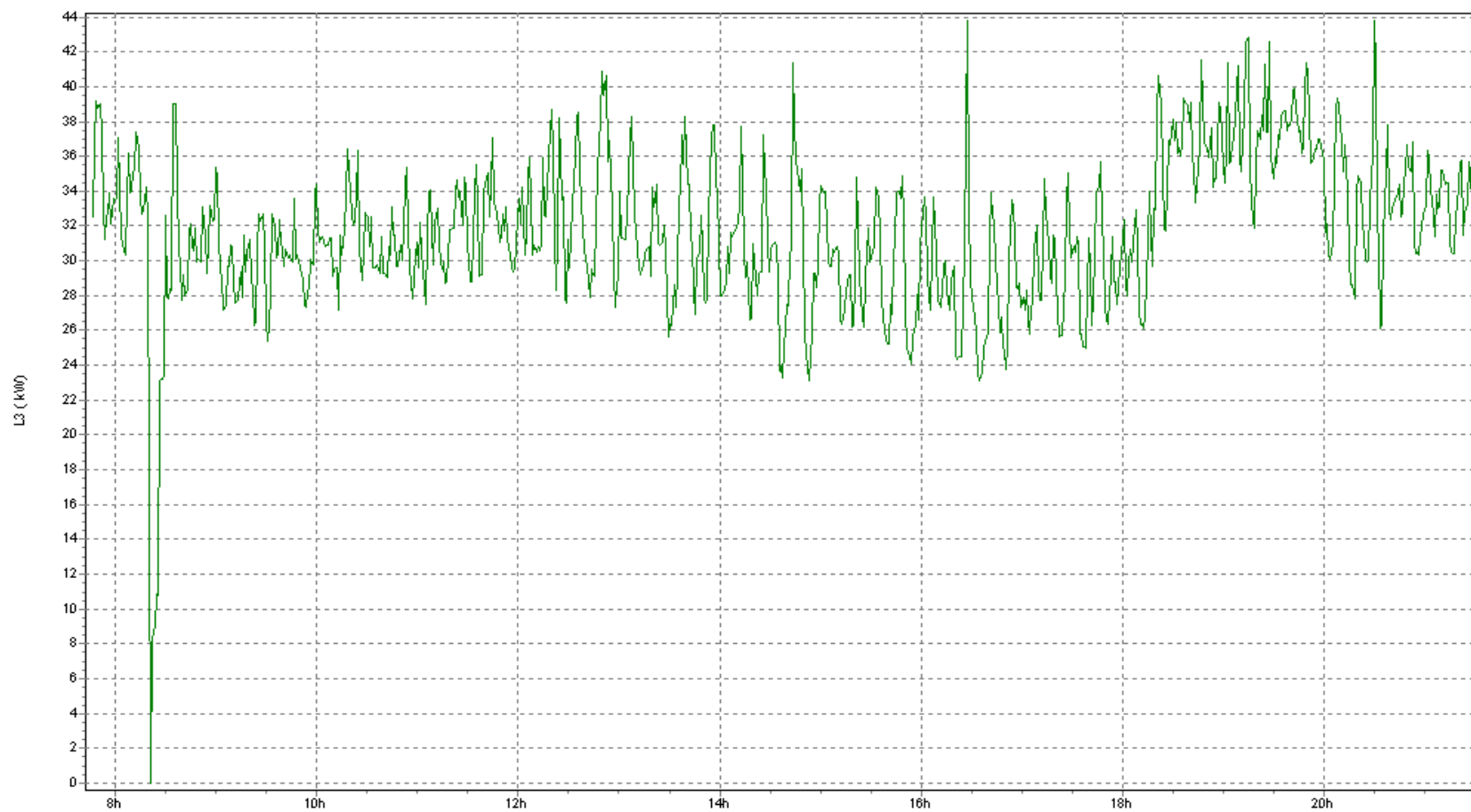
Gráfica 5.2.38 Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



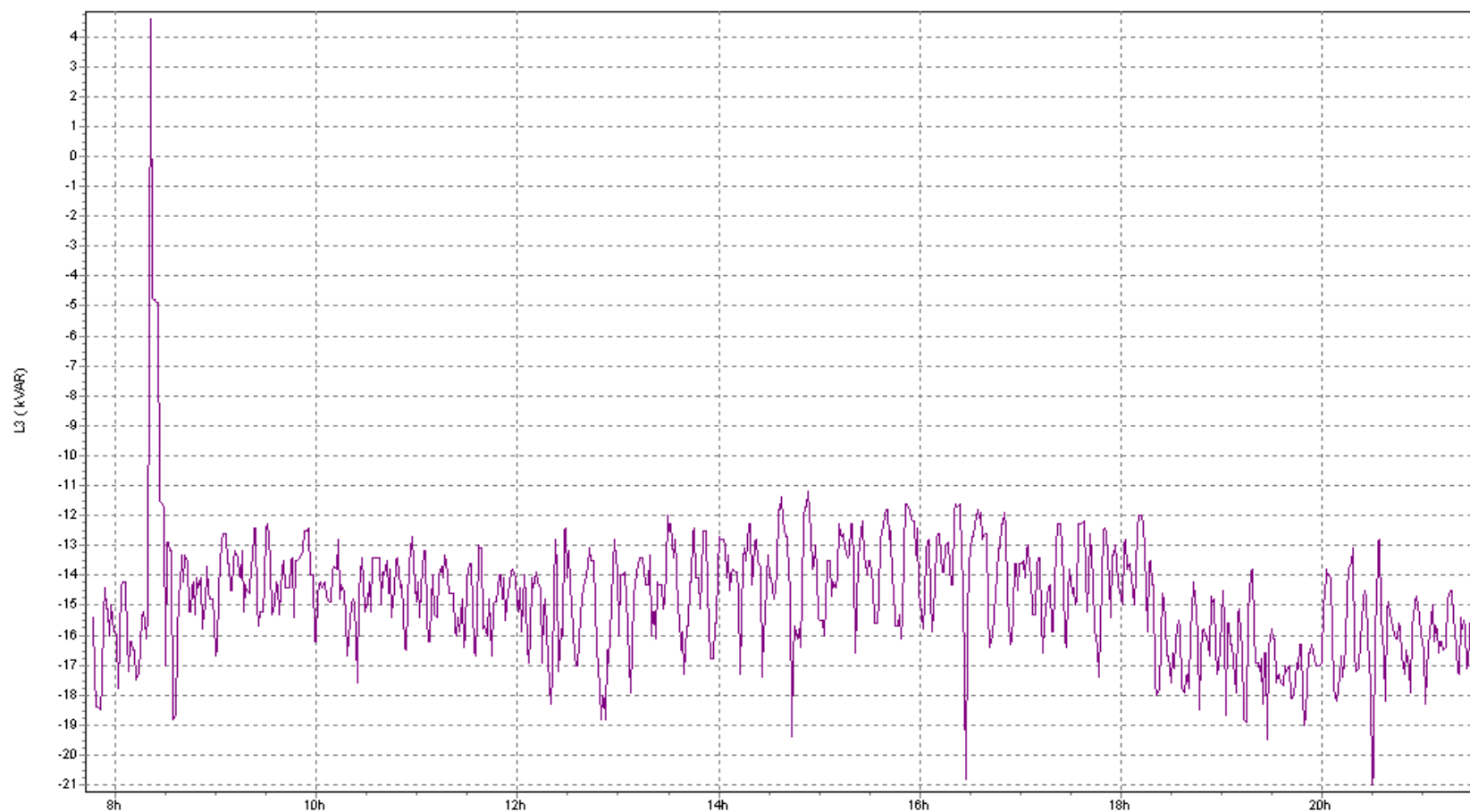
Gráfica 5.2.39 Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



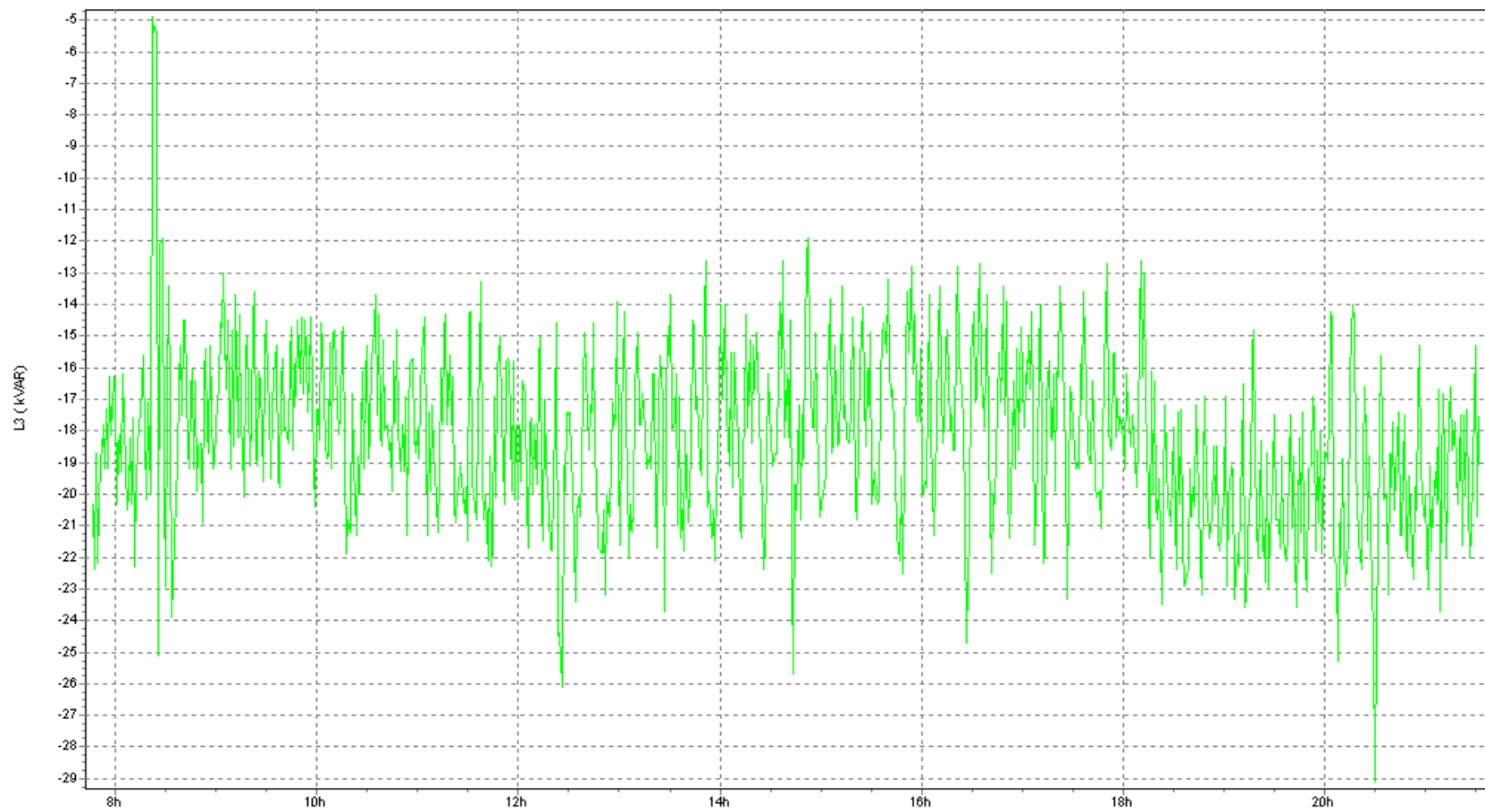
Gráfica 5.2.40 Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



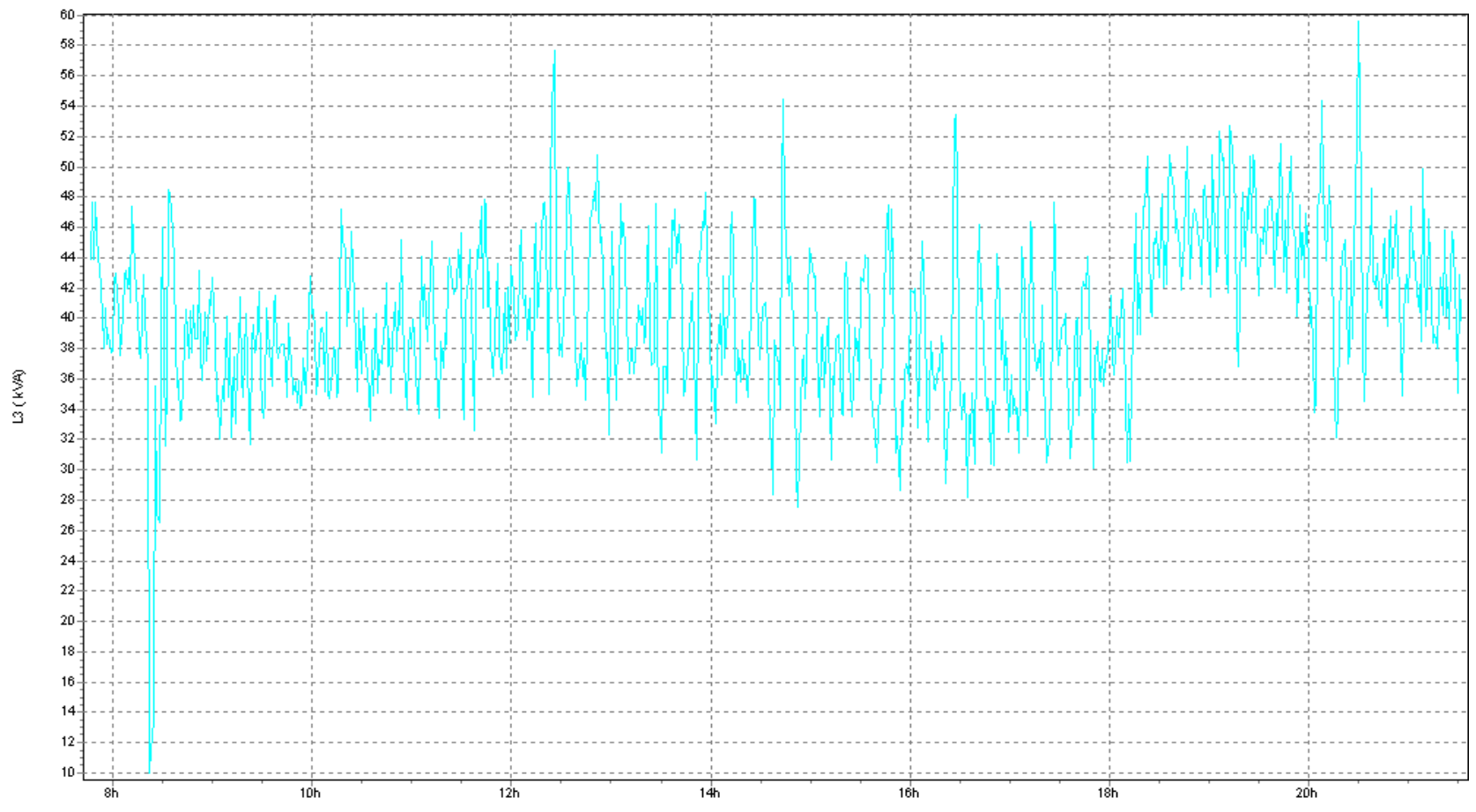
Gráfica 5.2.41 Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



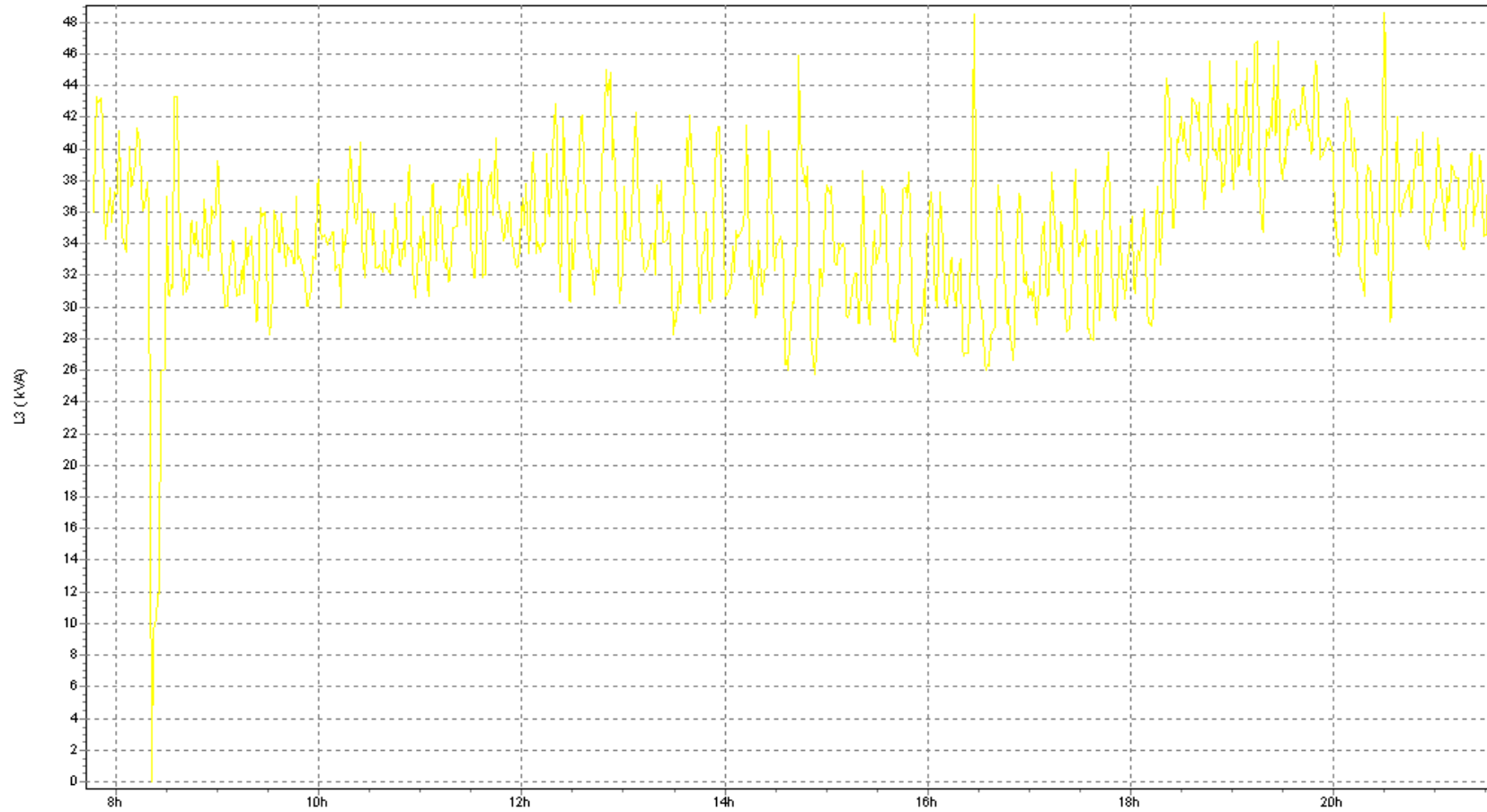
Gráfica 5.2.42 Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.43 Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Máximo

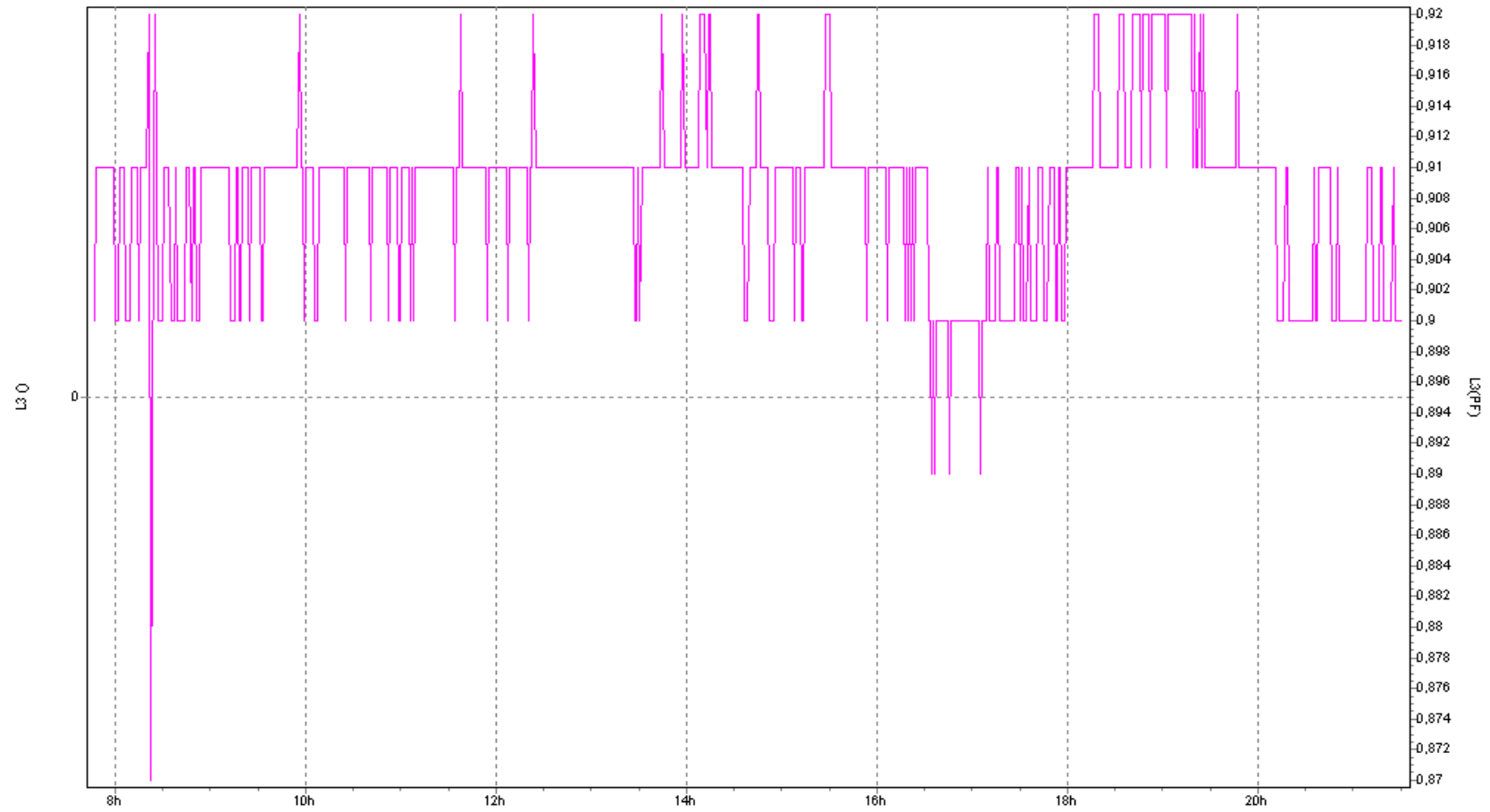
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.44 Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Mínimo

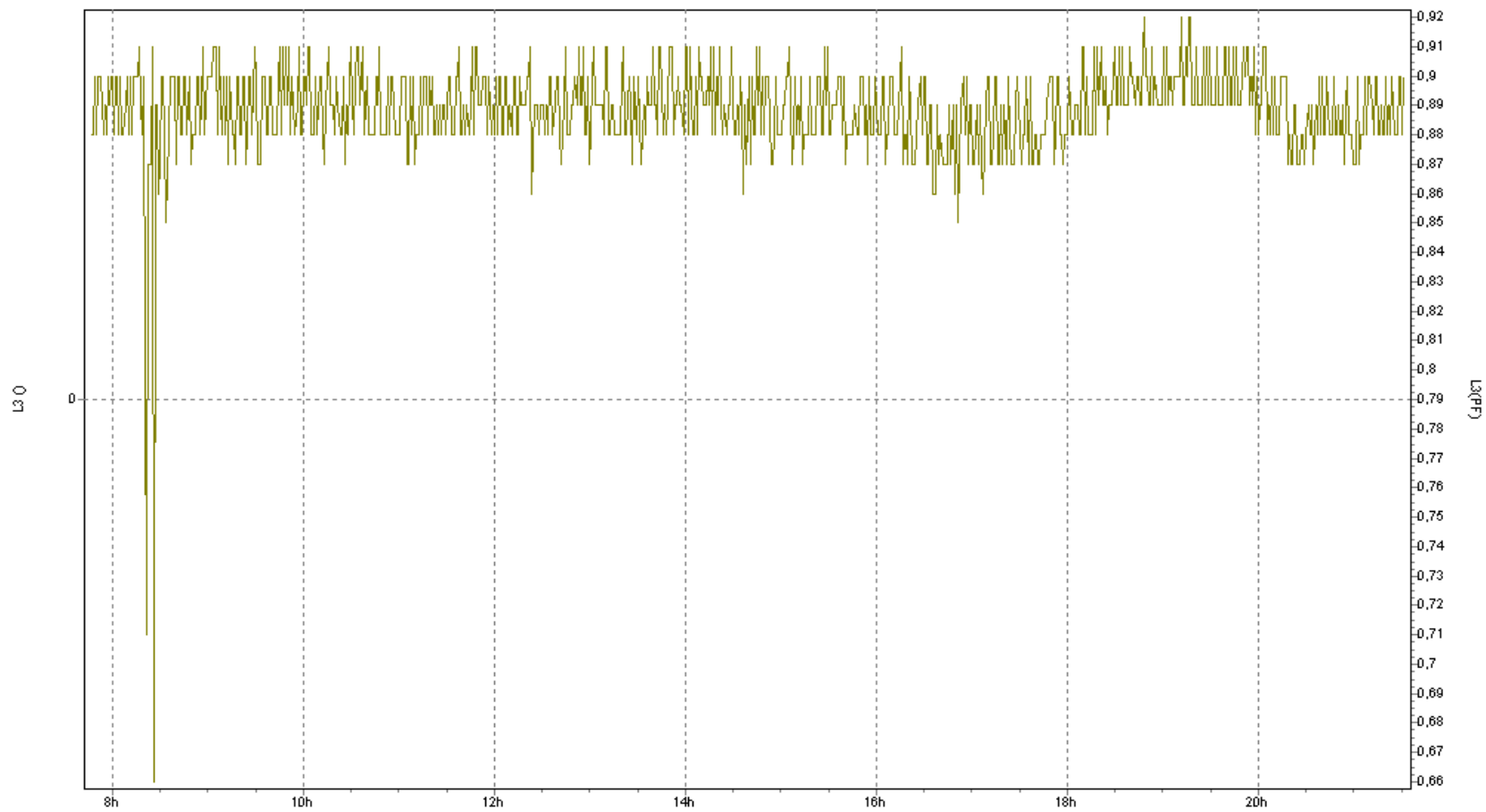
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





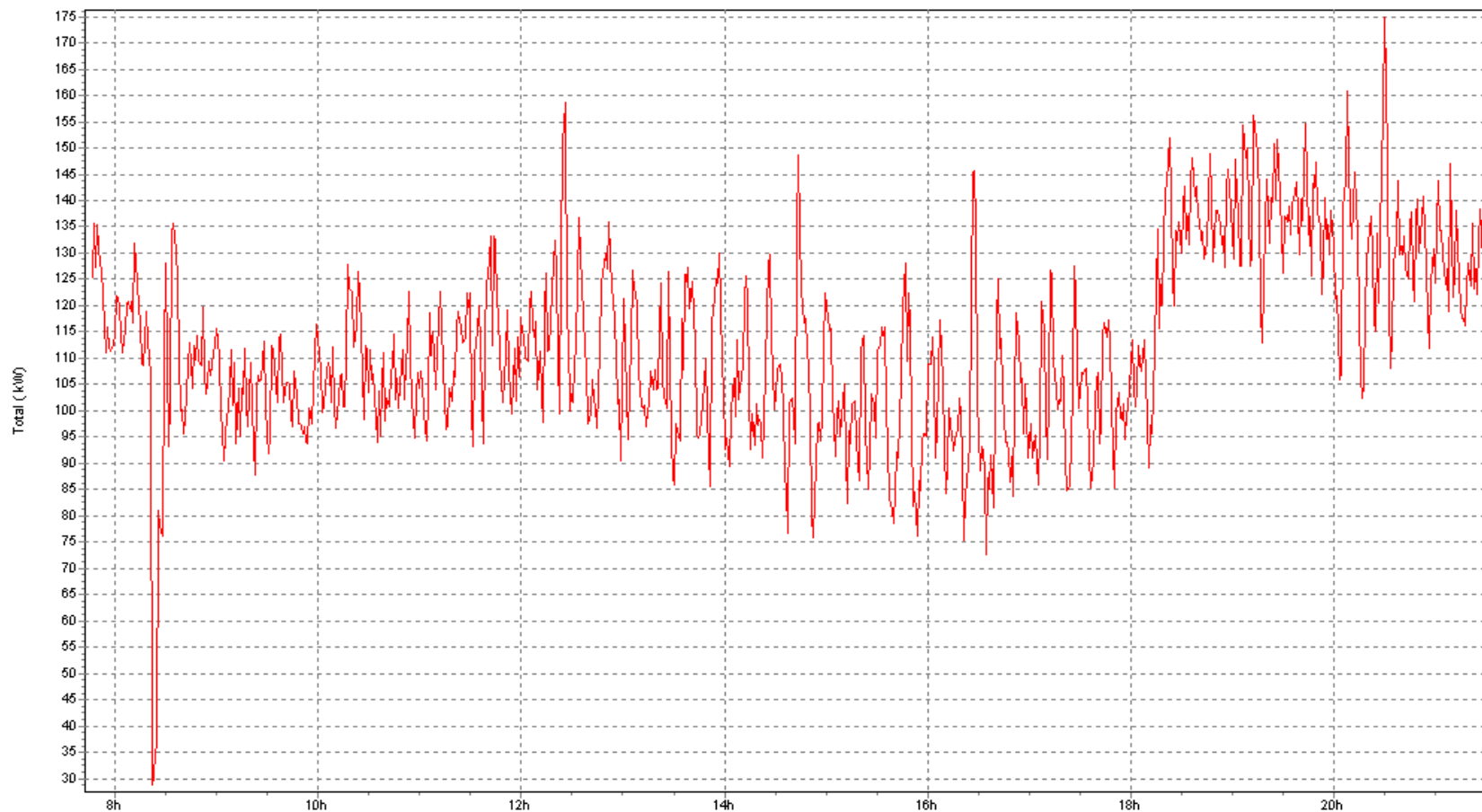
Gráfica 5.2.45 Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



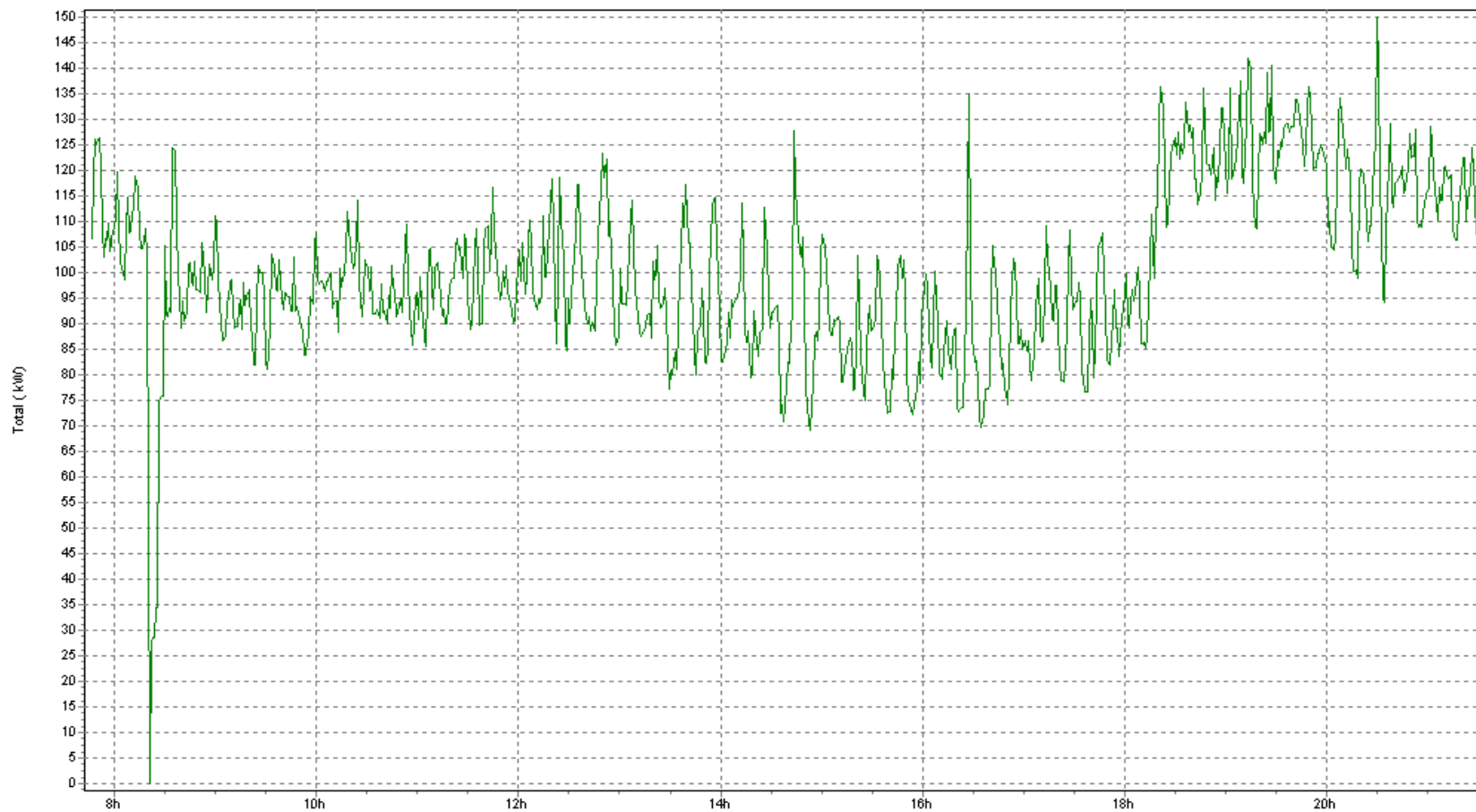
Gráfica 5.2.46 Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



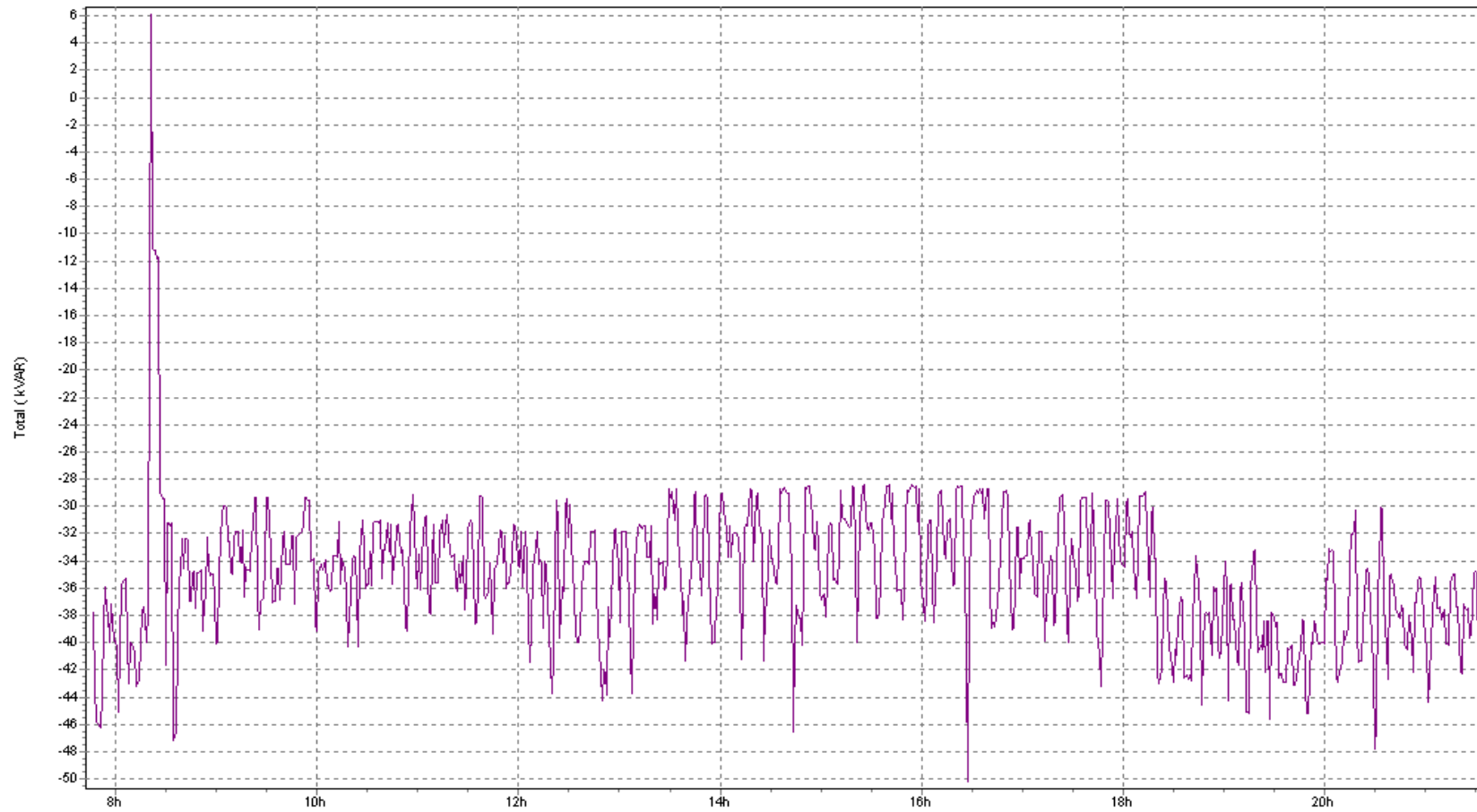
Gráfica 5.2.47 Potencia Activa Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



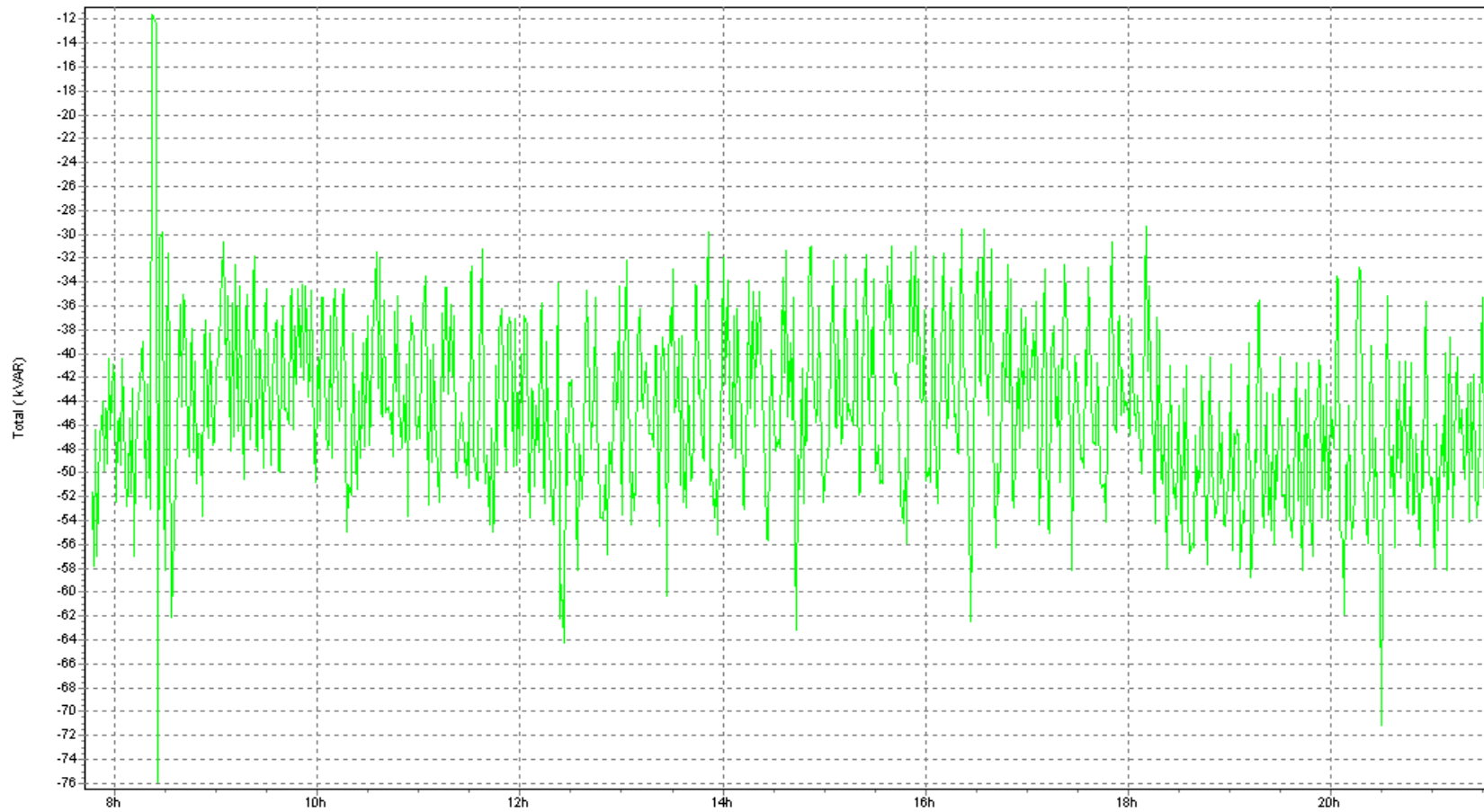
Gráfica 5.2.48 Potencia Activa Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



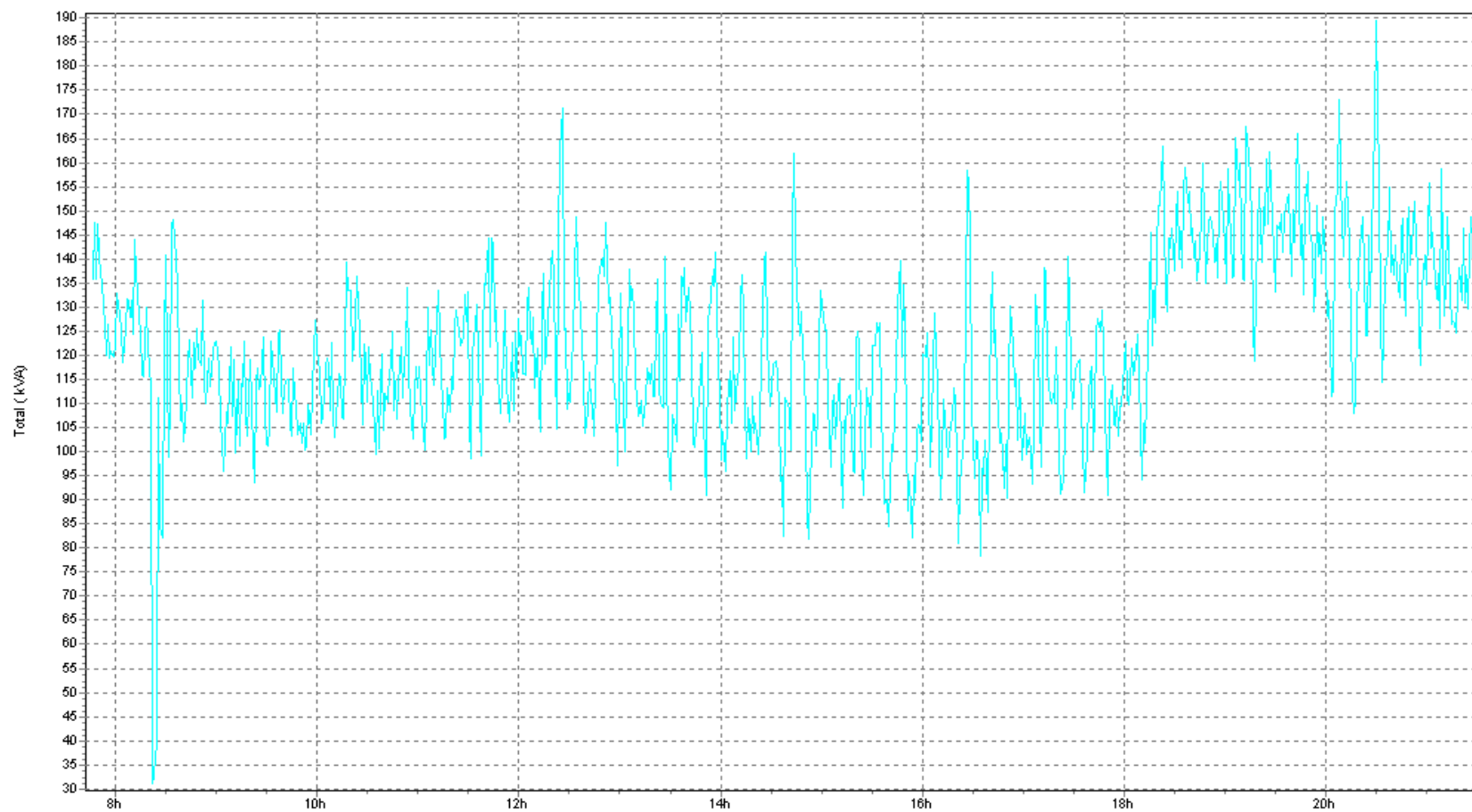
Gráfica 5.2.49 Potencia Reactiva Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



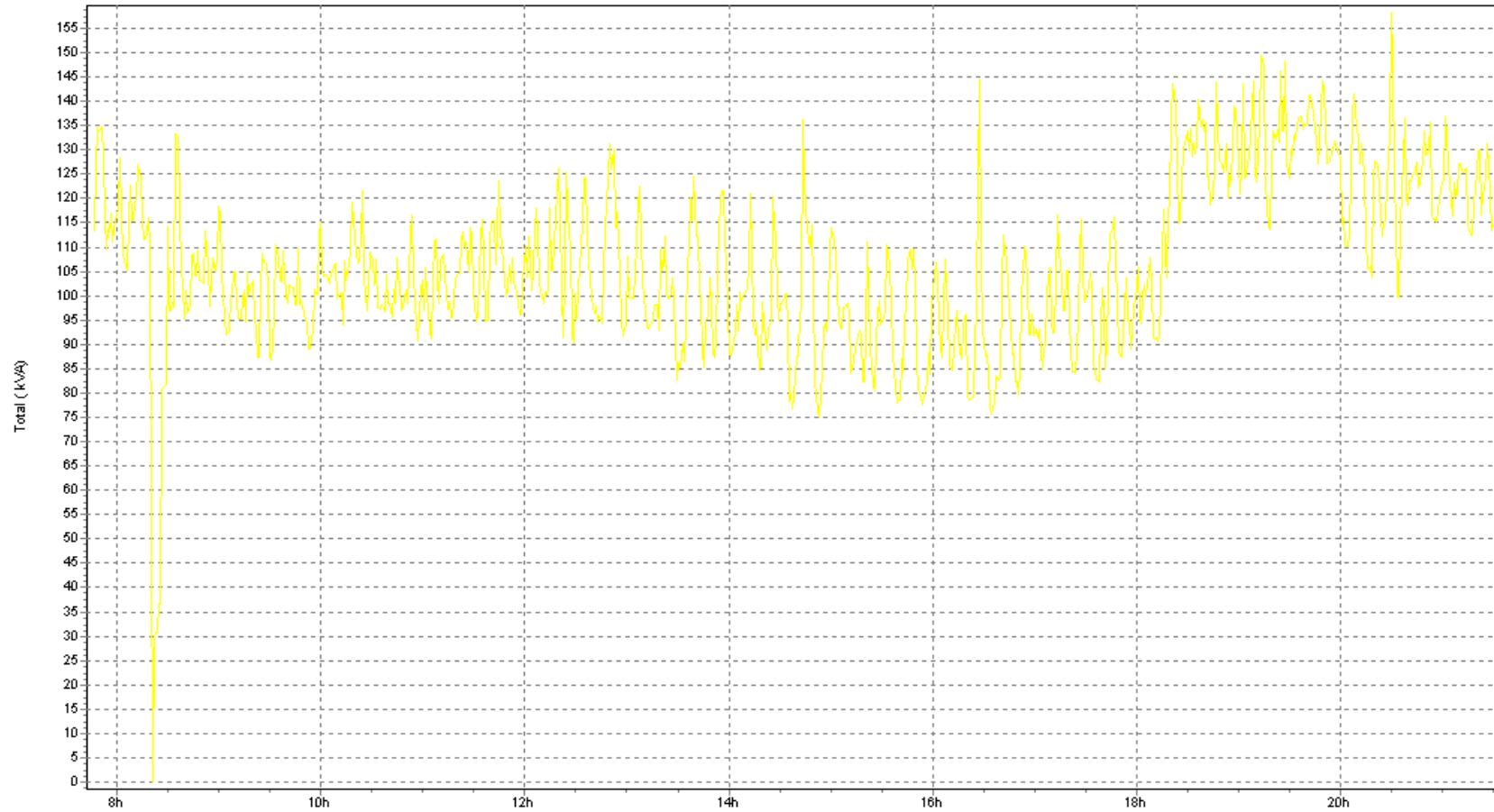
Gráfica 5.2.50 Potencia Reactiva Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.51 Potencia Aparente Total – Valor Máximo

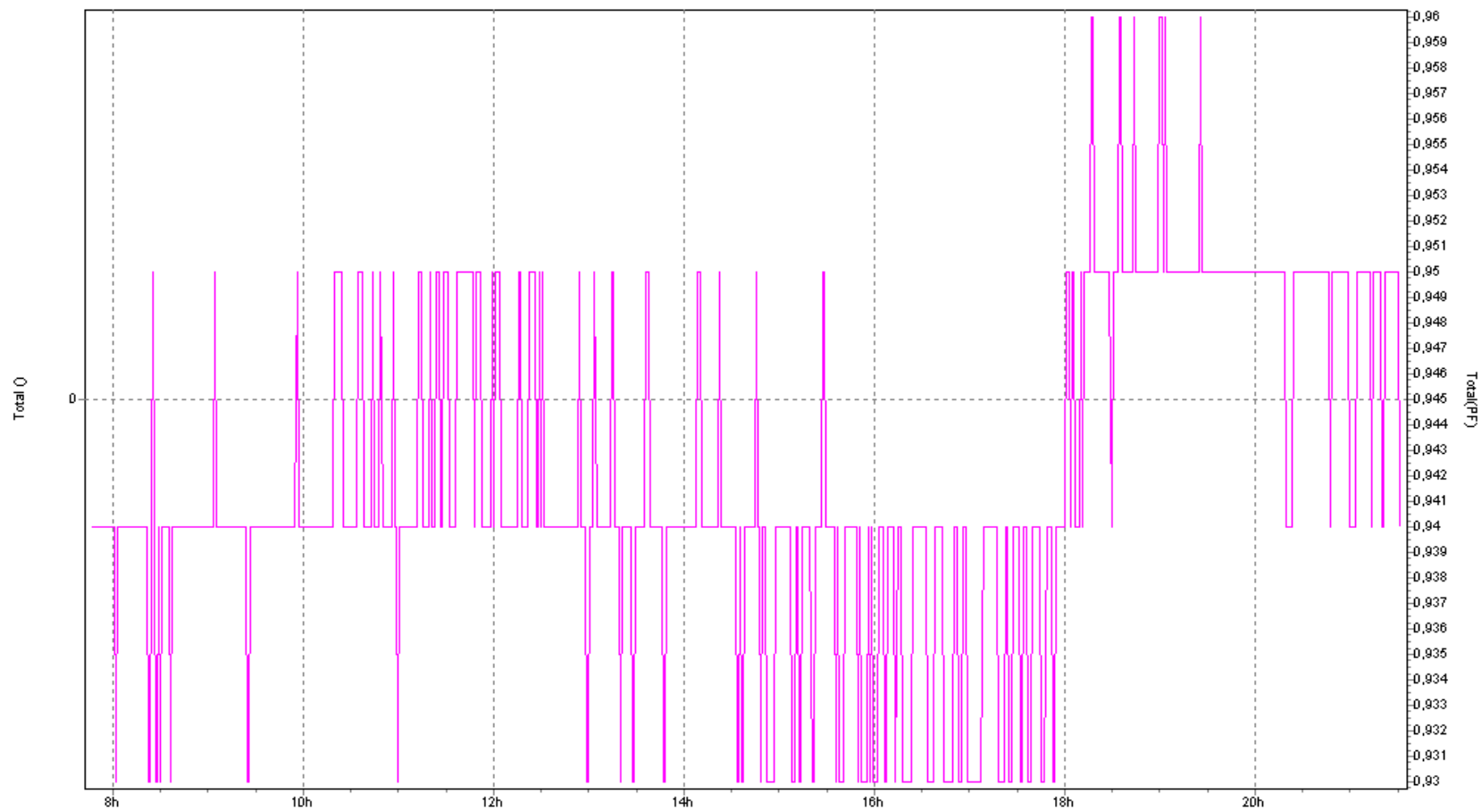
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.52 Potencia Aparente Total – Valor Mínimo

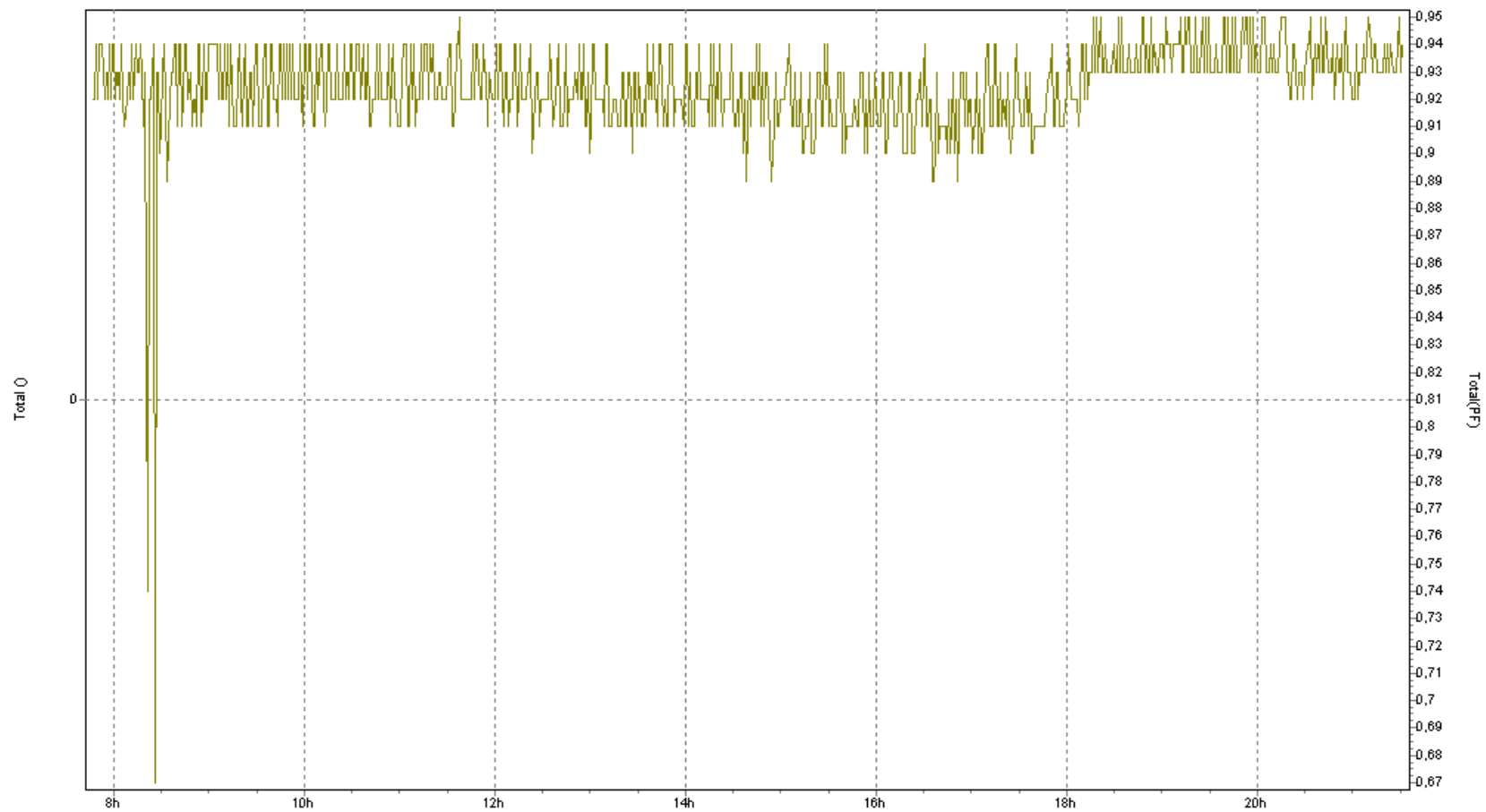
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





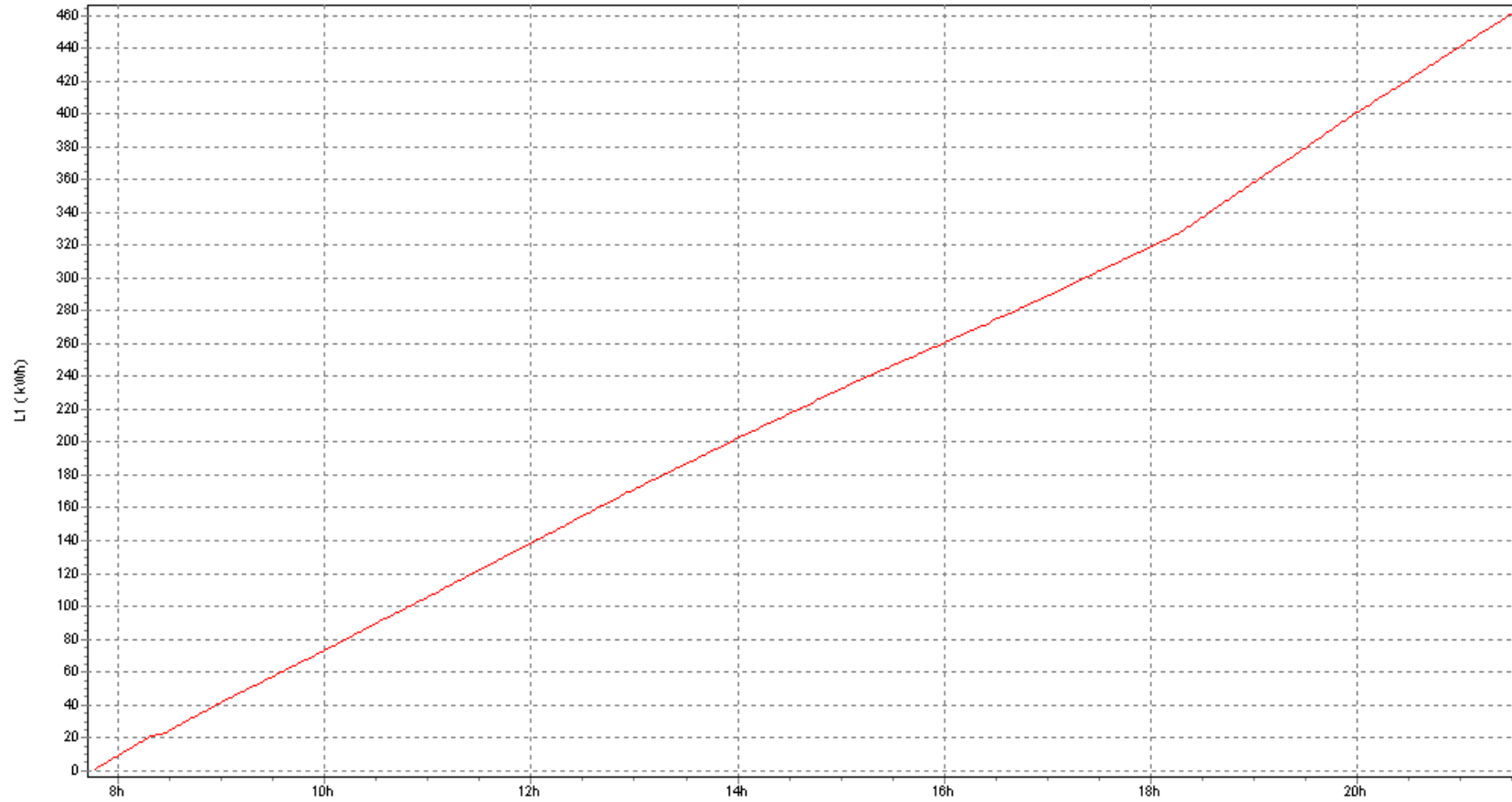
Gráfica 5.2.53 Factor de Potencia Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



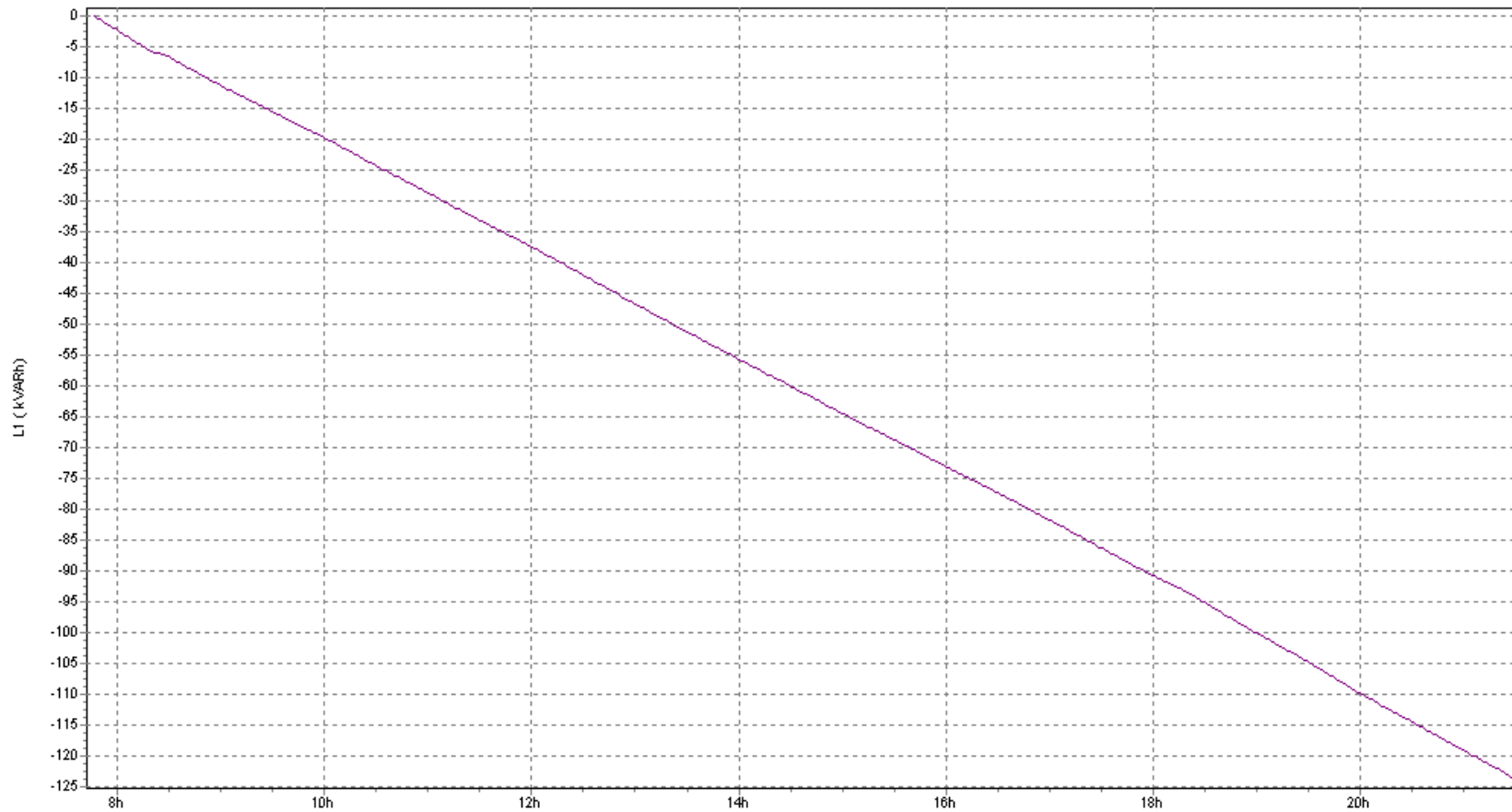
Gráfica 5.2.54 Factor de Potencia Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



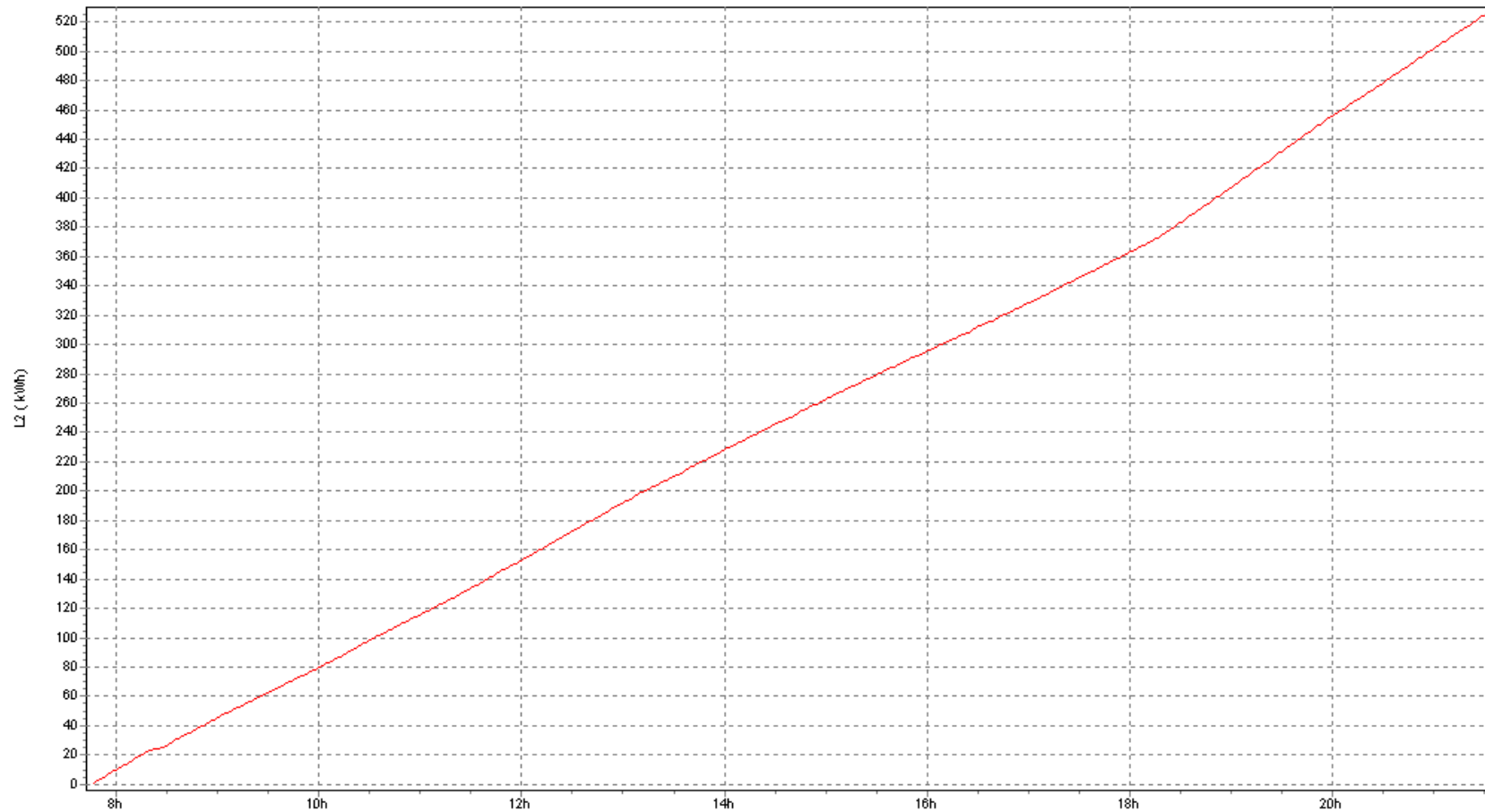
Gráfica 5.2.55 Energía Activa en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.56 Energía Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



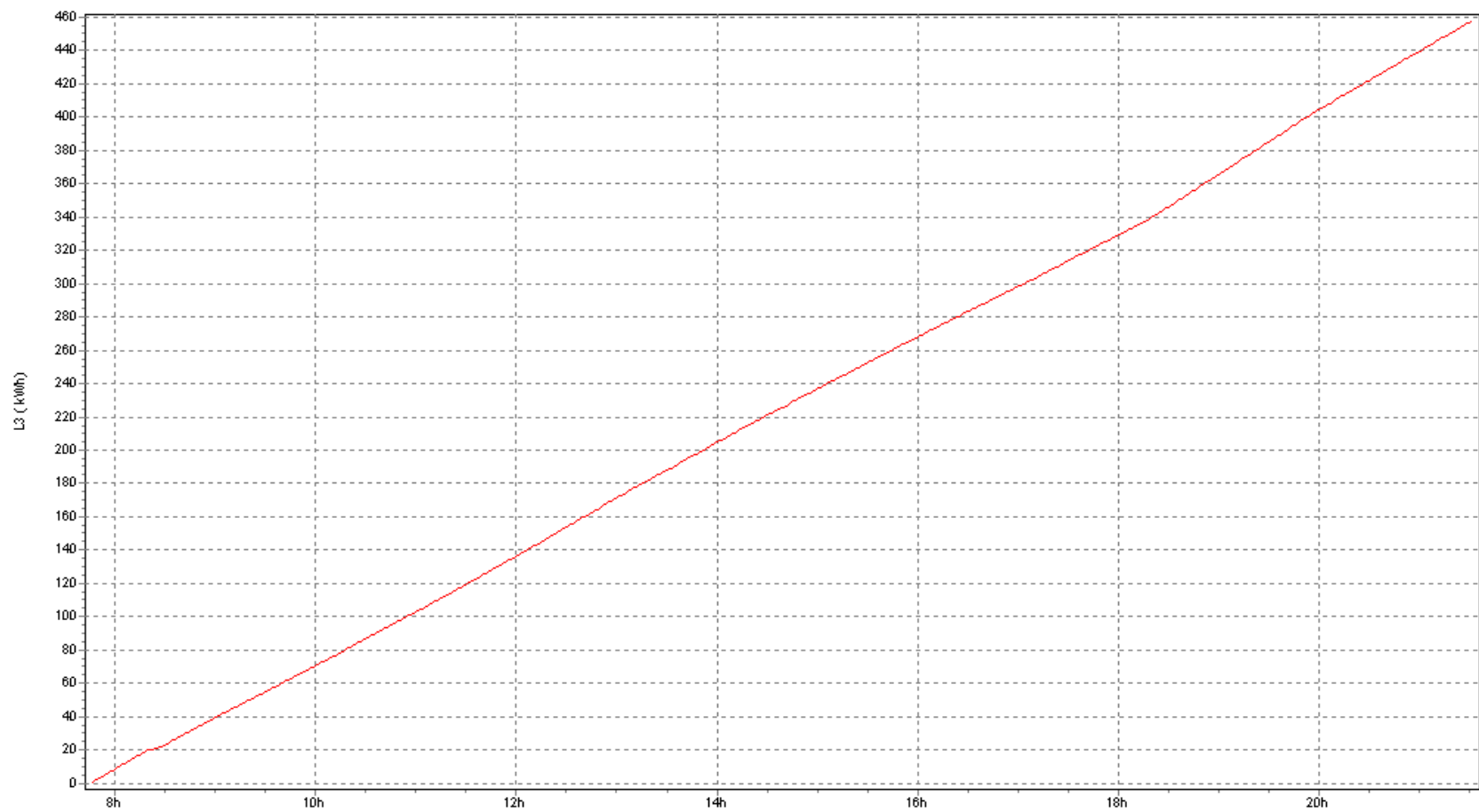
Gráfica 5.2.57 Energía Activa en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



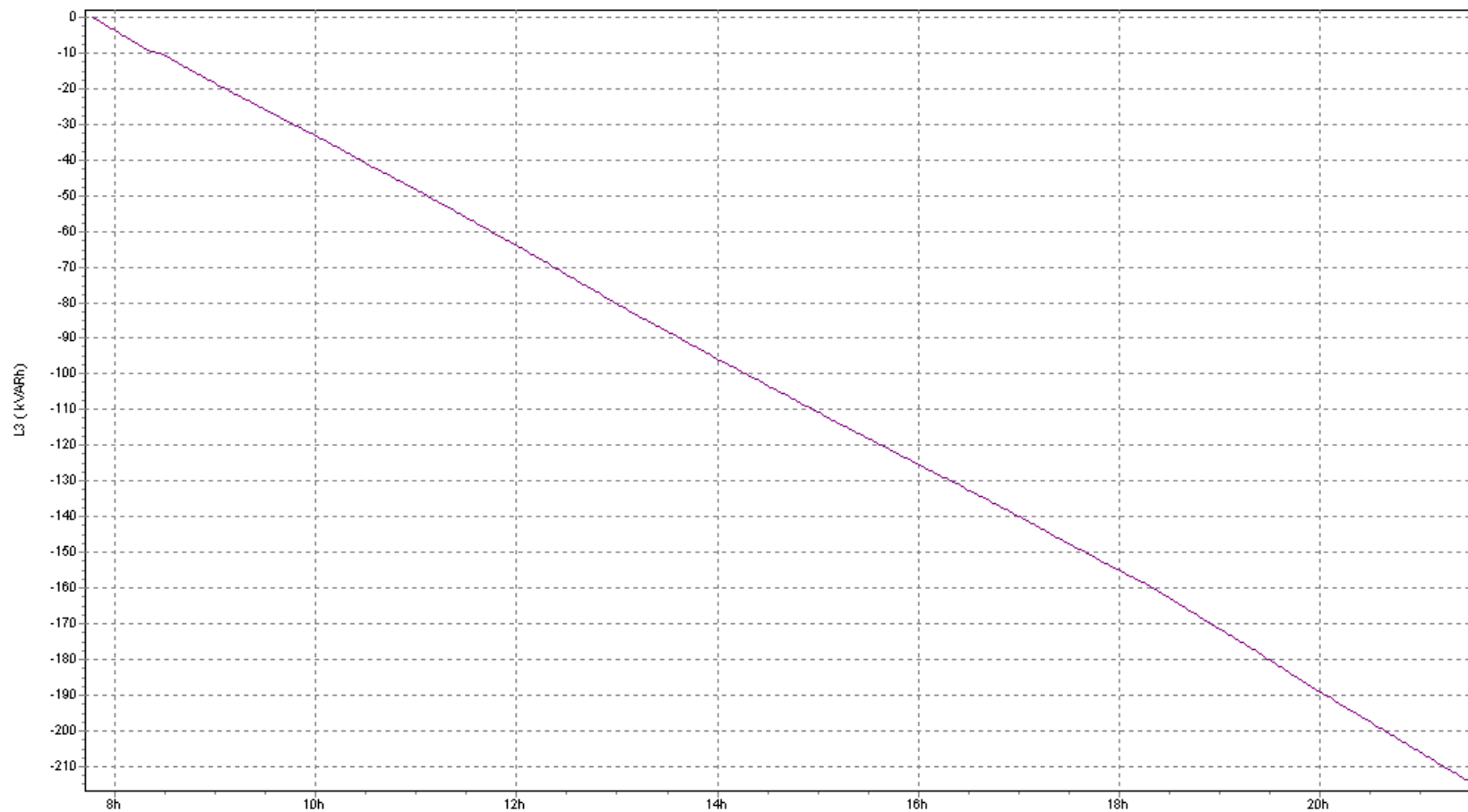
Gráfica 5.2.58 Energía Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.59 Energía Activa en la Línea 3 – Valor Máximo

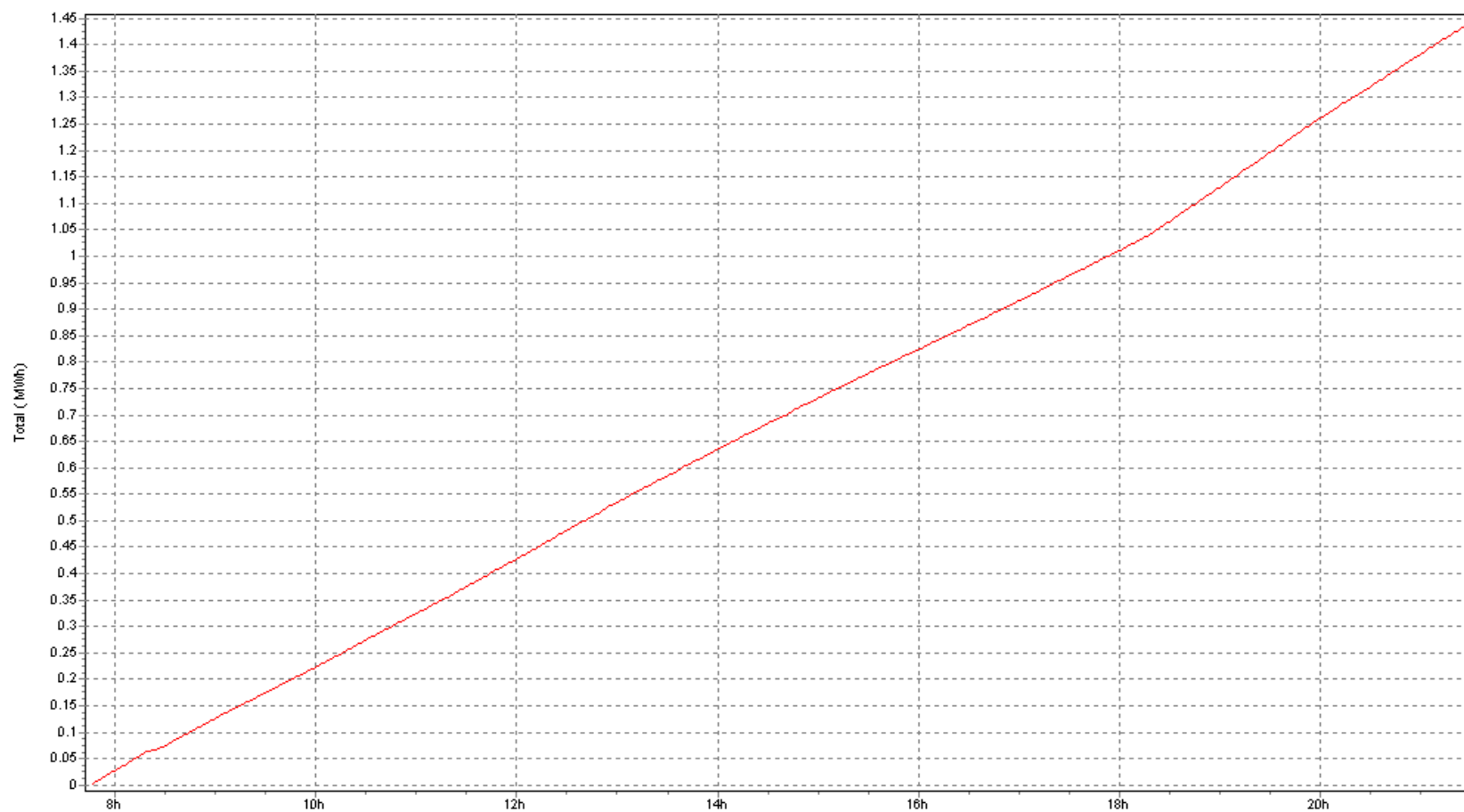
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.60 Energía Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo

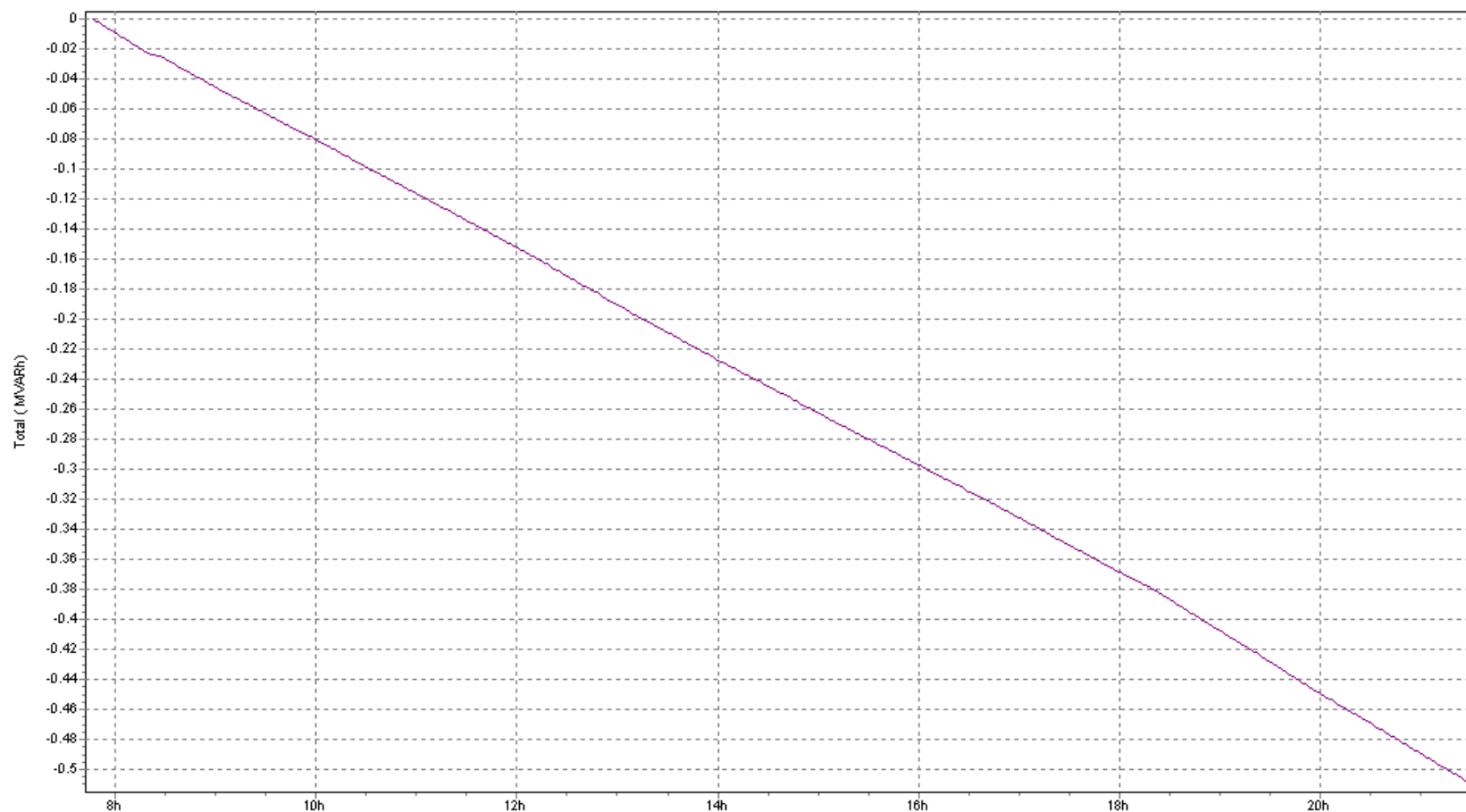
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





Gráfica 5.2.61 Energía Activa Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



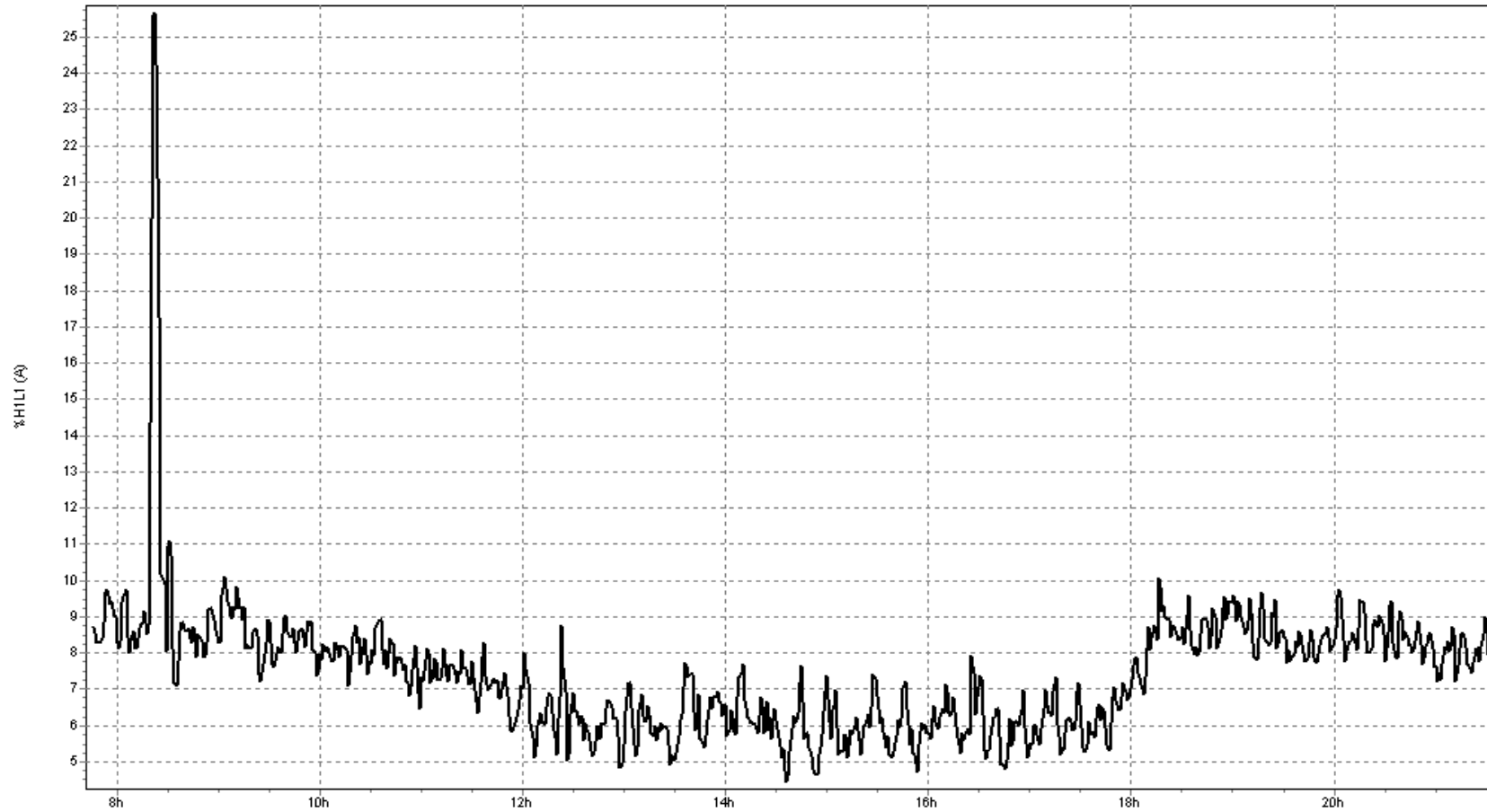
Gráfica 5.2.62 Energía Reactiva Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.63 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 1

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



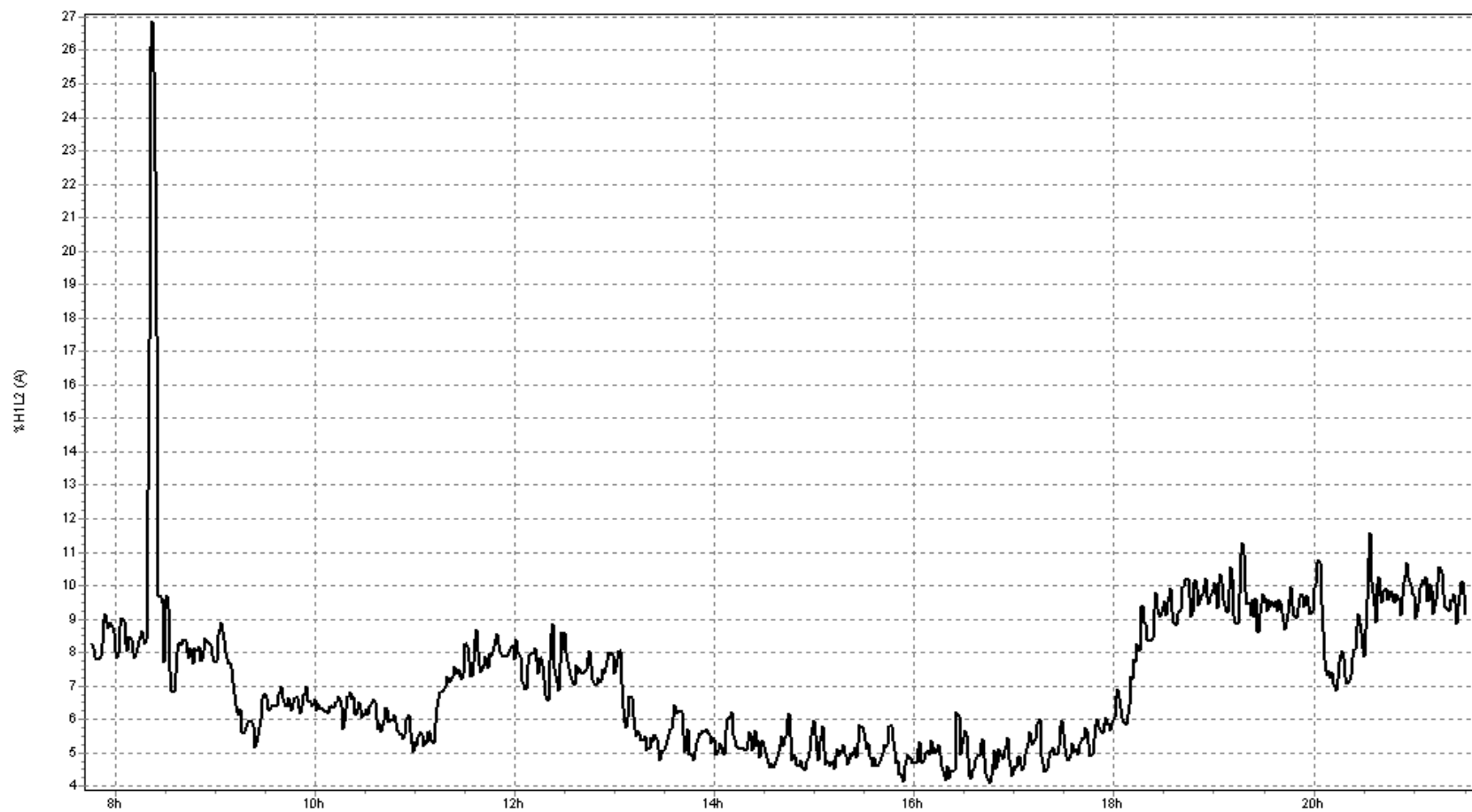
Gráfica 5.2.64 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 1

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



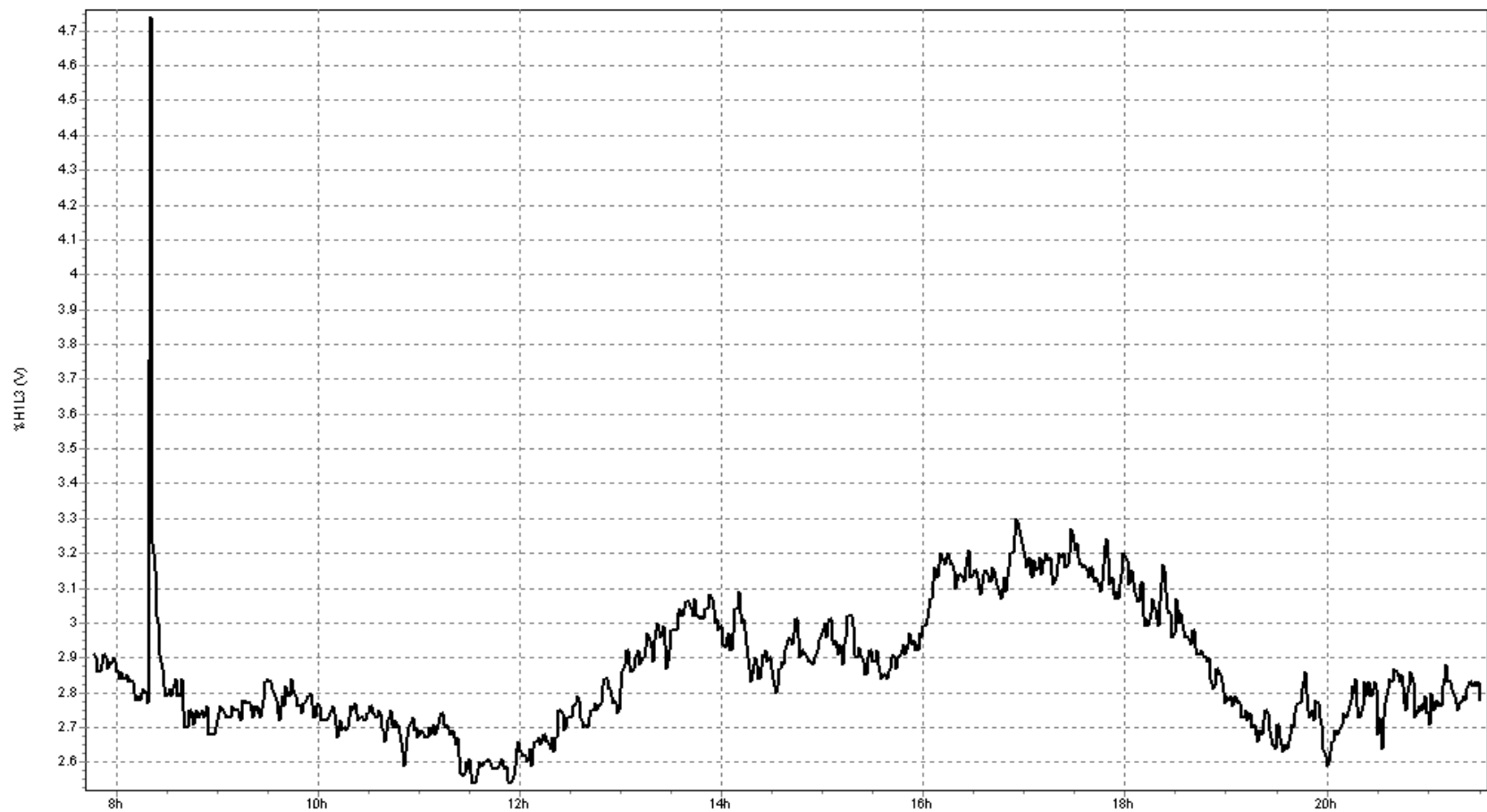
Gráfica 5.2.65 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 2

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



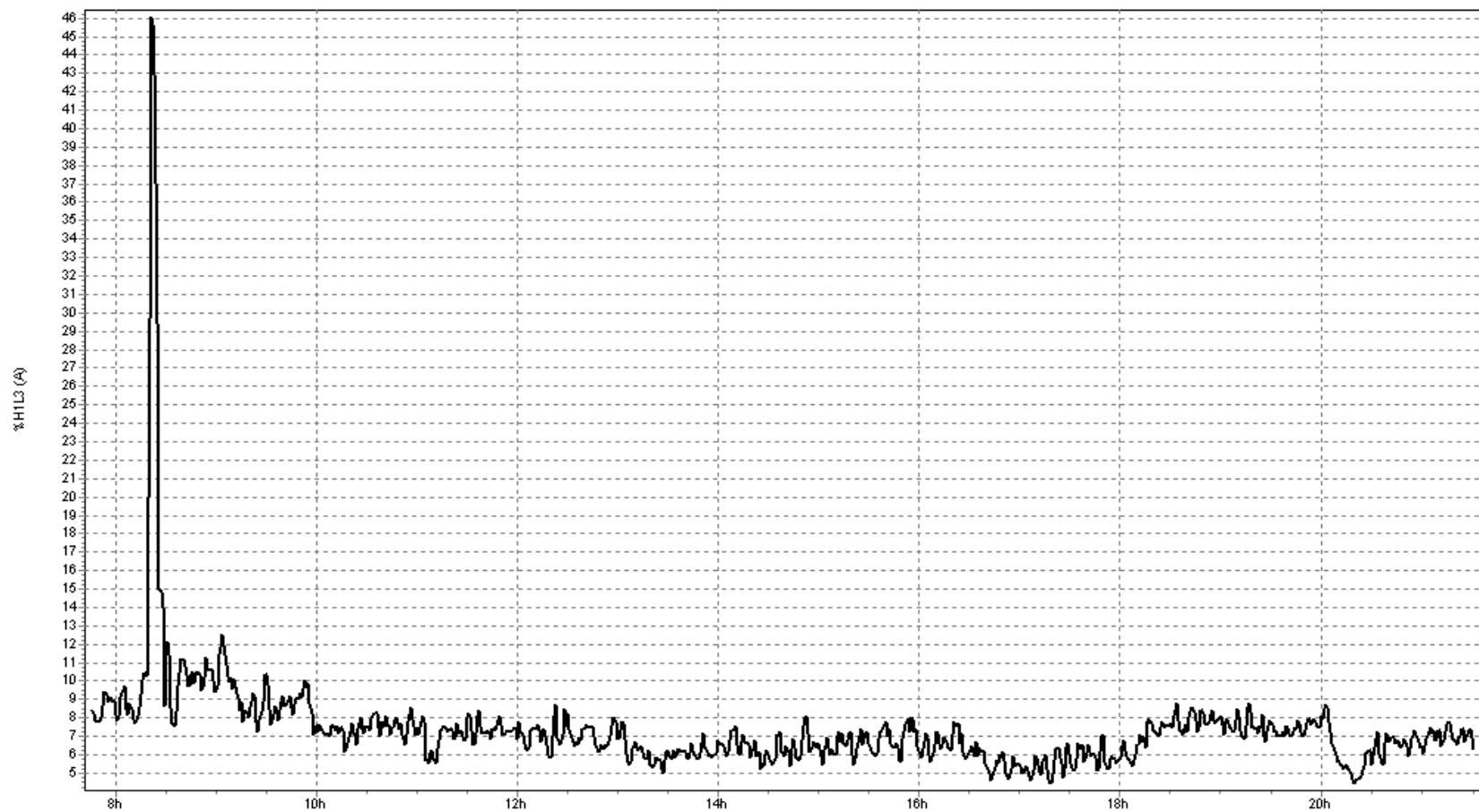
Gráfica 5.2.66 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 2

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.67 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 3

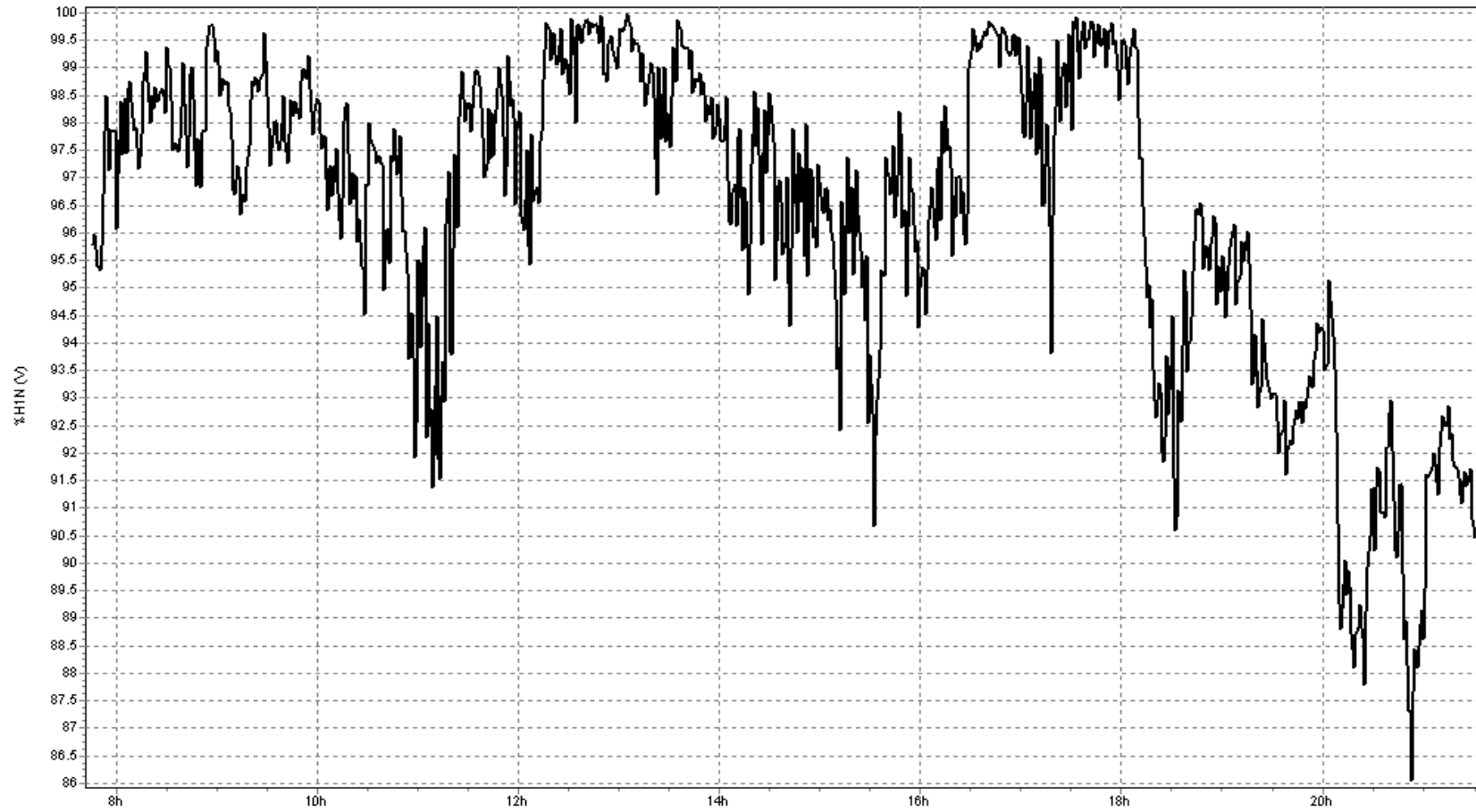
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.2.68 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 3

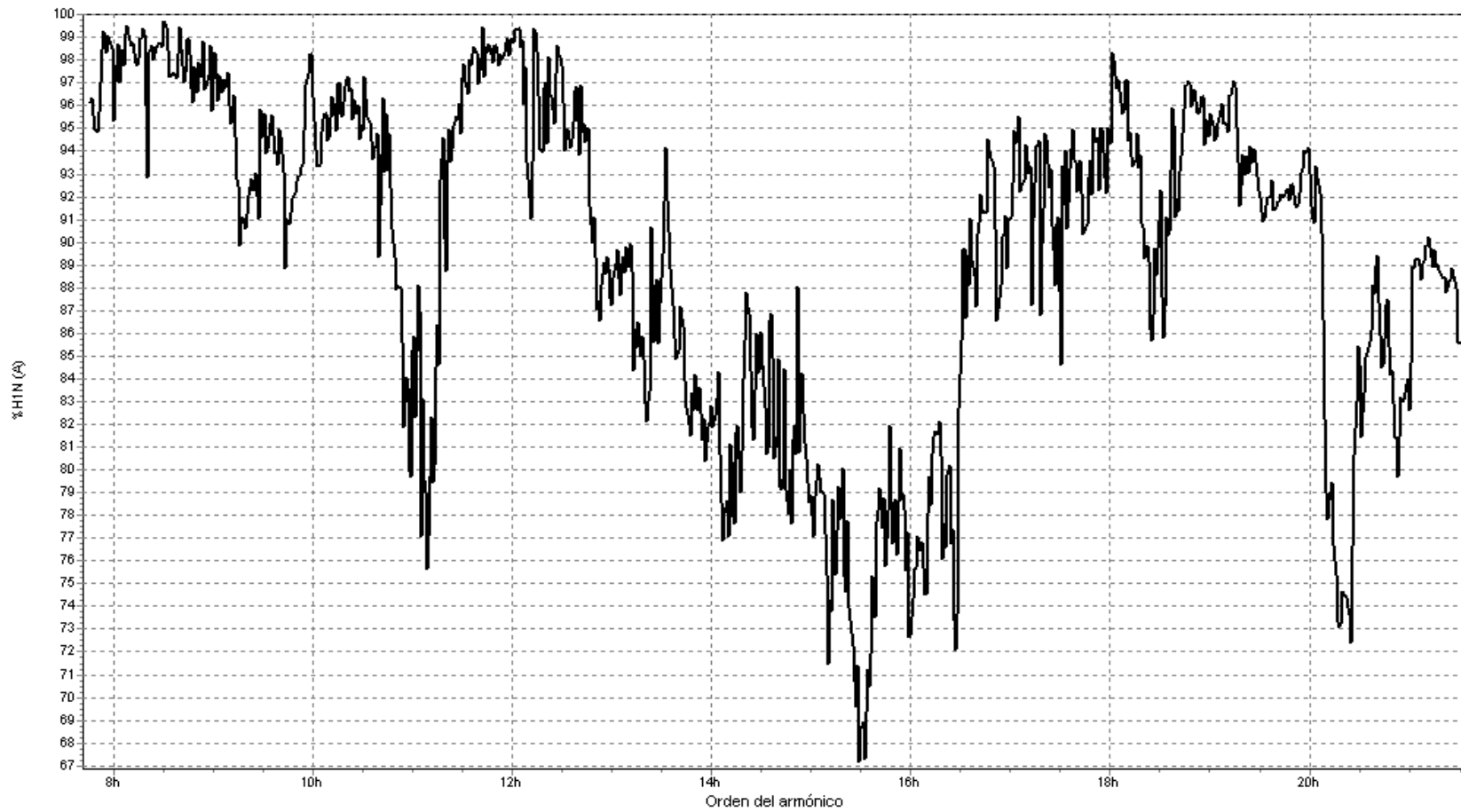
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





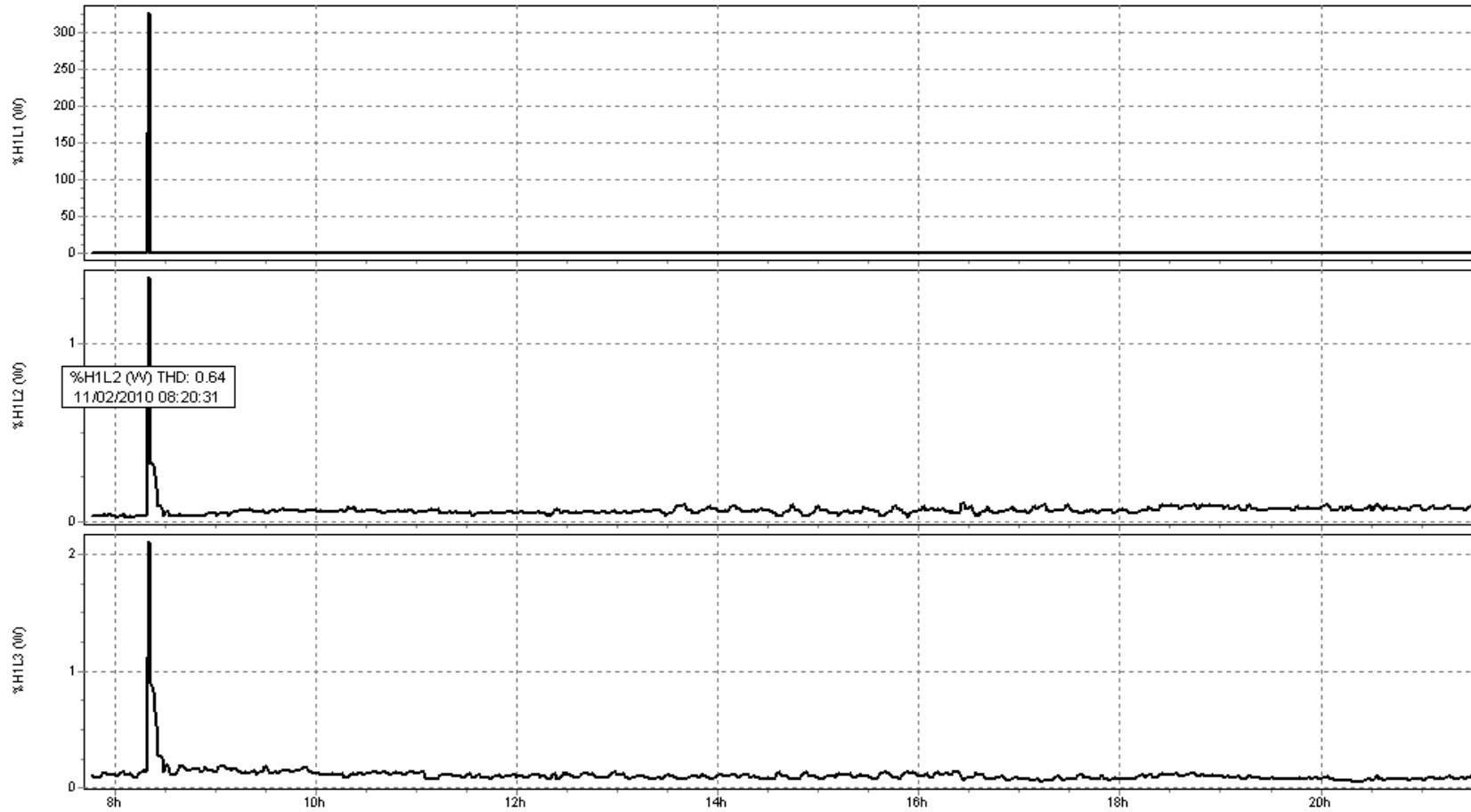
Gráfica 5.2.69 Distorsión Armónica Total de Voltaje en el Neutro

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



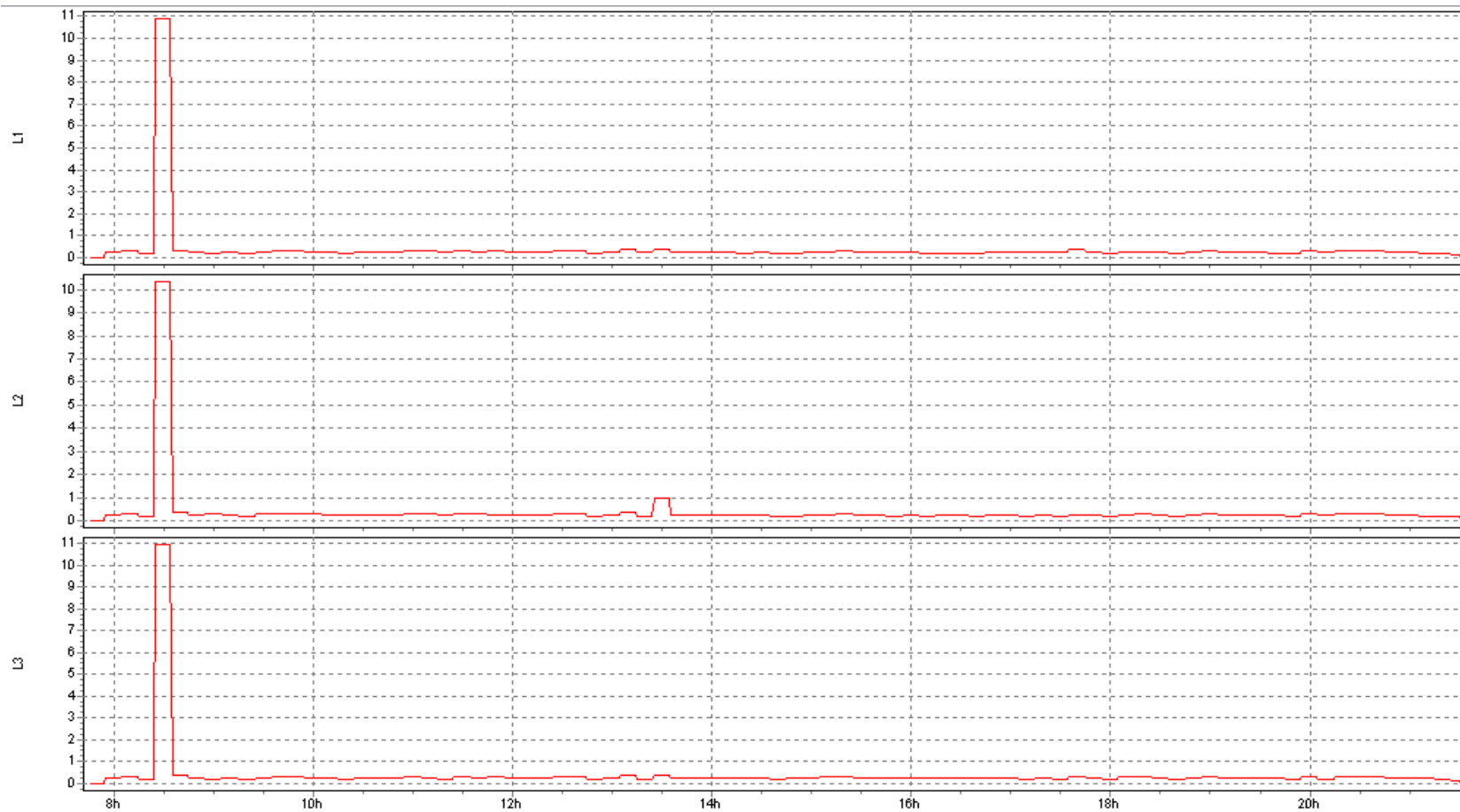
Gráfica 5.2.70 Distorsión Armónica Total de Corriente en el Neutro

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



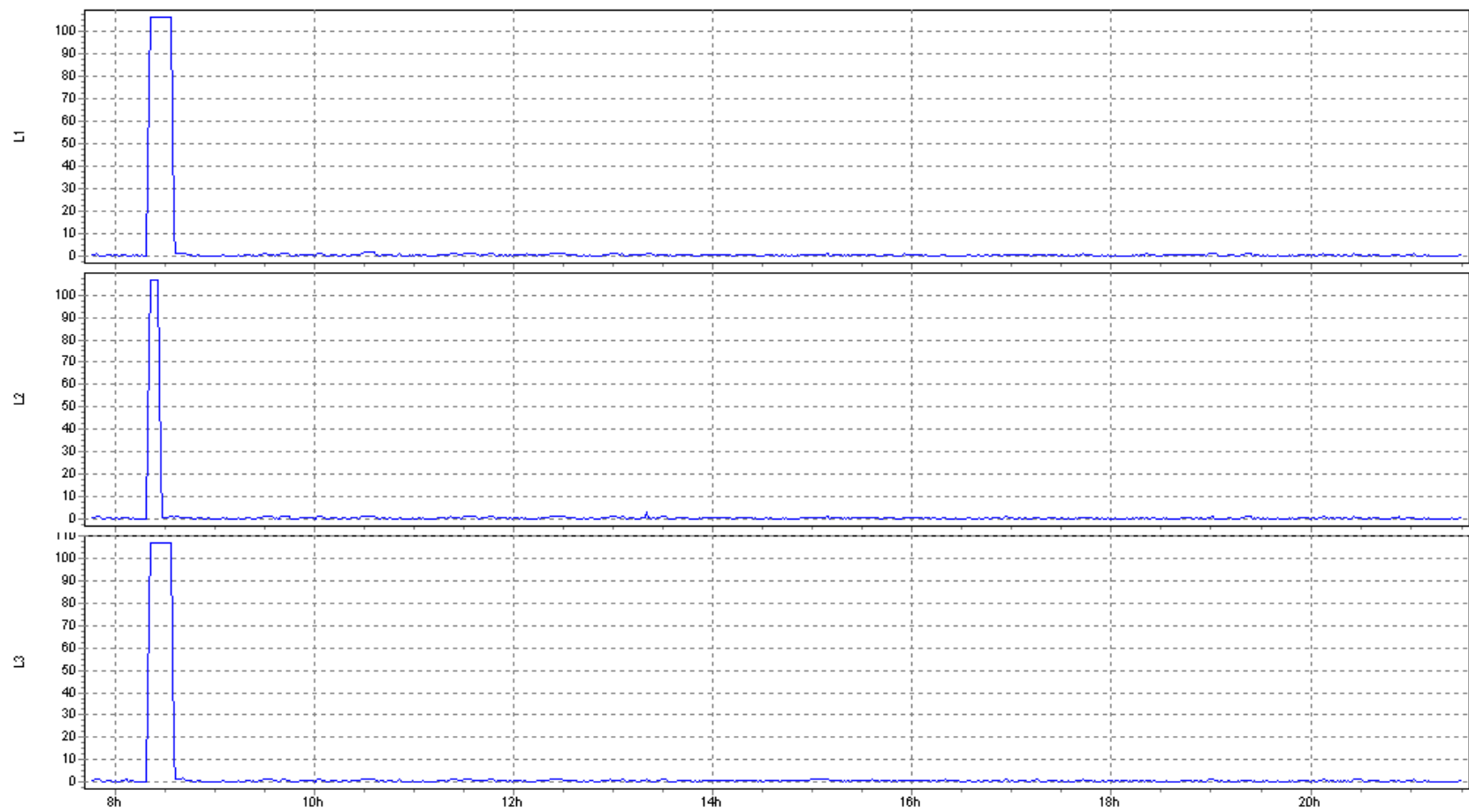
Gráfica 5.2.71 Distorsión Armónica Total de Potencia

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



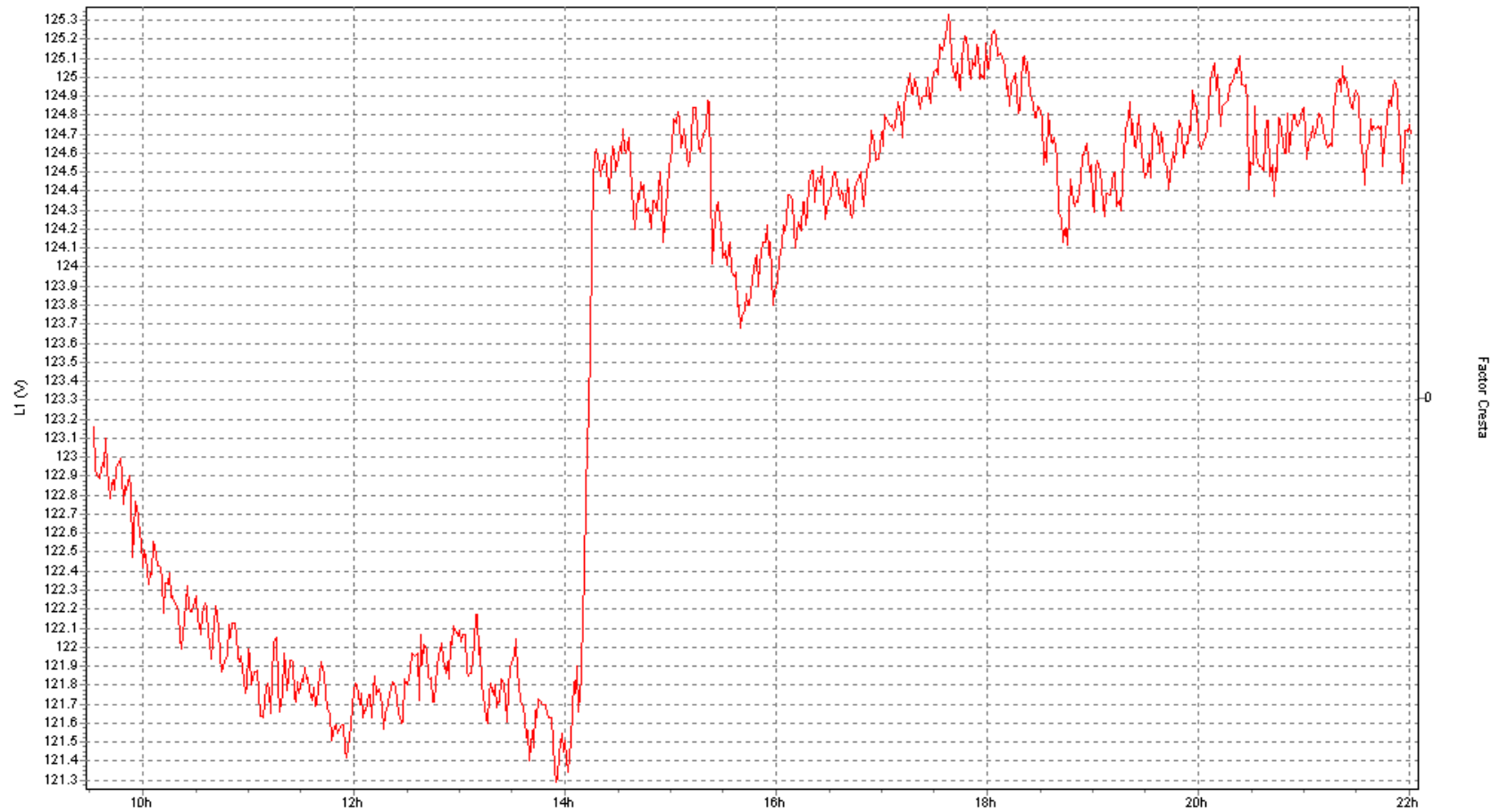
Gráfica 5.2.72 Perturbación de Corta Duración

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



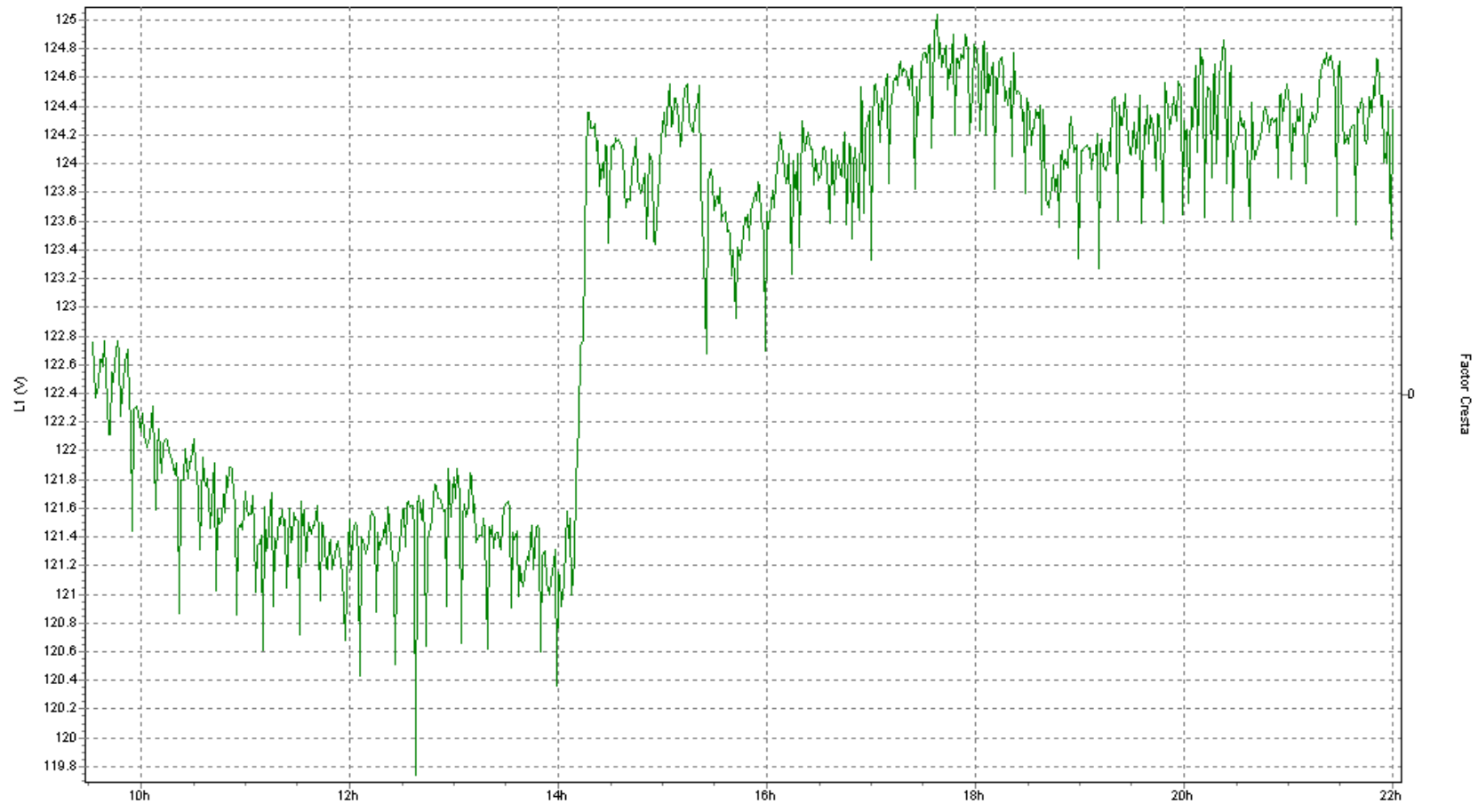
Gráfica 5.2.73 Perturbación de Larga Duración

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



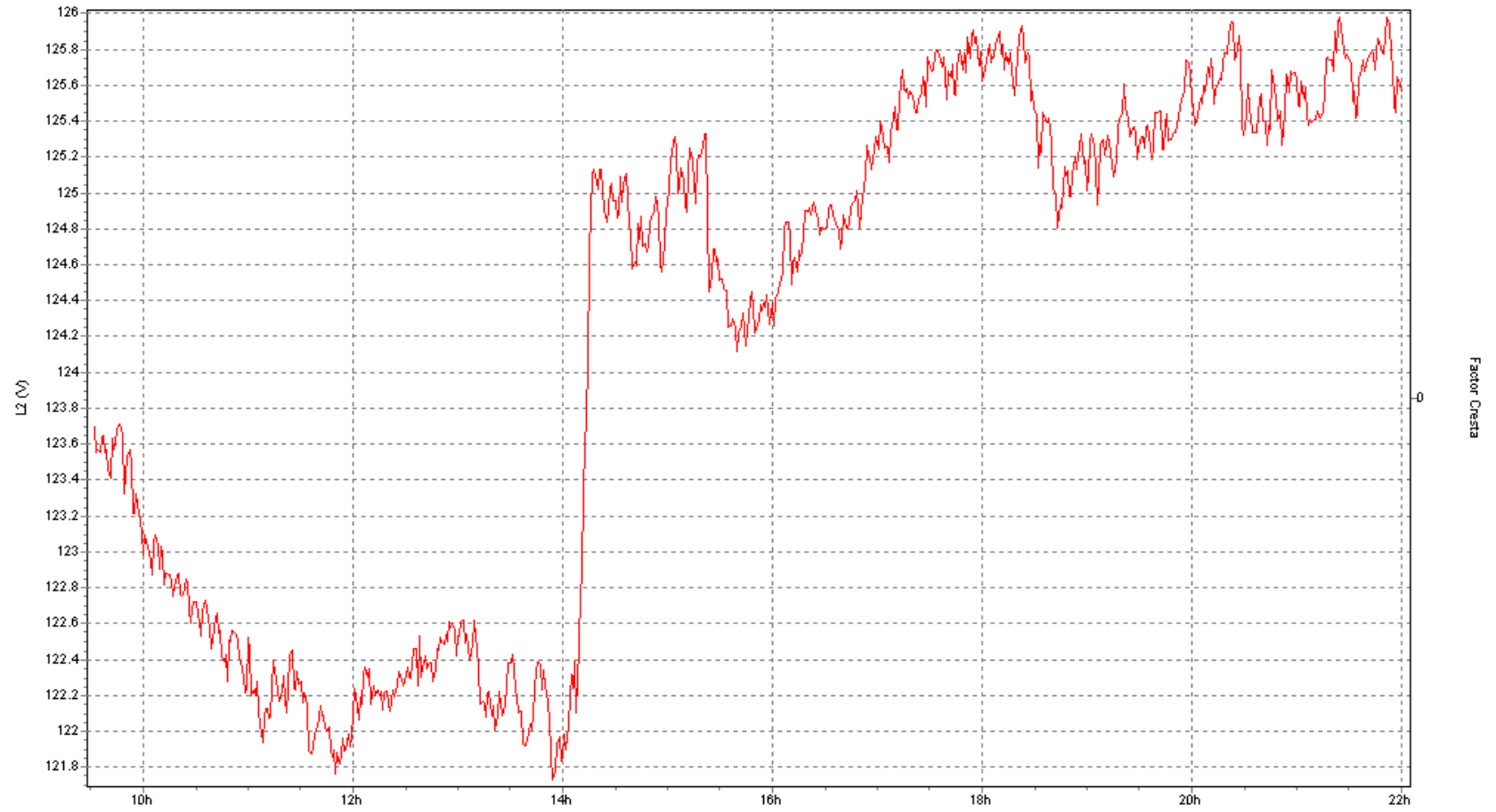
Gráfica 5.3.1 Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.2 Voltaje RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo

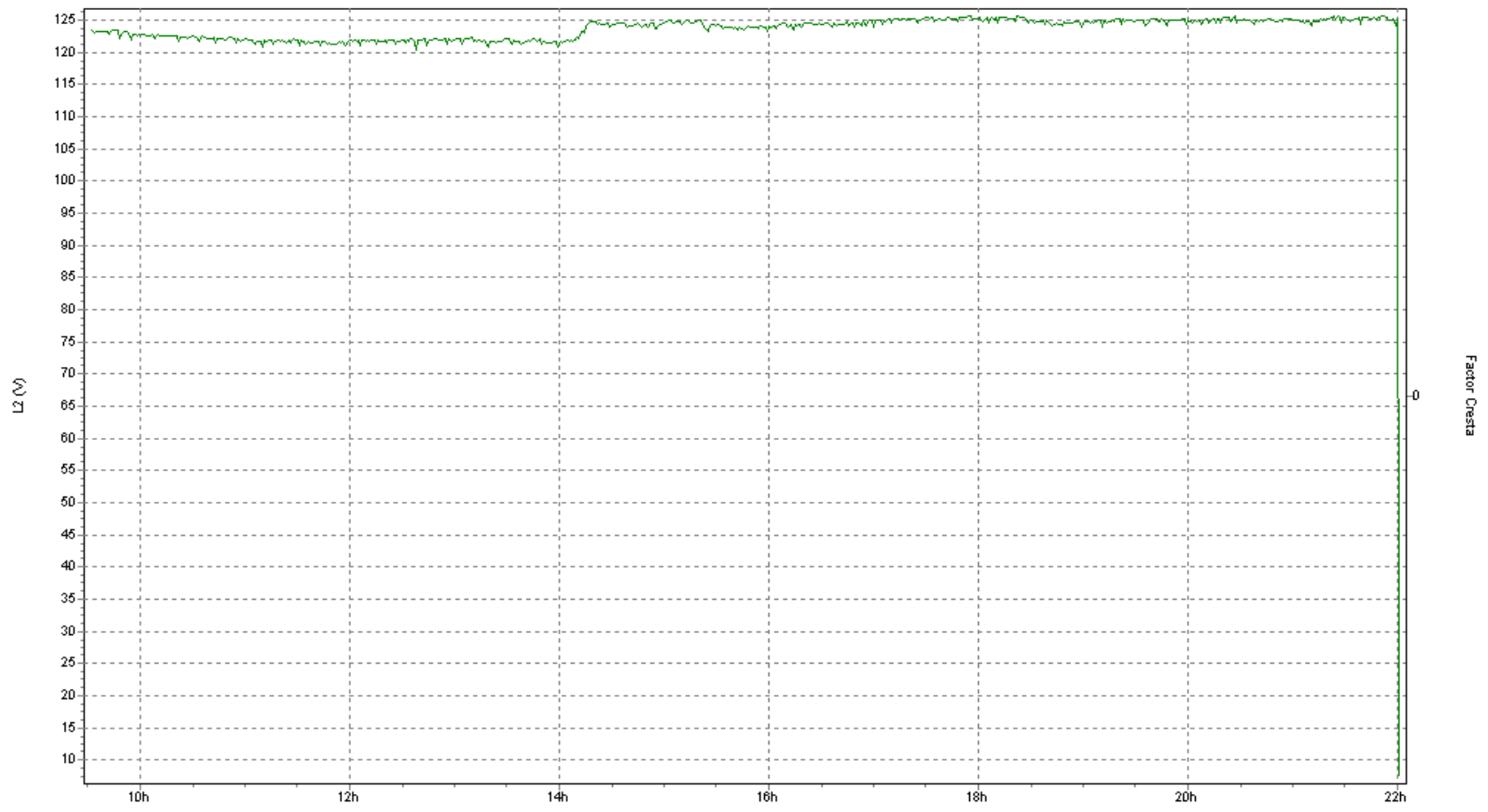
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.3 Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Máximo

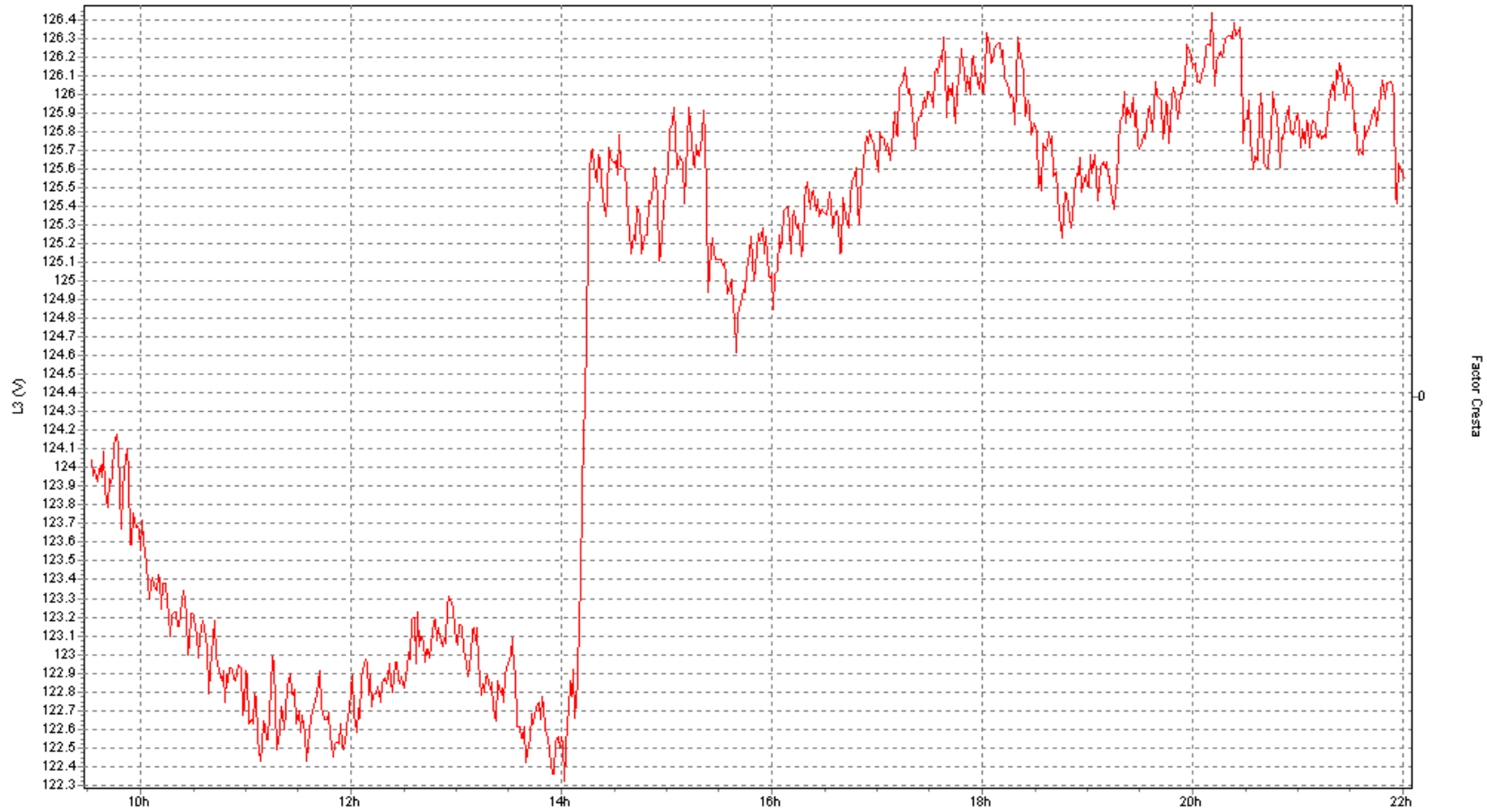
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





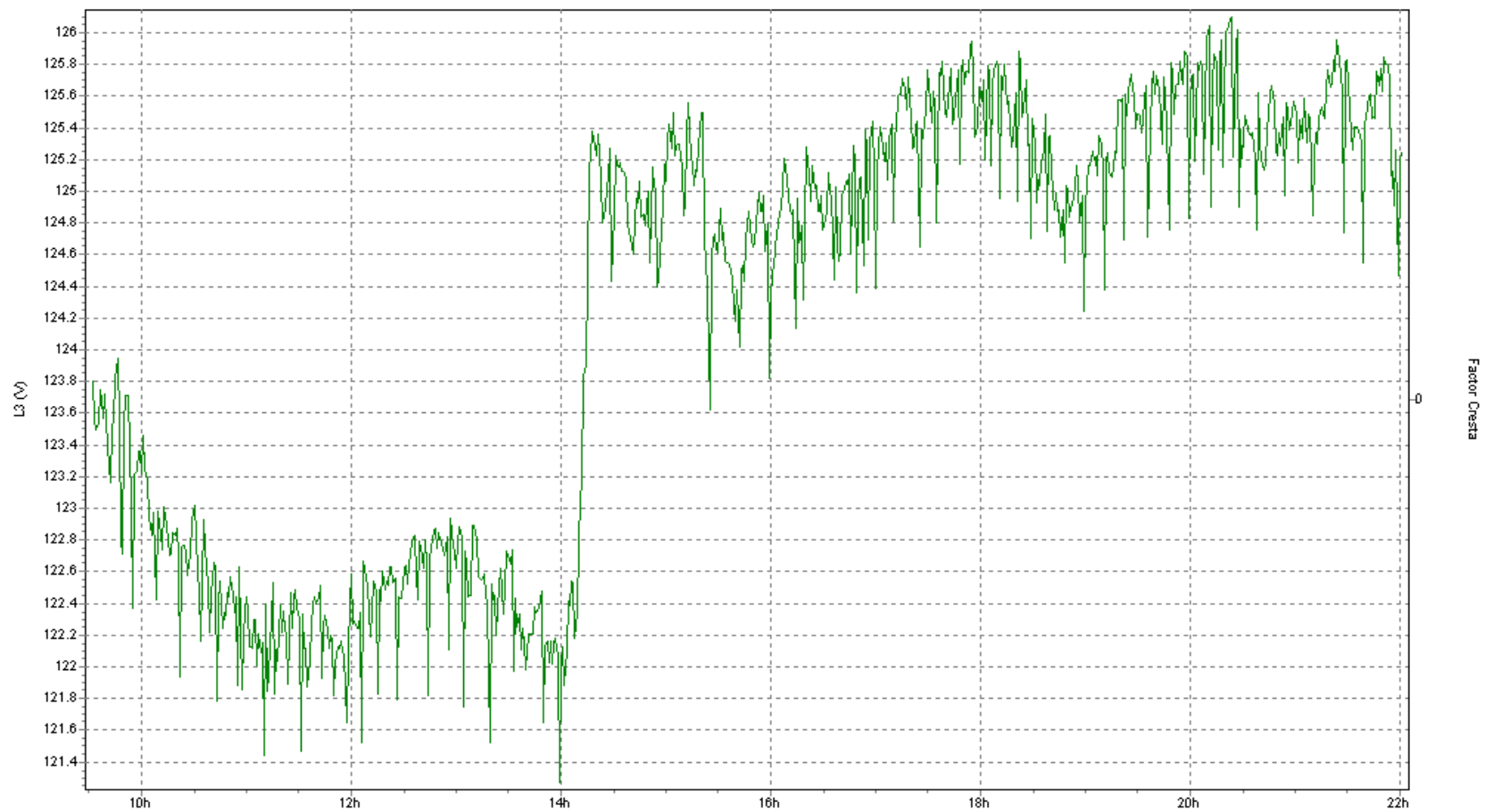
Gráfica 5.3.4 Voltaje RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



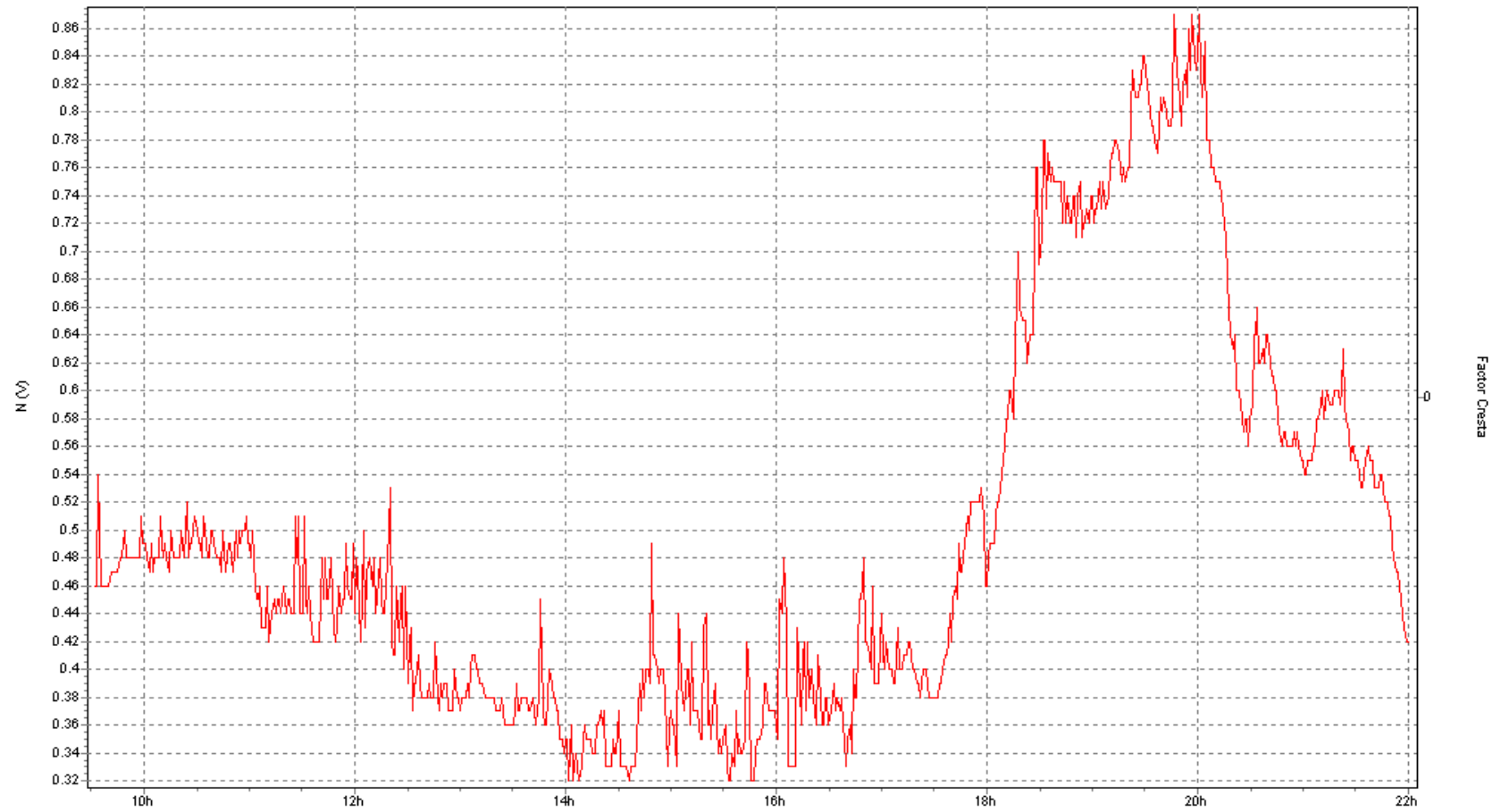
Gráfica 5.3.5 Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.6 Voltaje RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



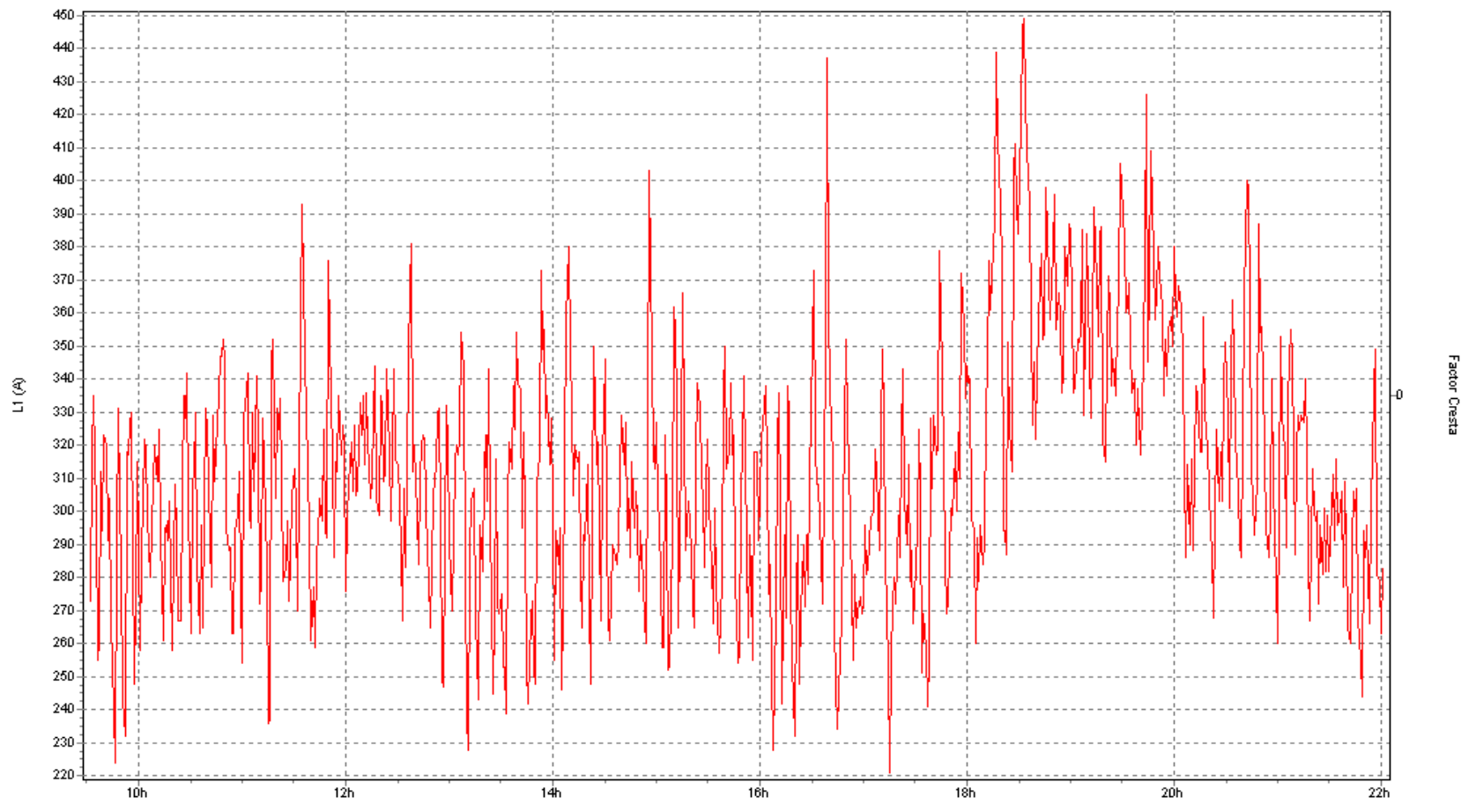
Gráfica 5.3.7 Voltaje RMS en el Neutro – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



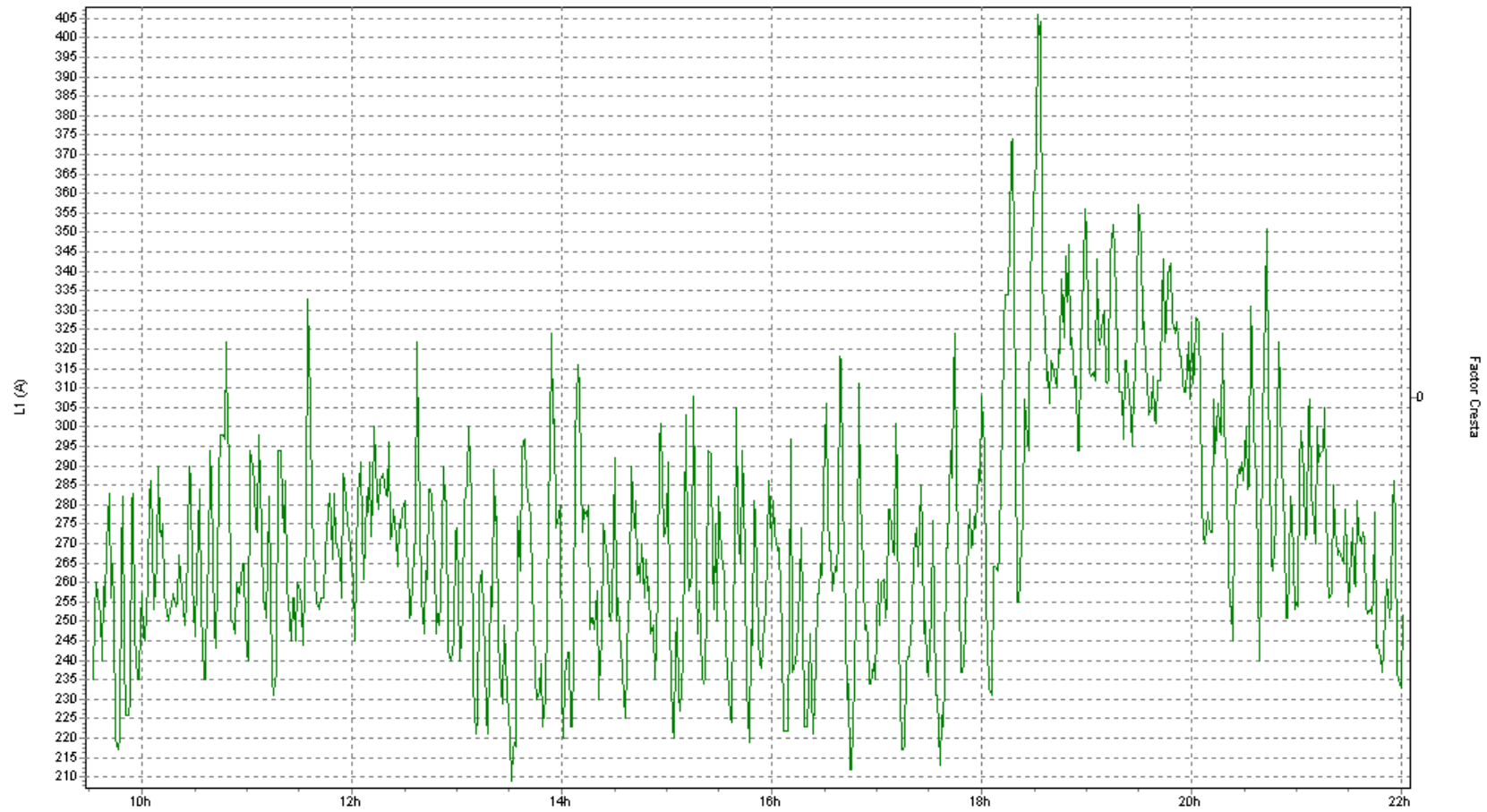
Gráfica 5.3.8 Voltaje RMS en el Neutro – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



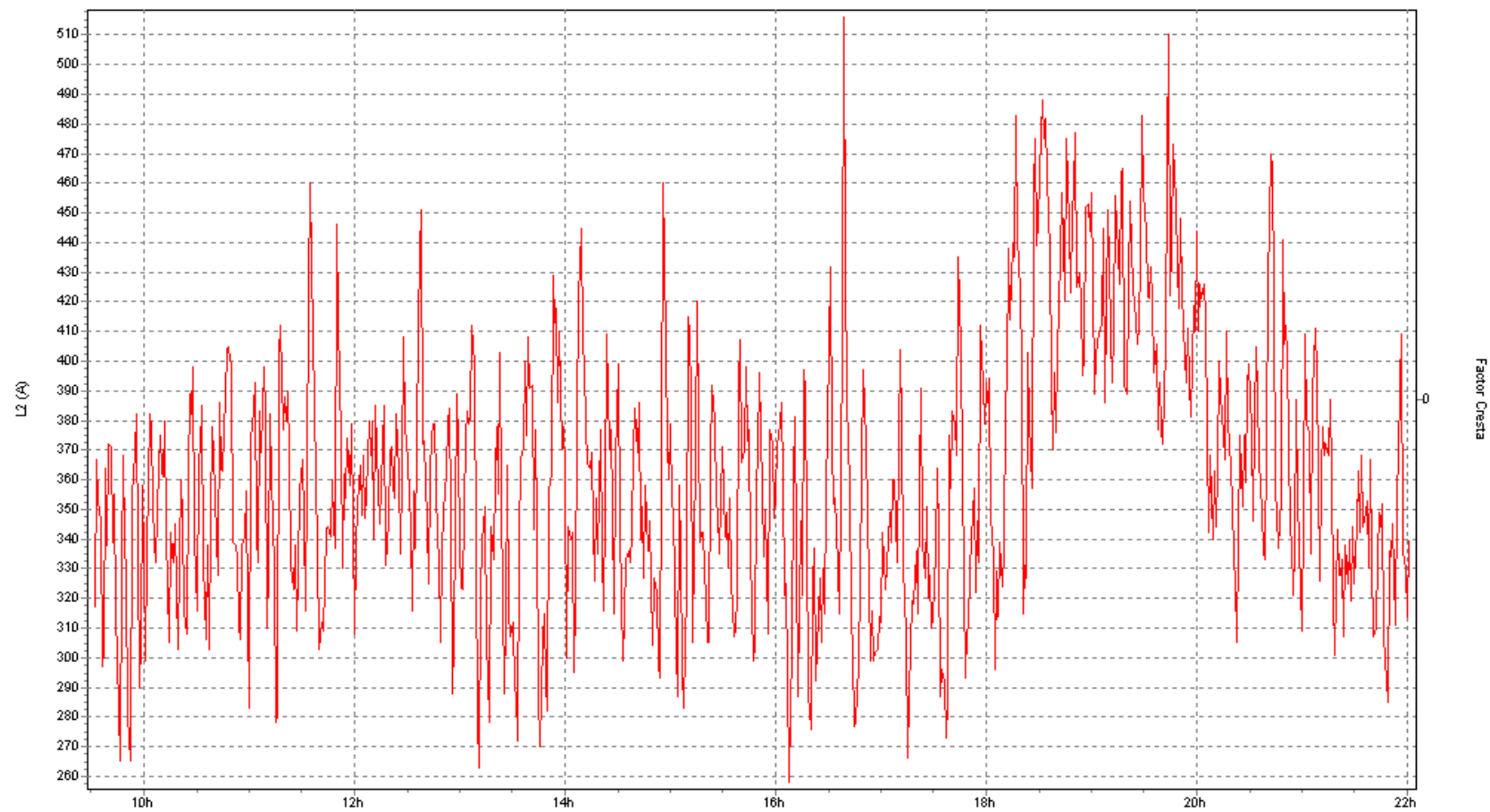
Gráfica 5.3.9 Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.10 Corriente RMS en la Línea 1 – Valor Mínimo

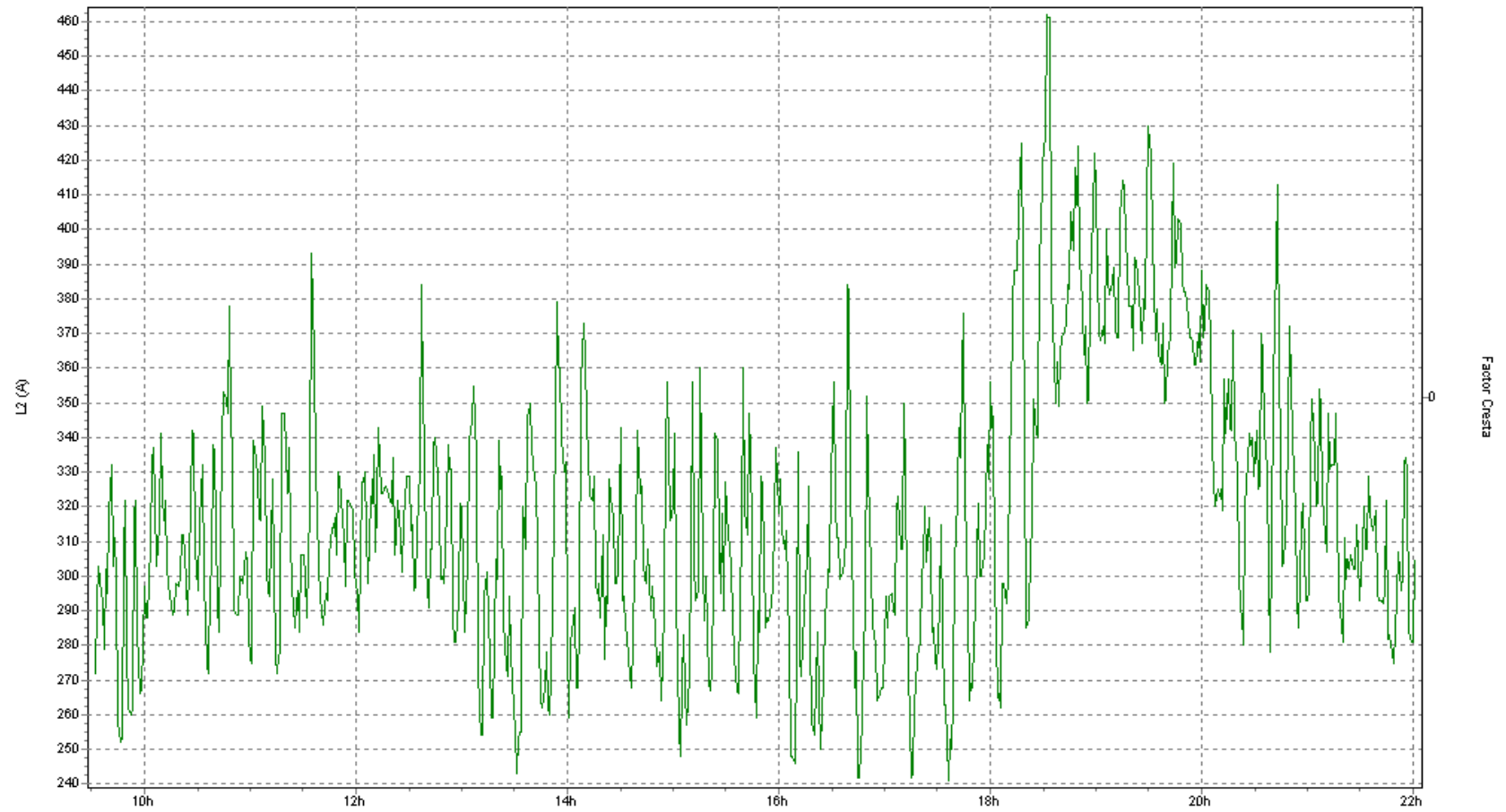
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.11 Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Máximo

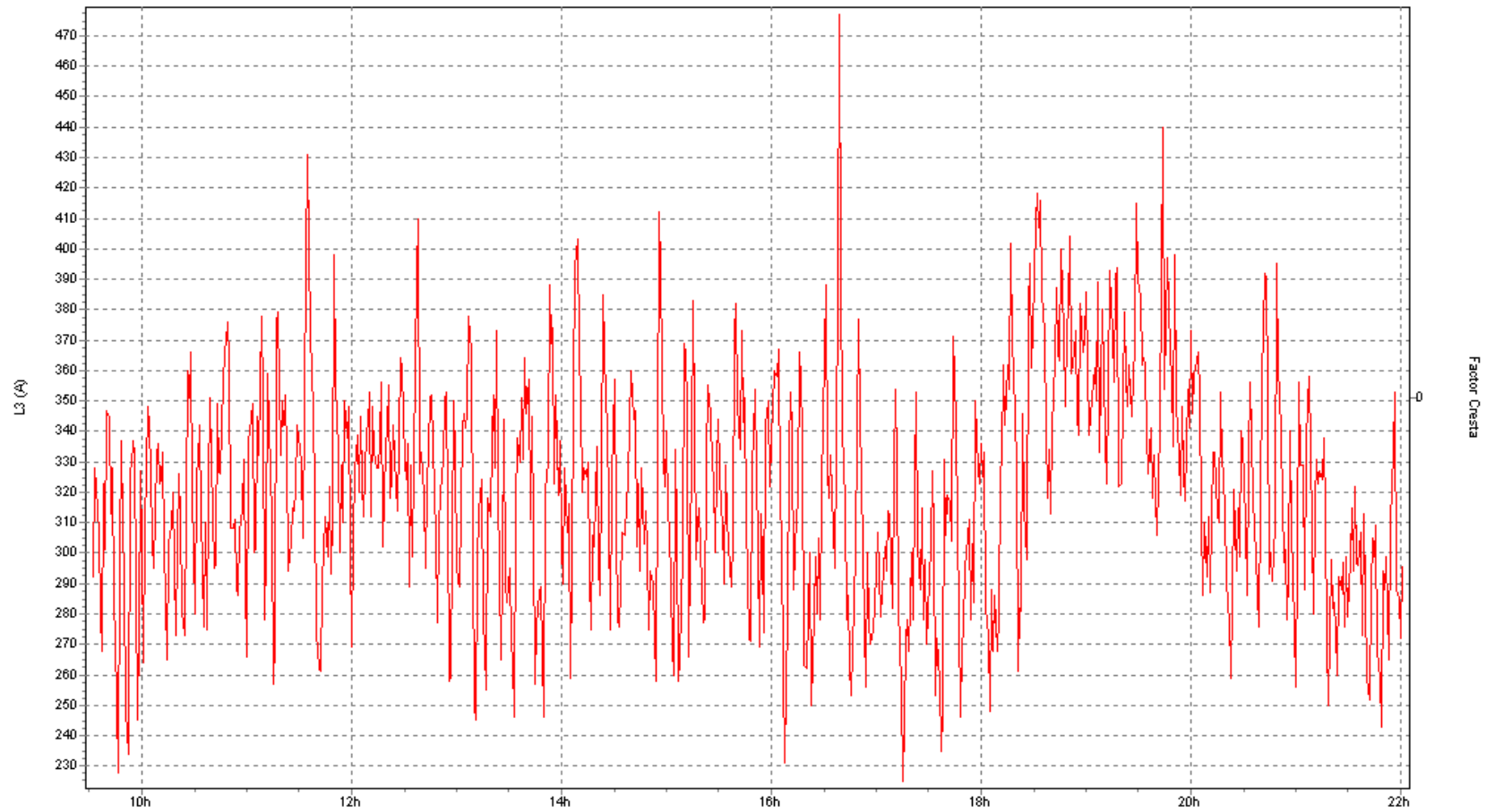
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





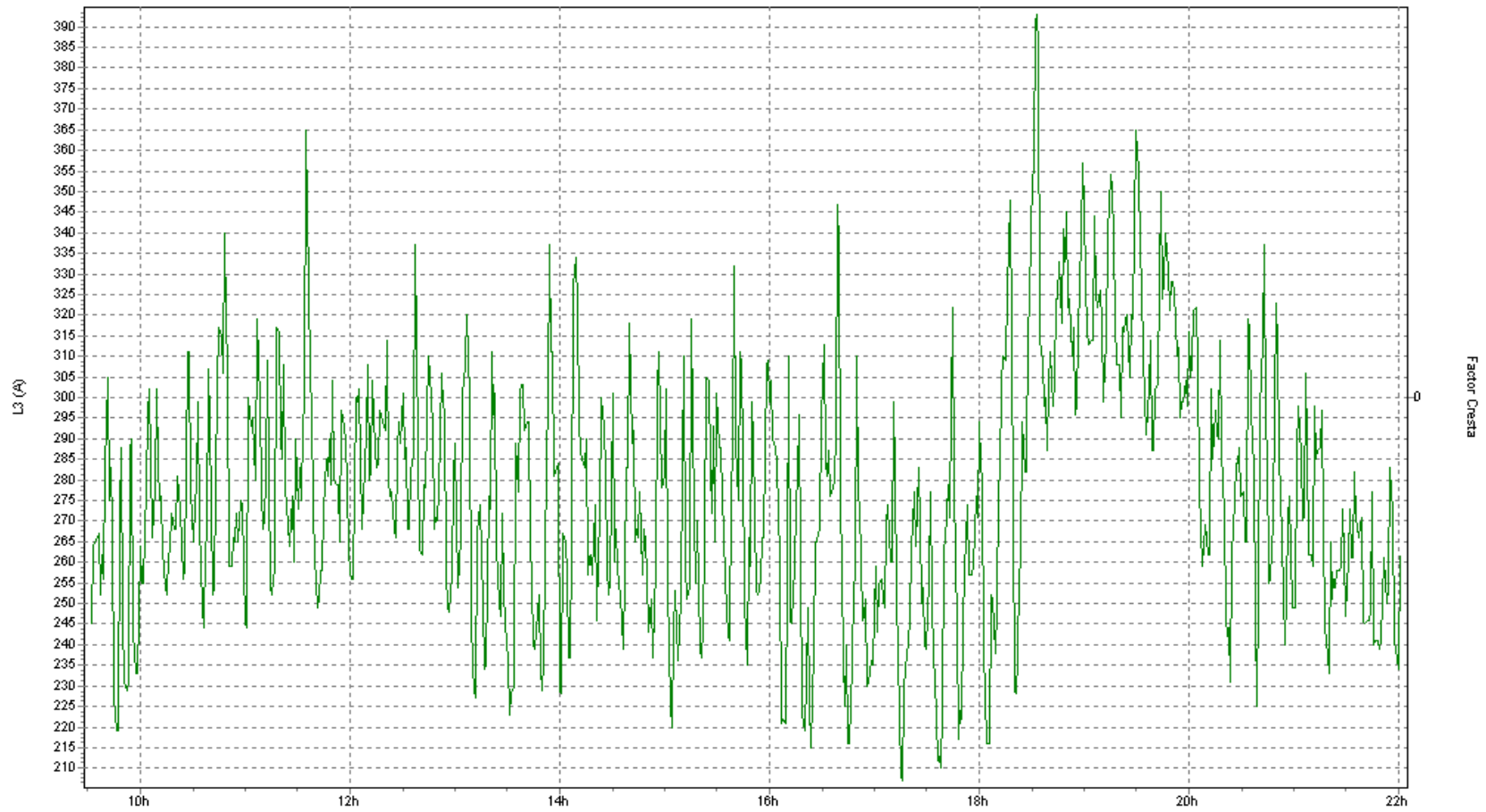
Gráfica 5.3.12 Corriente RMS en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



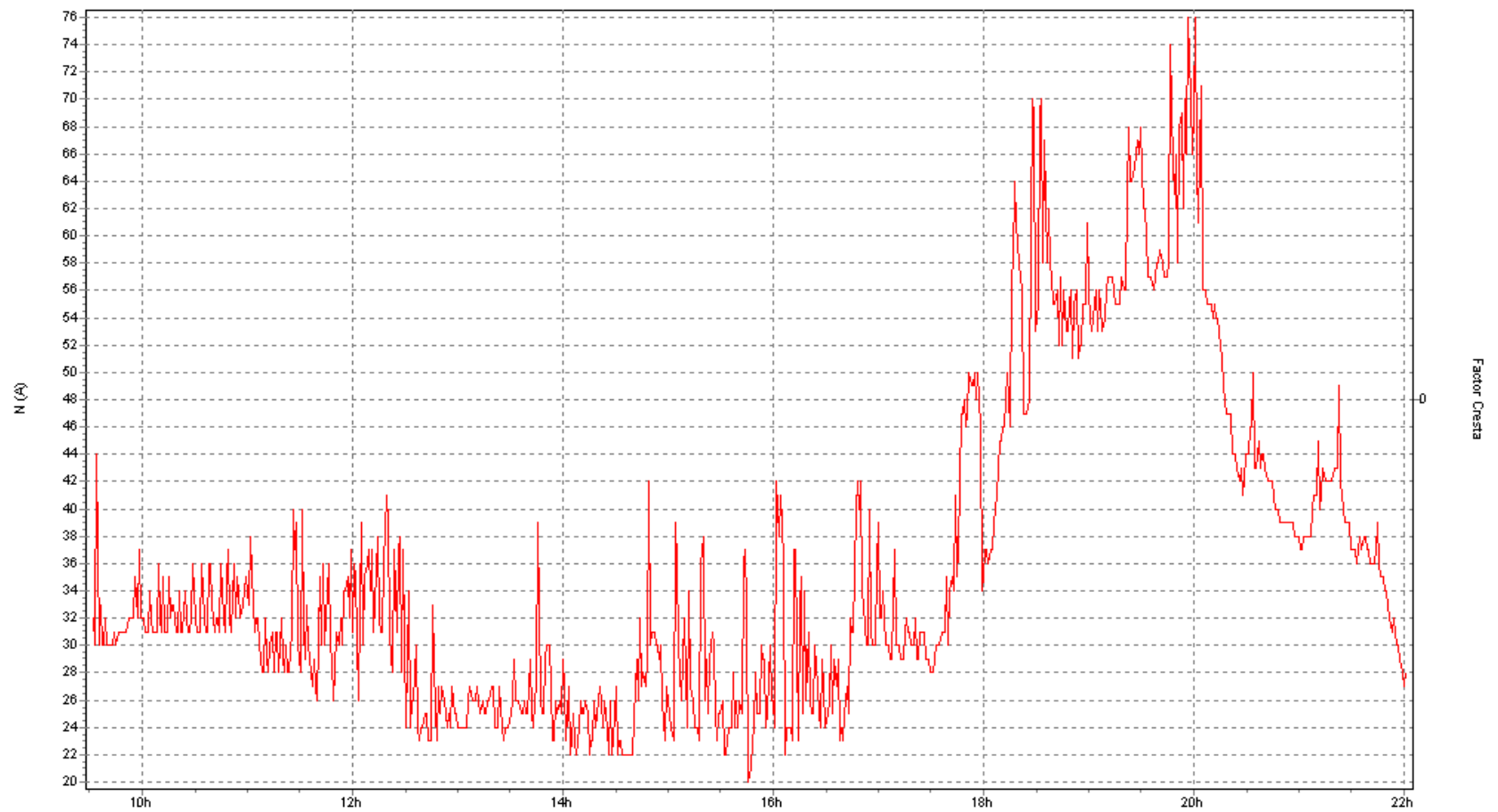
Gráfica 5.3.13 Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



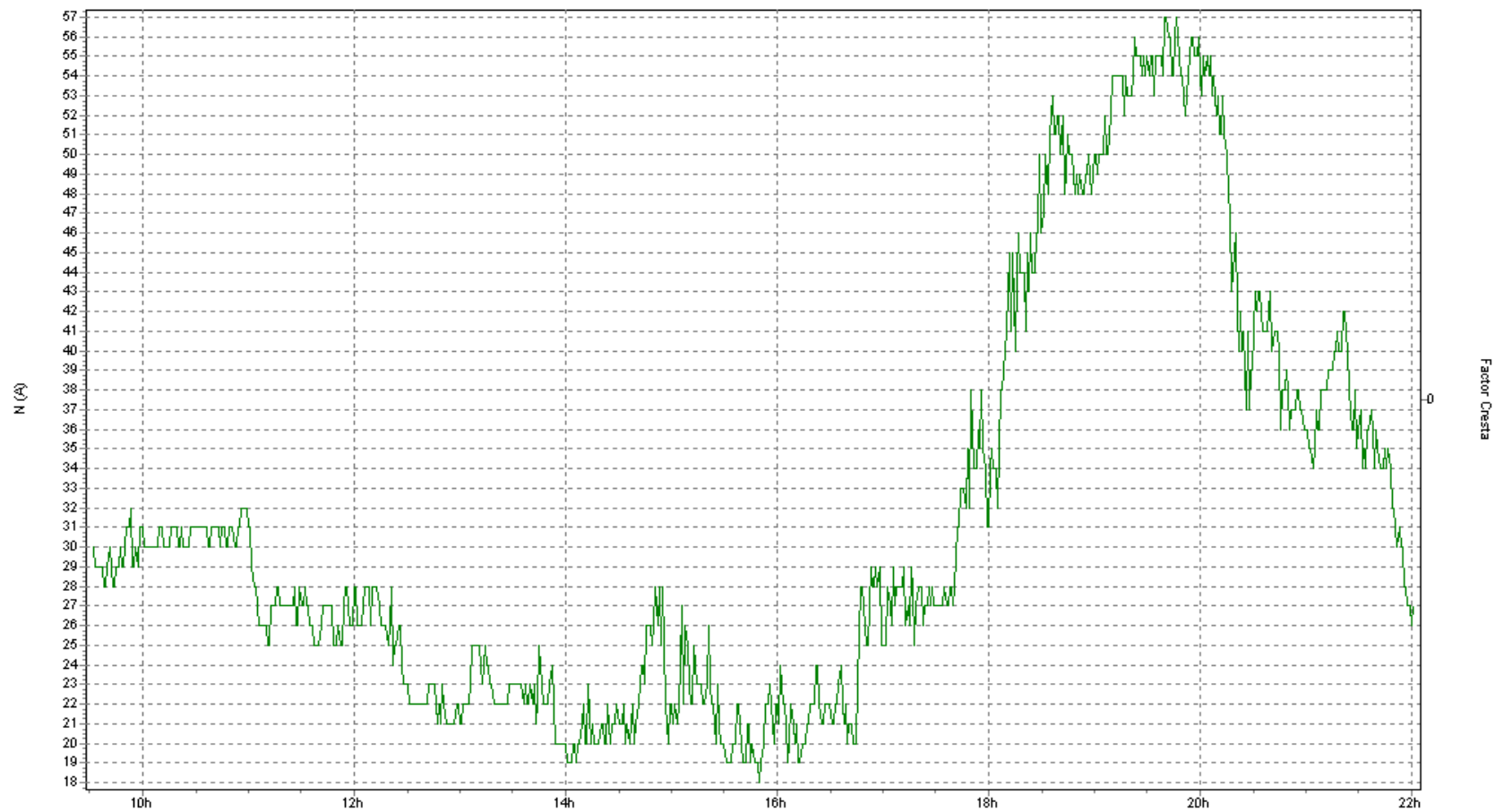
Gráfica 5.3.14 Corriente RMS en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



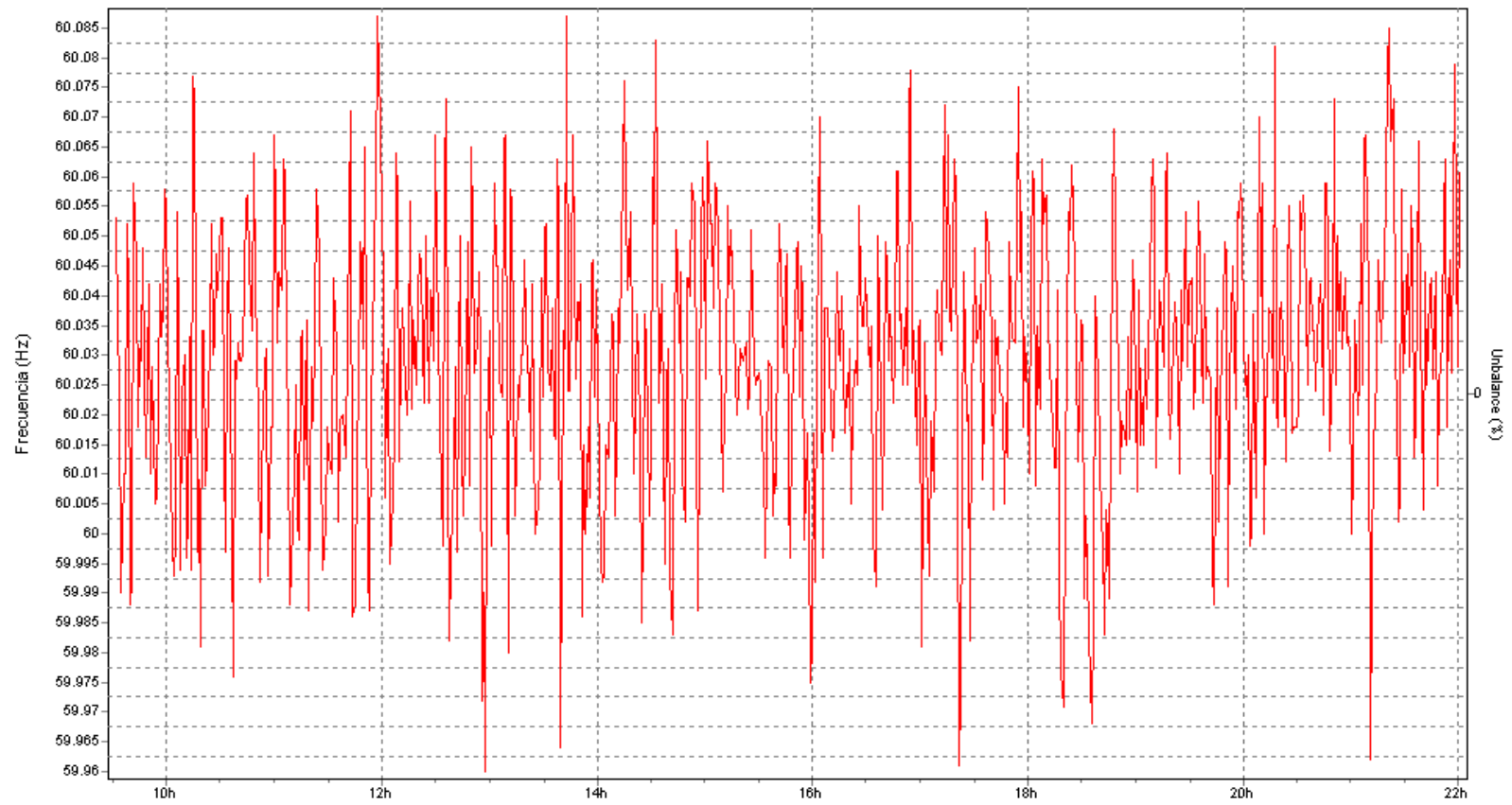
Gráfica 5.3.15 Corriente RMS en el Neutro – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



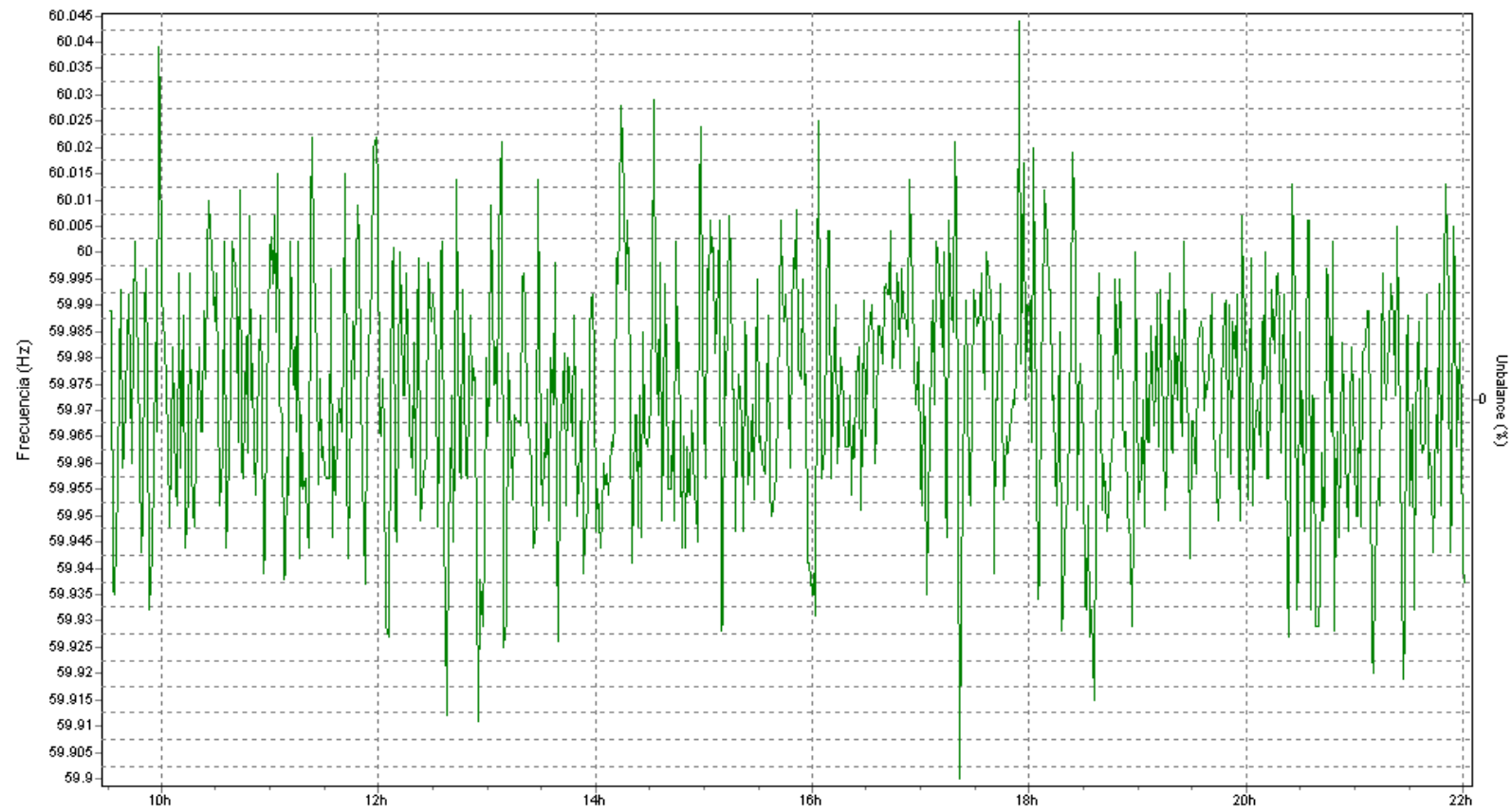
Gráfica 5.3.16 Corriente RMS en el Neutro – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



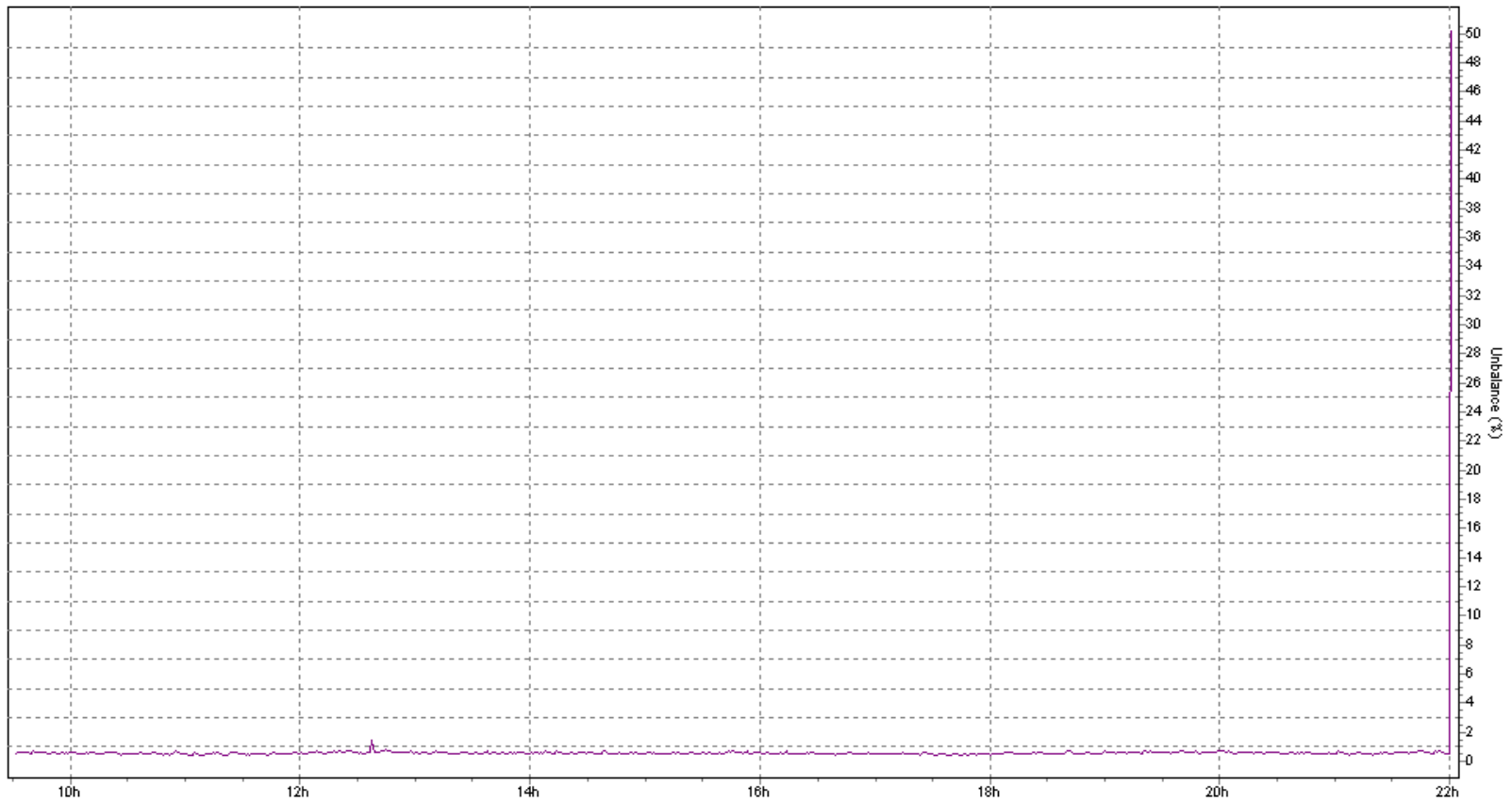
Gráfica 5.3.17 Frecuencia del Sistema – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.18 Frecuencia del Sistema – Valor Mínimo

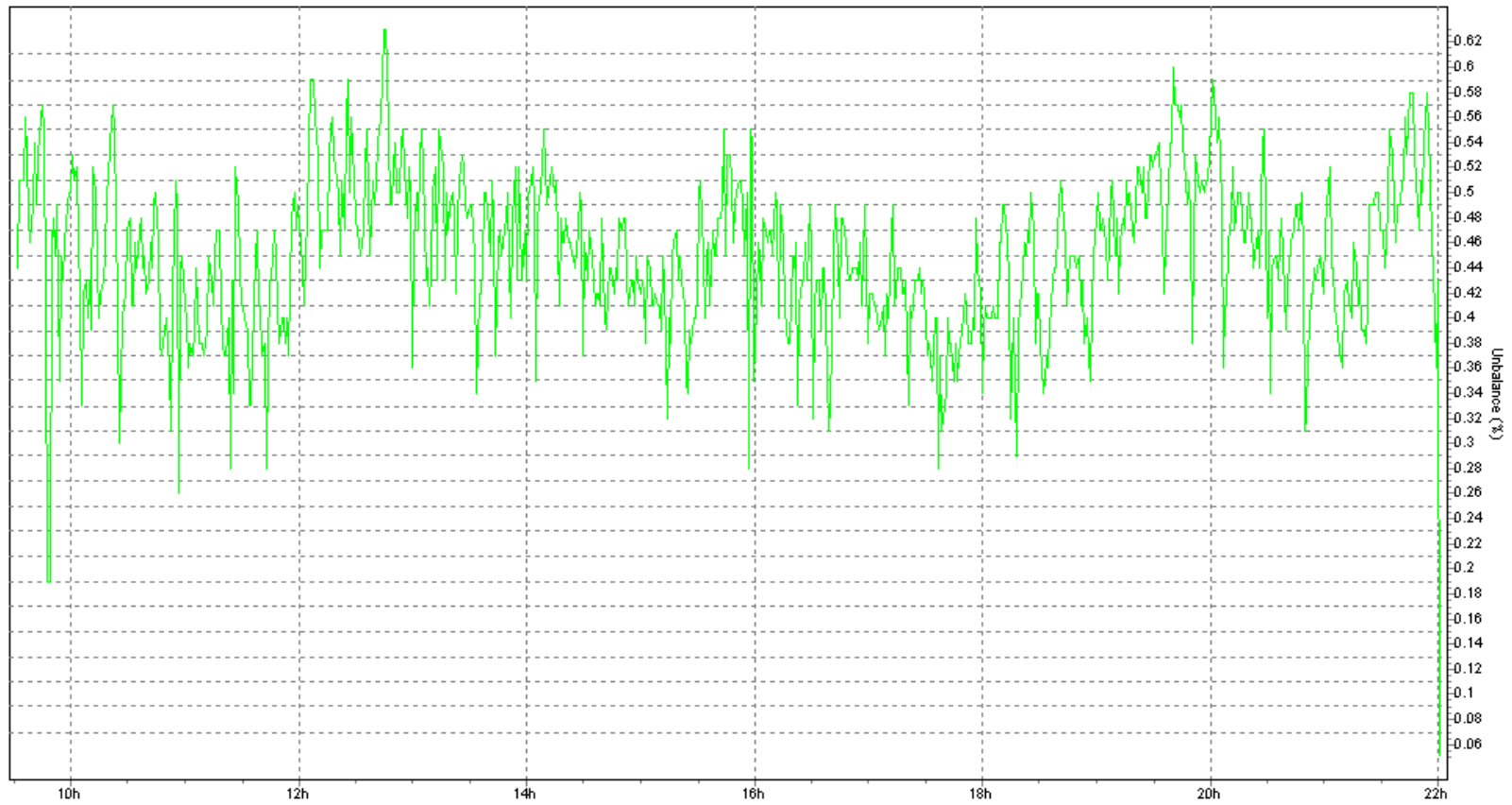
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.19 Desbalance de Voltaje – Valor Máximo

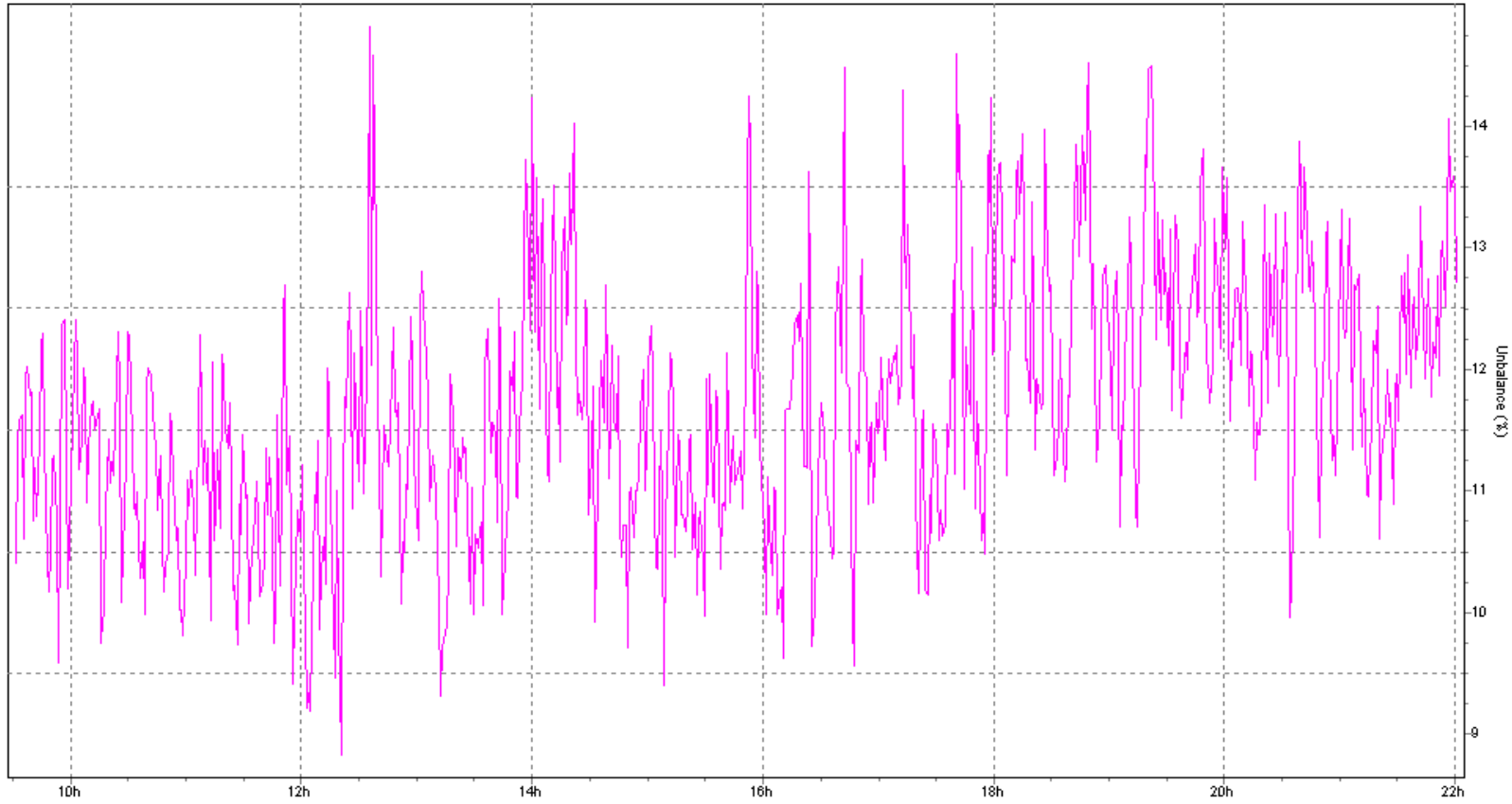
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





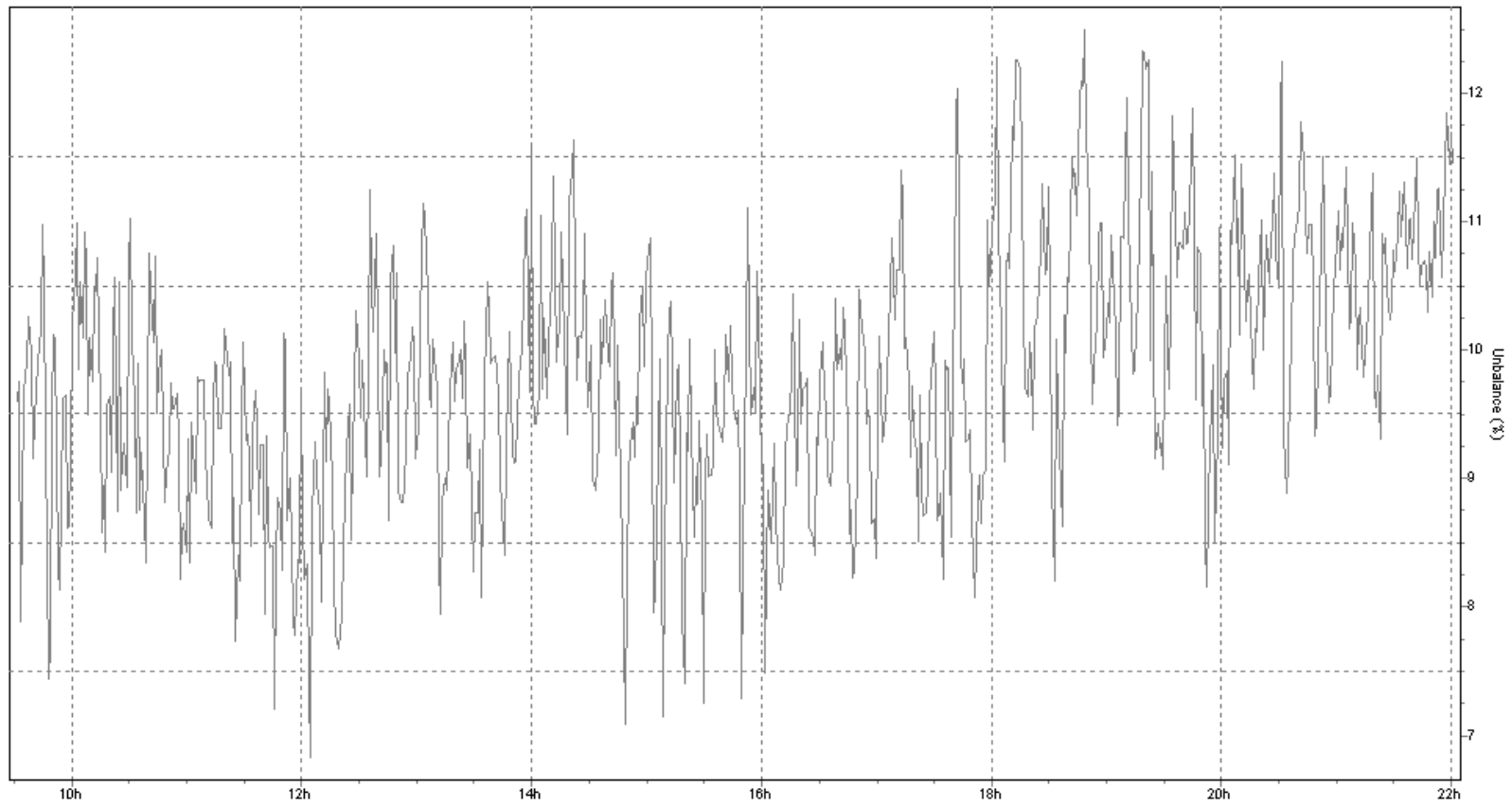
Gráfica 5.3.20 Desbalance de Voltaje – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



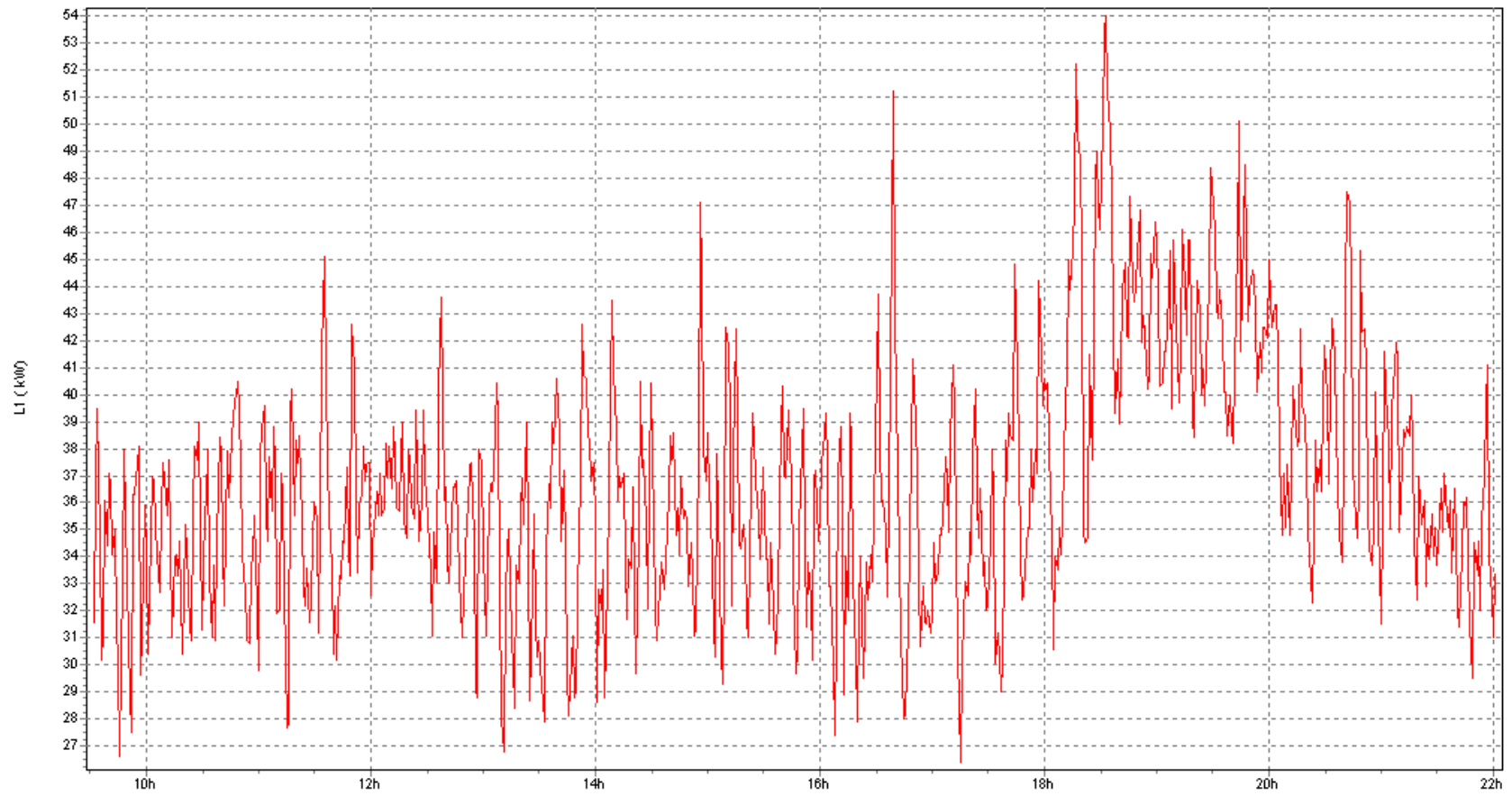
Gráfica 5.3.21 Desbalance de Corriente – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



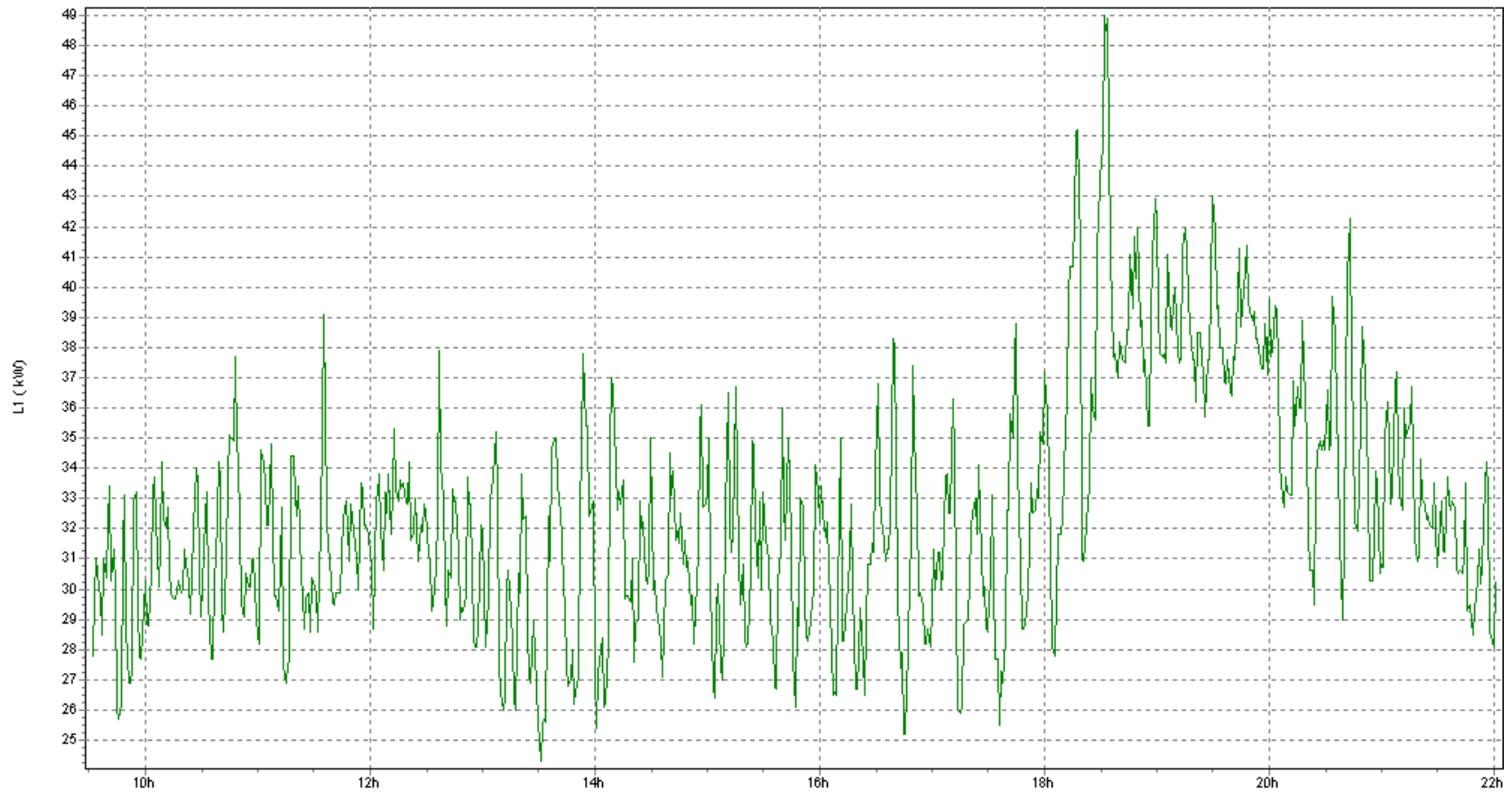
Gráfica 5.3.22 Desbalance de Corriente – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.23 Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



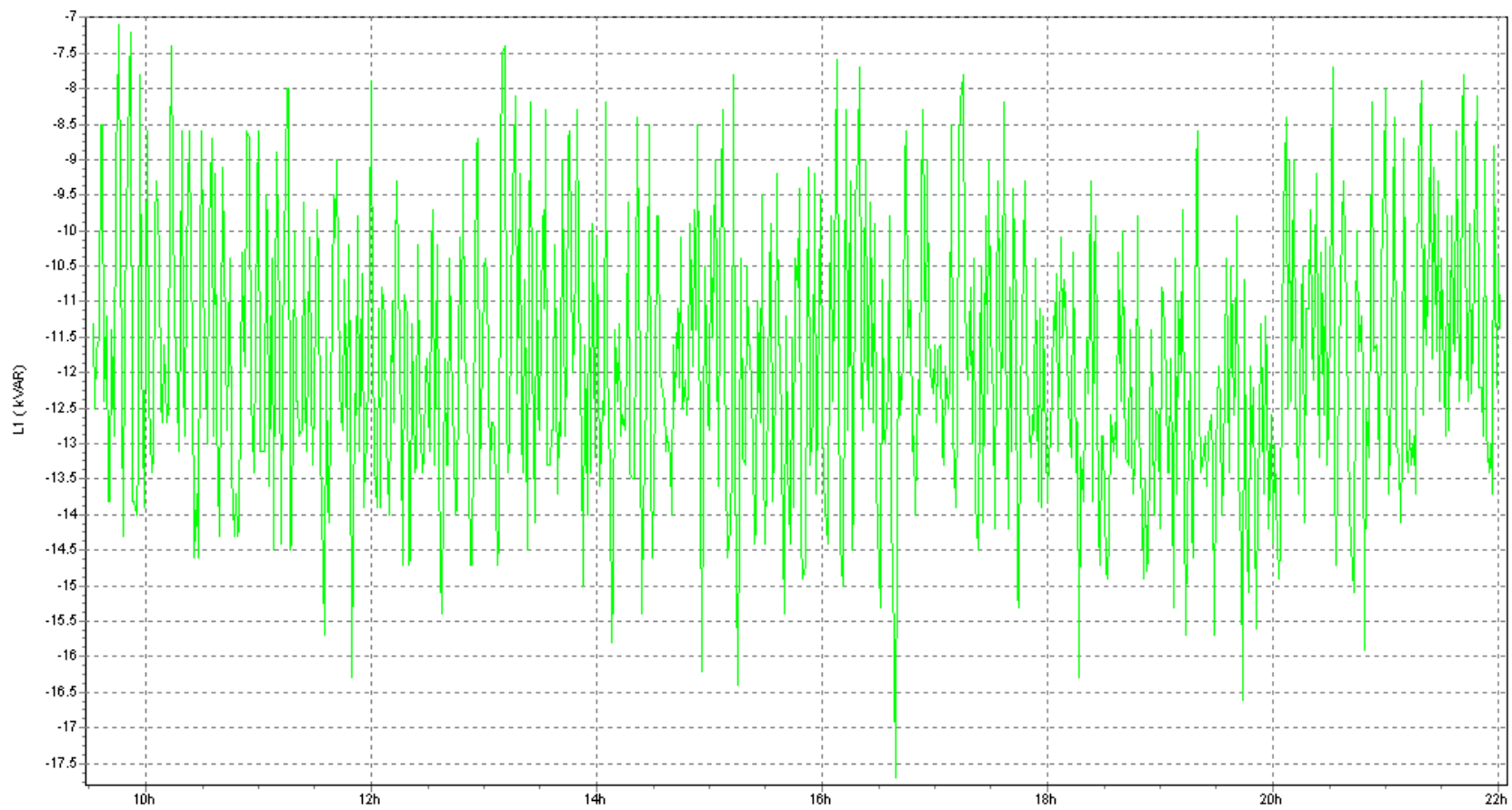
Gráfica 5.3.24 Potencia Activa en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



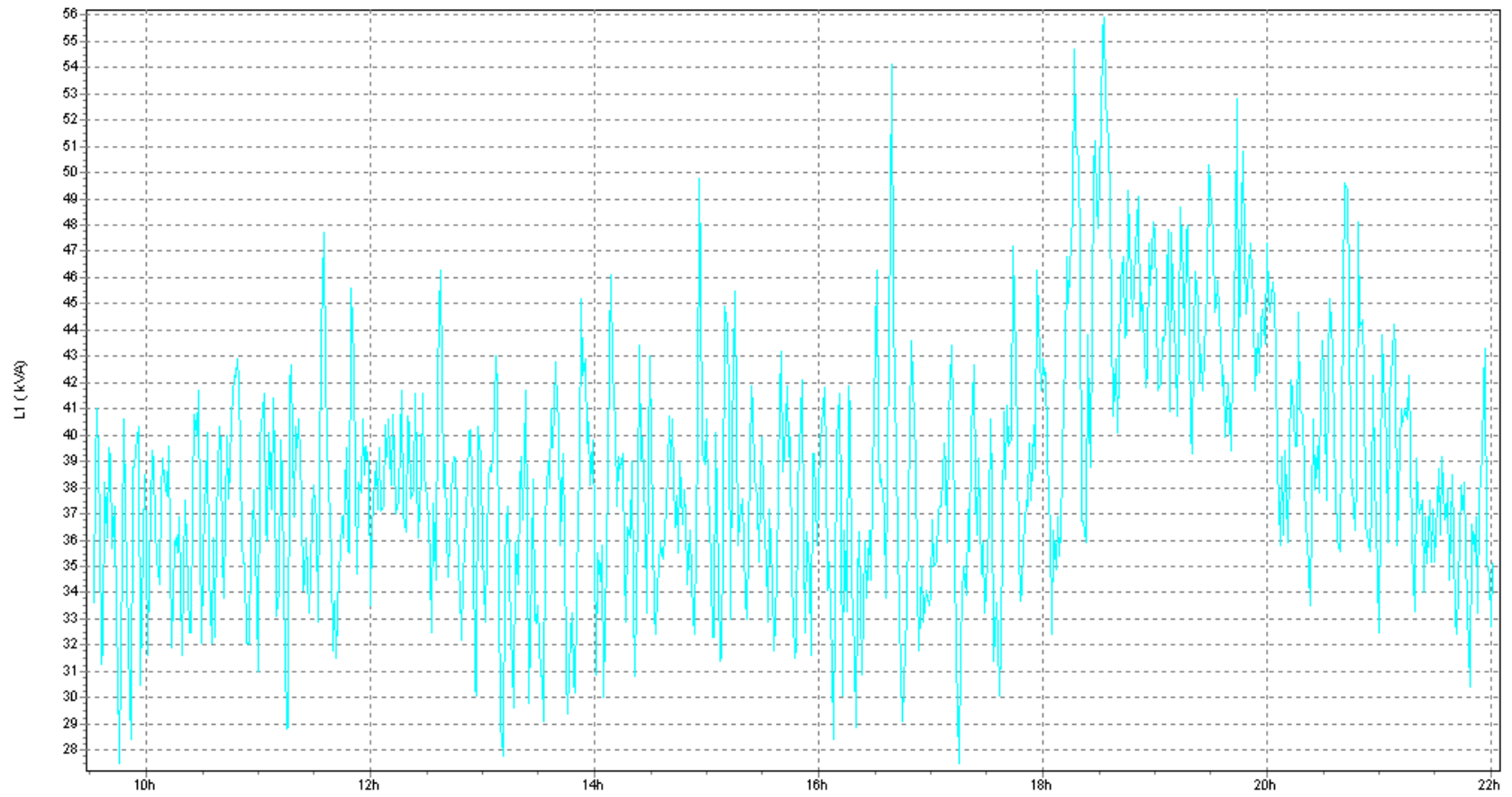
Gráfica 5.3.25 Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.26 Potencia Reactiva en la Línea 1 – Valor Mínimo

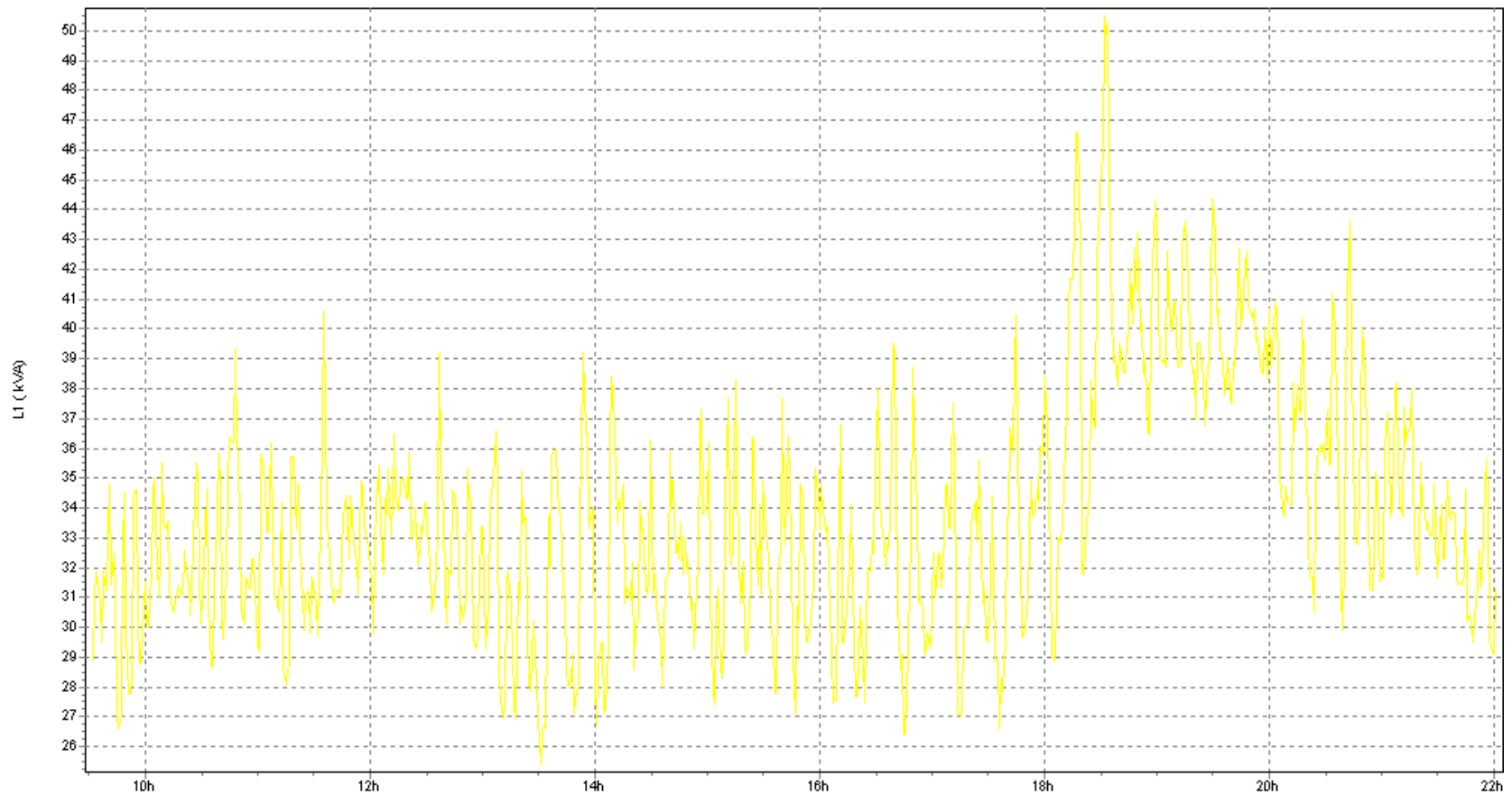
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.27 Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Máximo

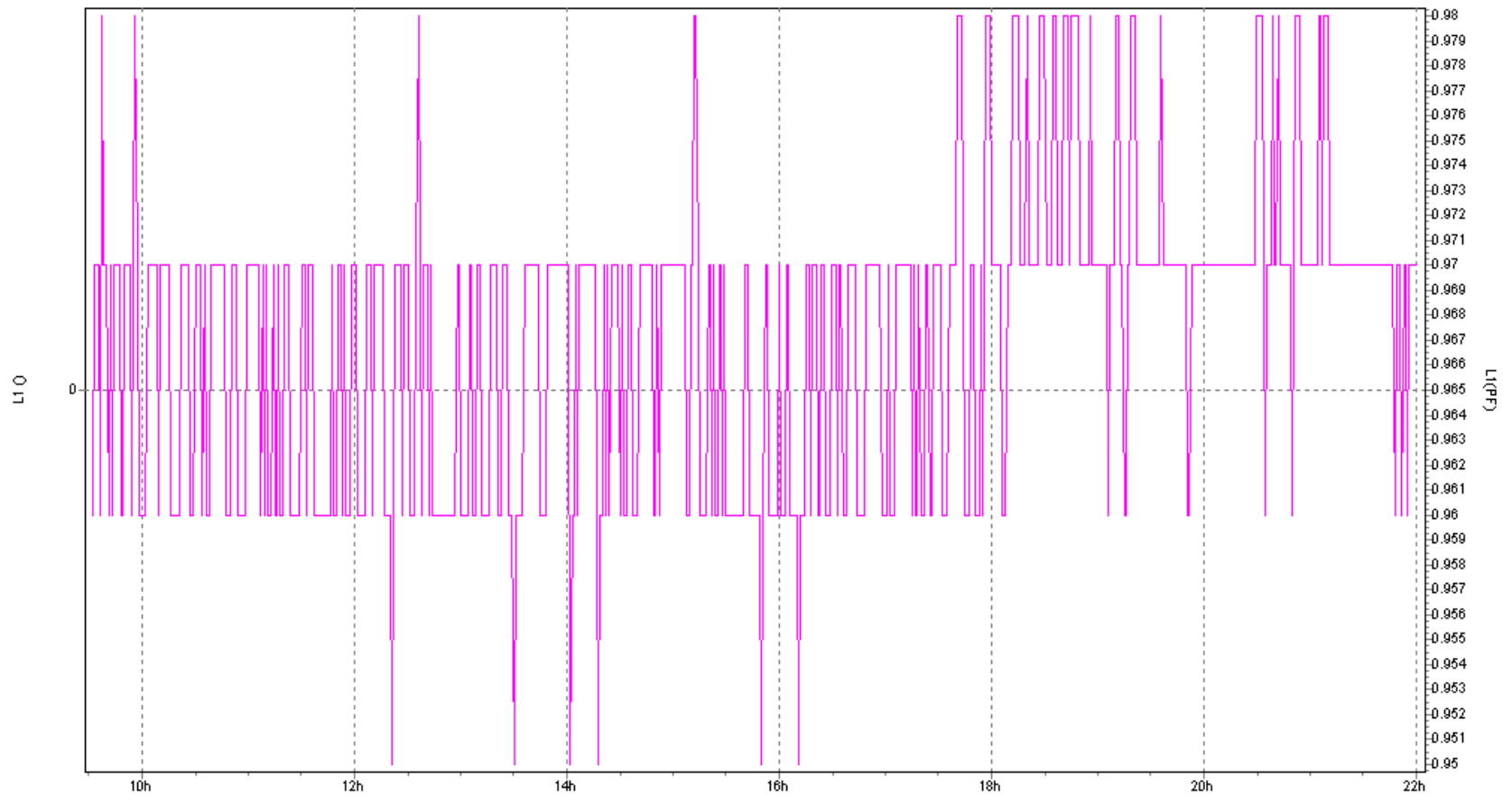
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





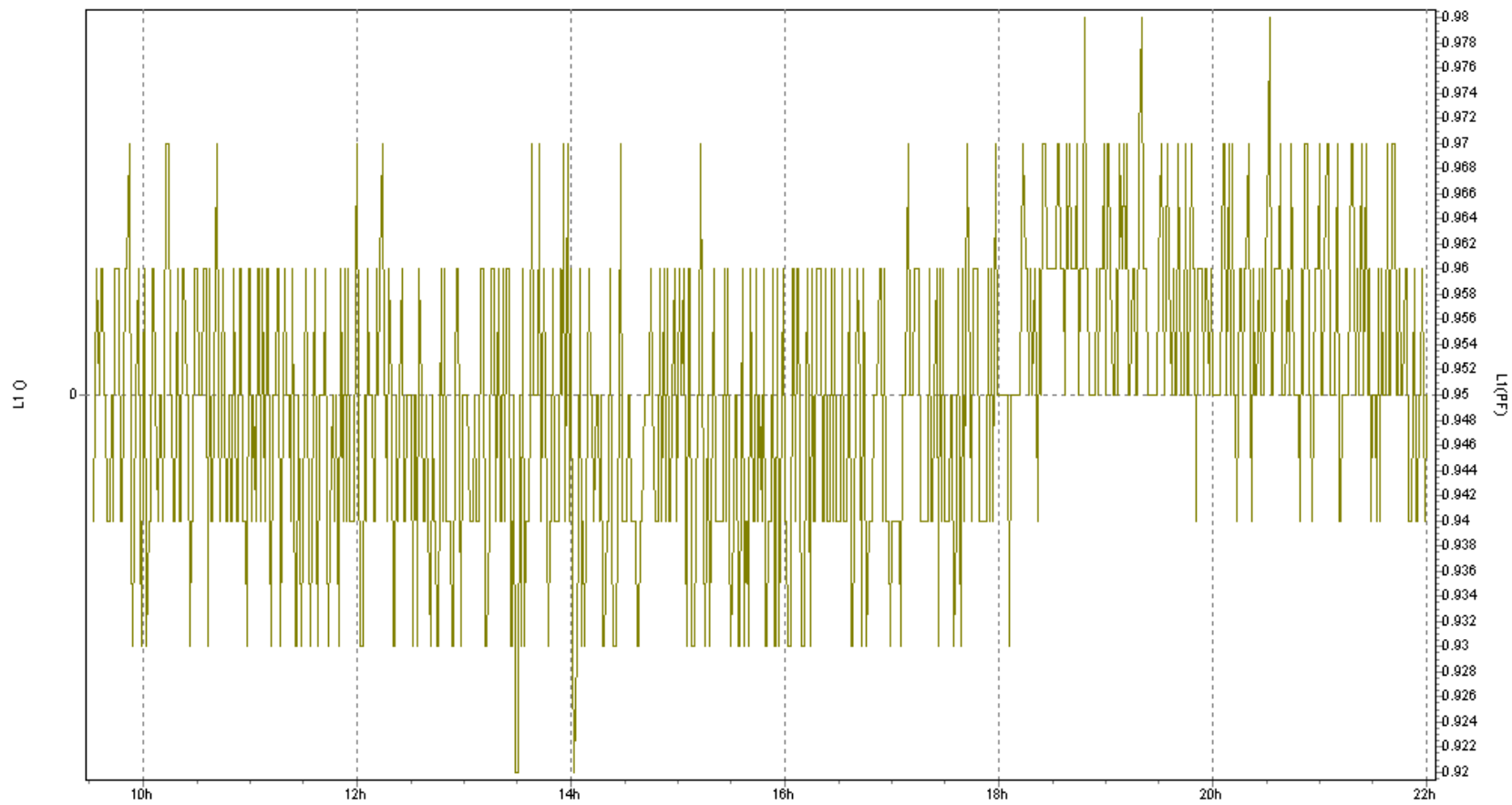
Gráfica 5.3.28 Potencia Aparente en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



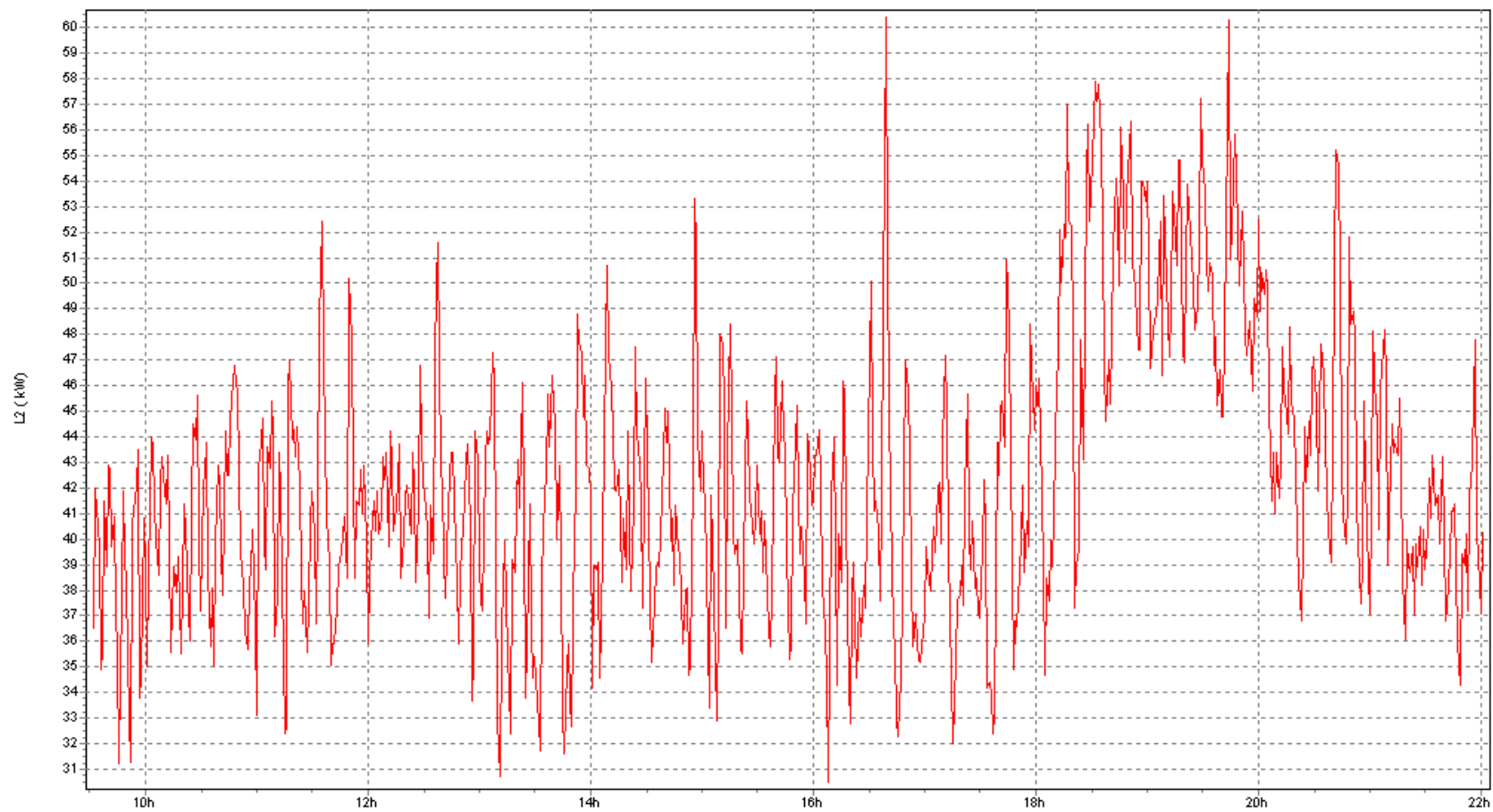
Gráfica 5.3.29 Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



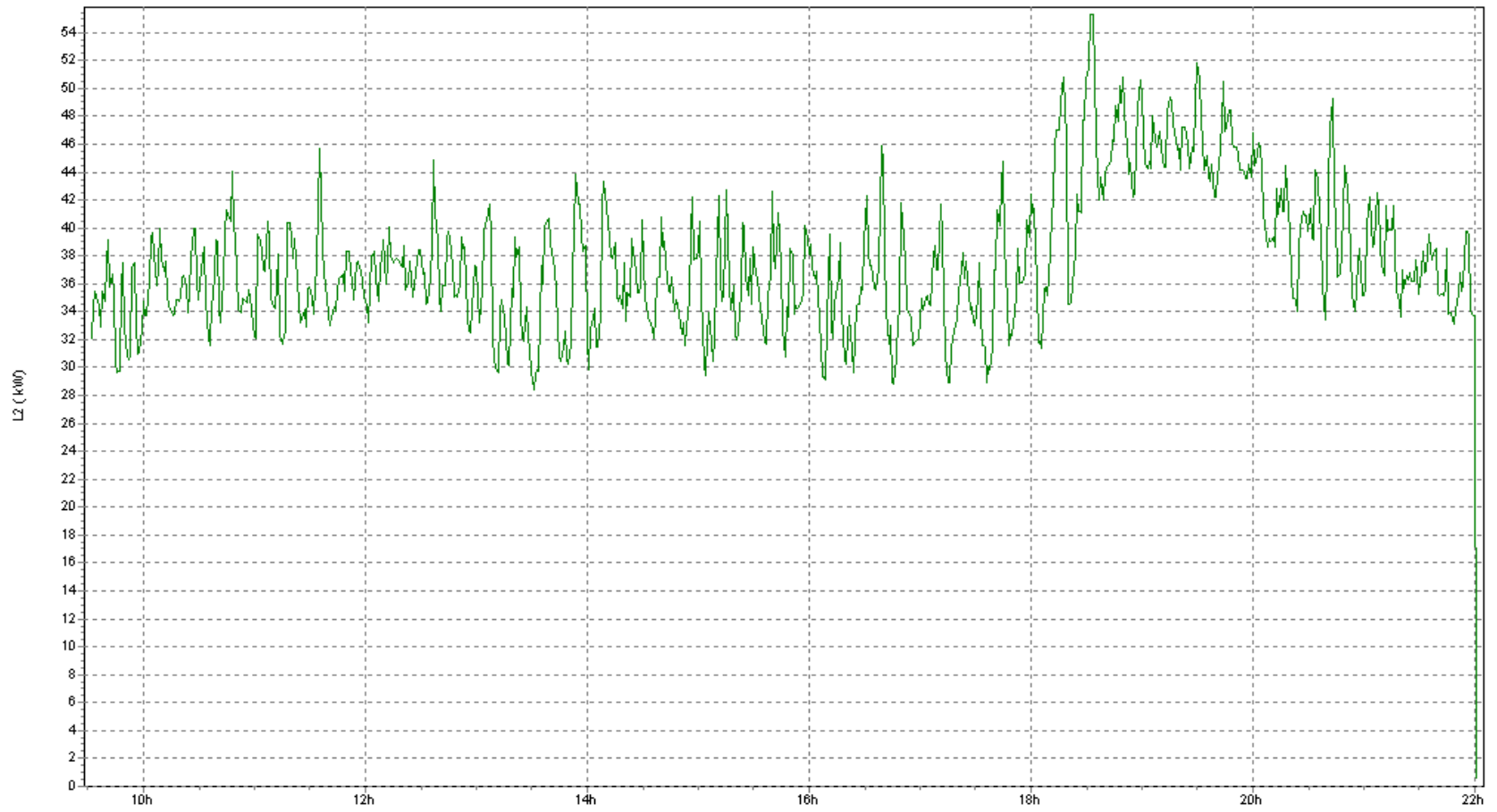
Gráfica 5.3.30 Factor de Potencia en la Línea 1 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



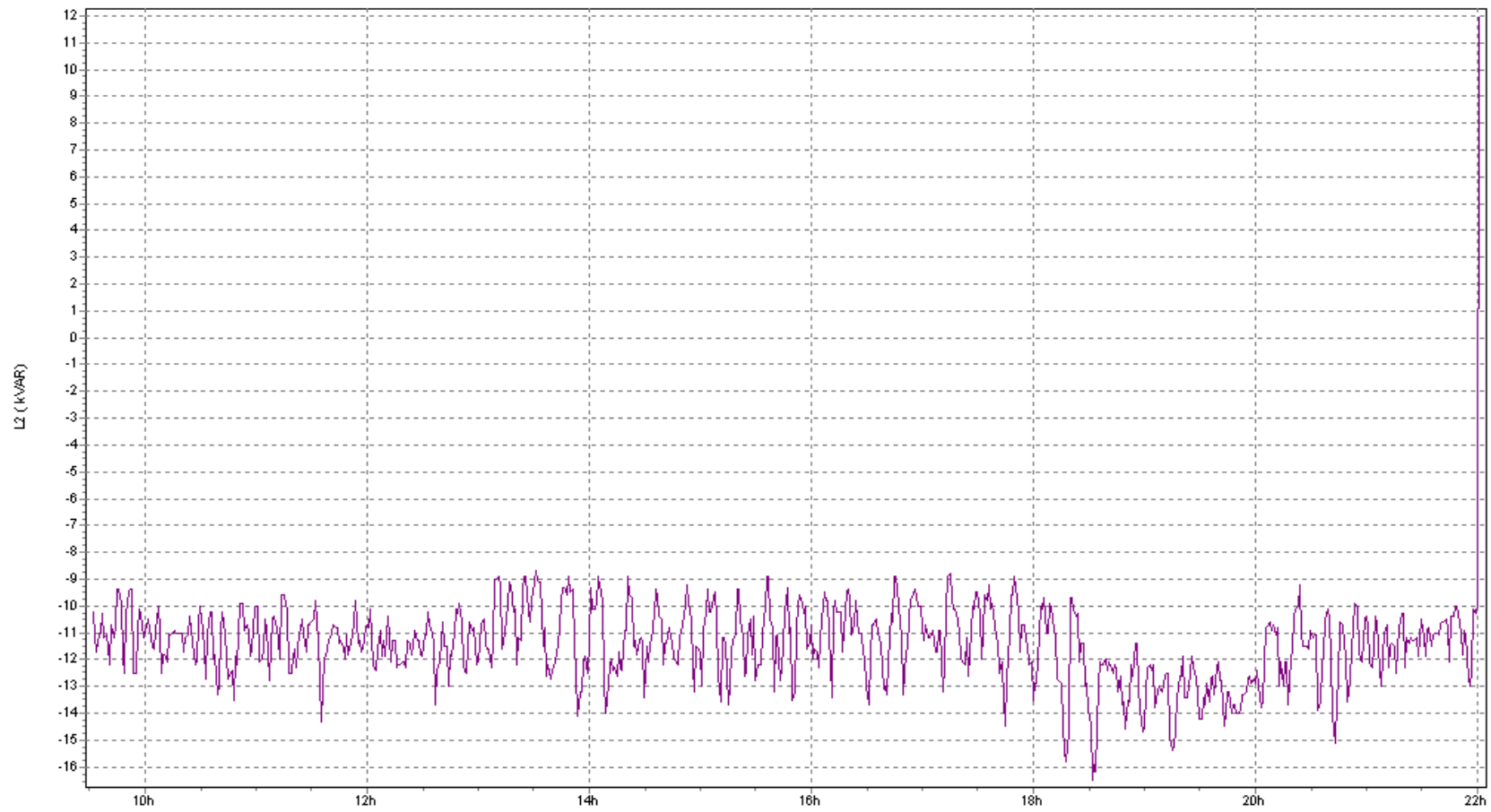
Gráfica 5.3.31 Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



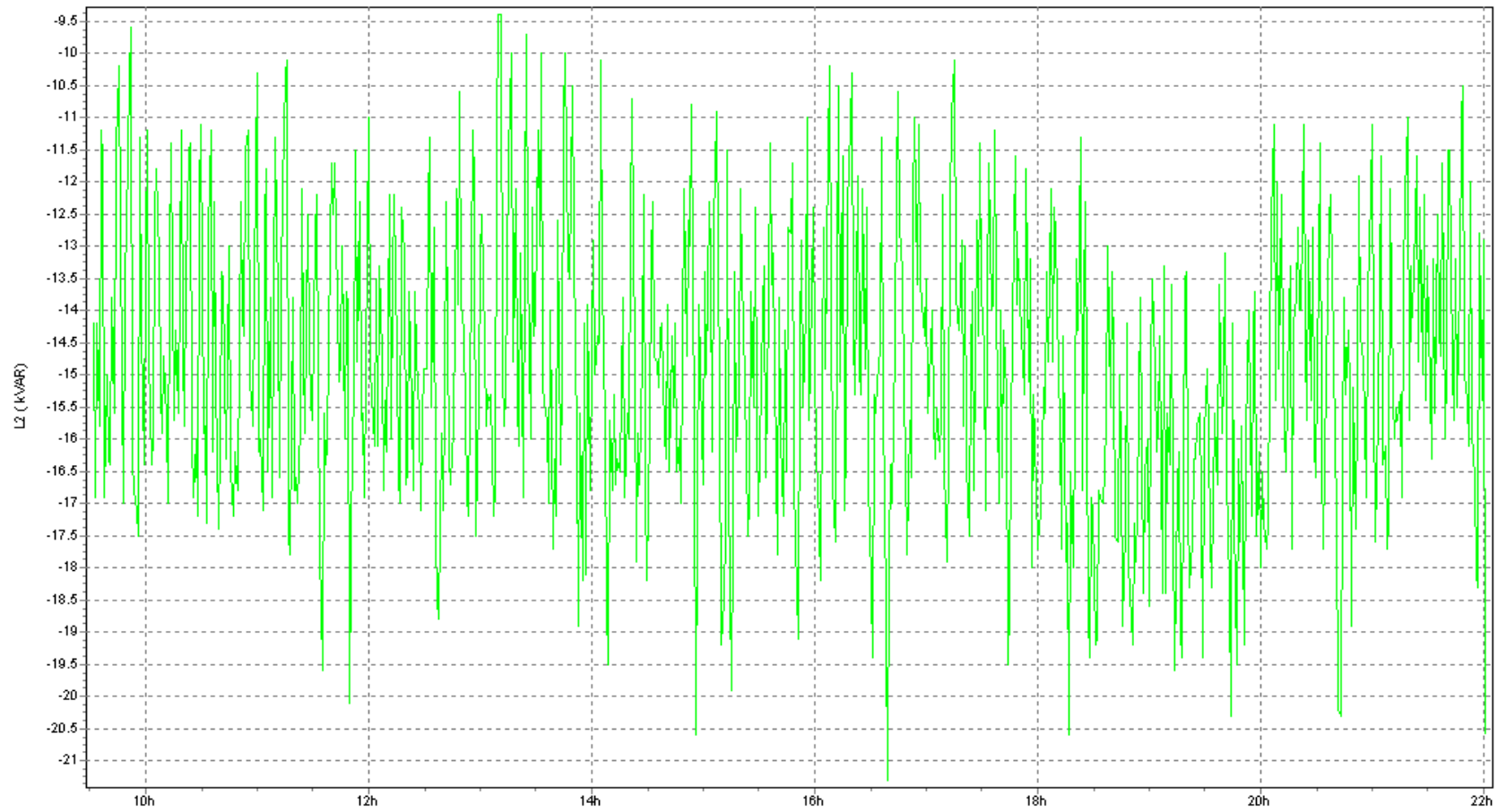
Gráfica 5.3.32 Potencia Activa en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



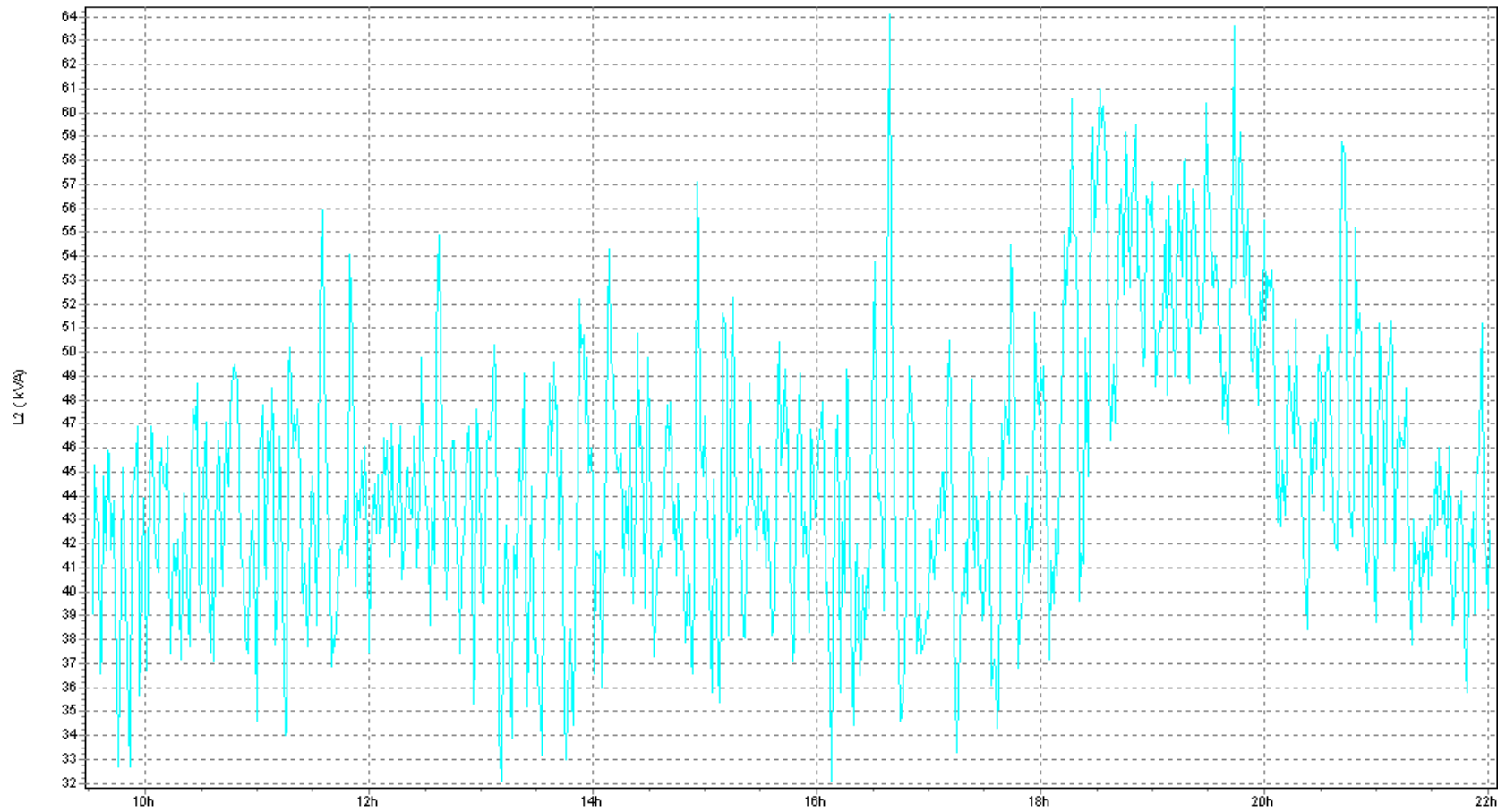
Gráfica 5.3.33 Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.34 Potencia Reactiva en la Línea 2 – Valor Mínimo

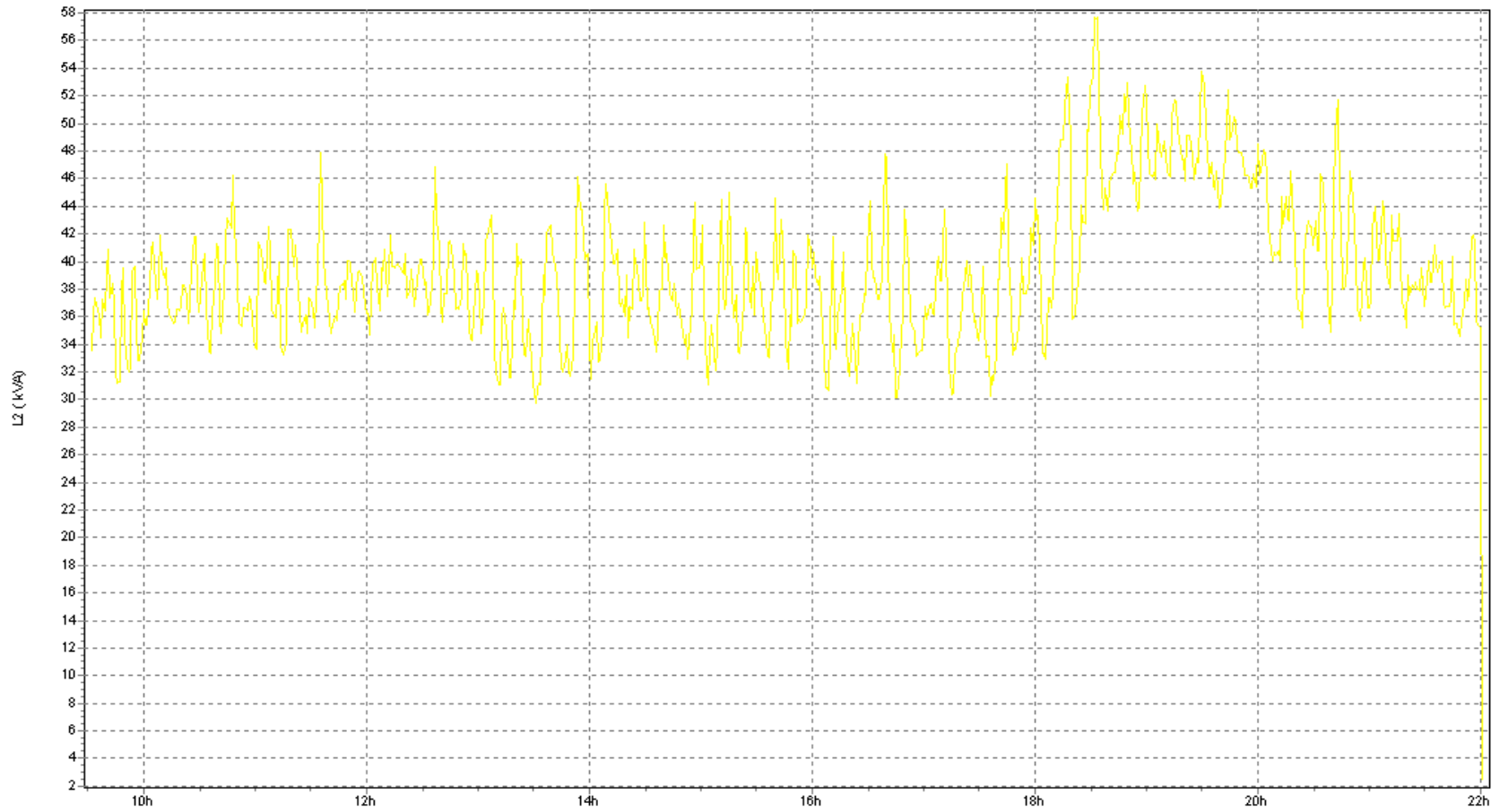
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.35 Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Máximo

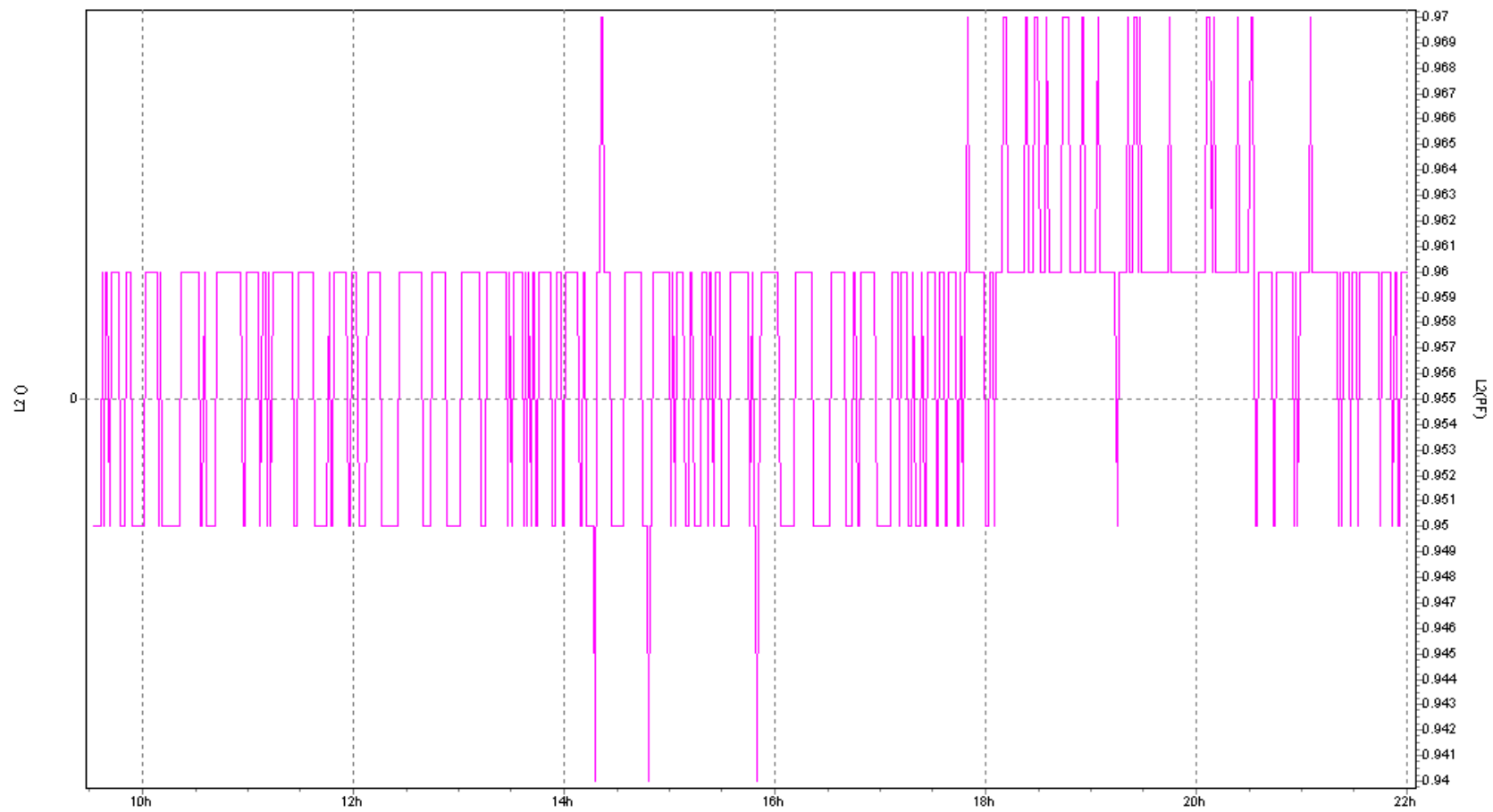
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





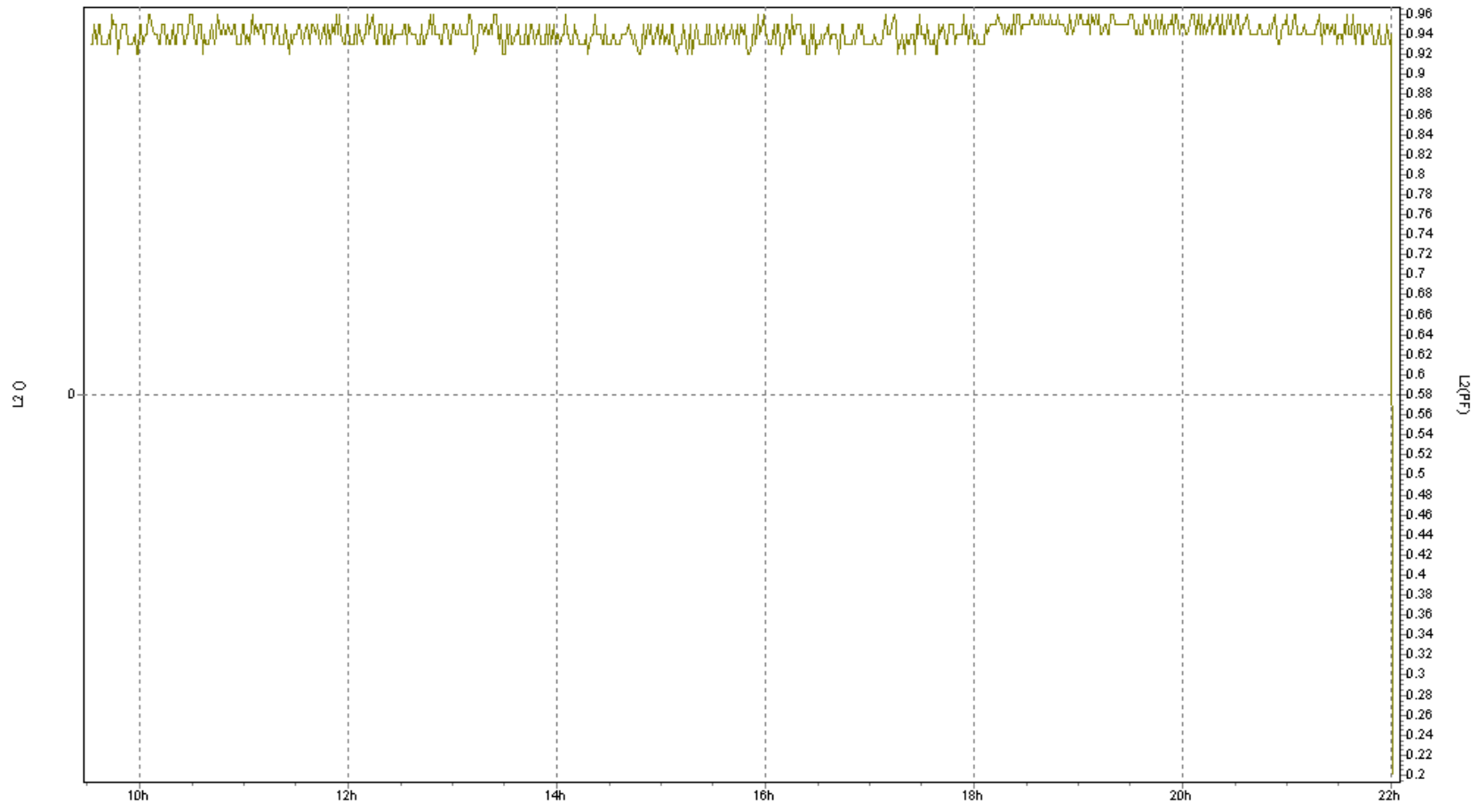
Gráfica 5.3.36 Potencia Aparente en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



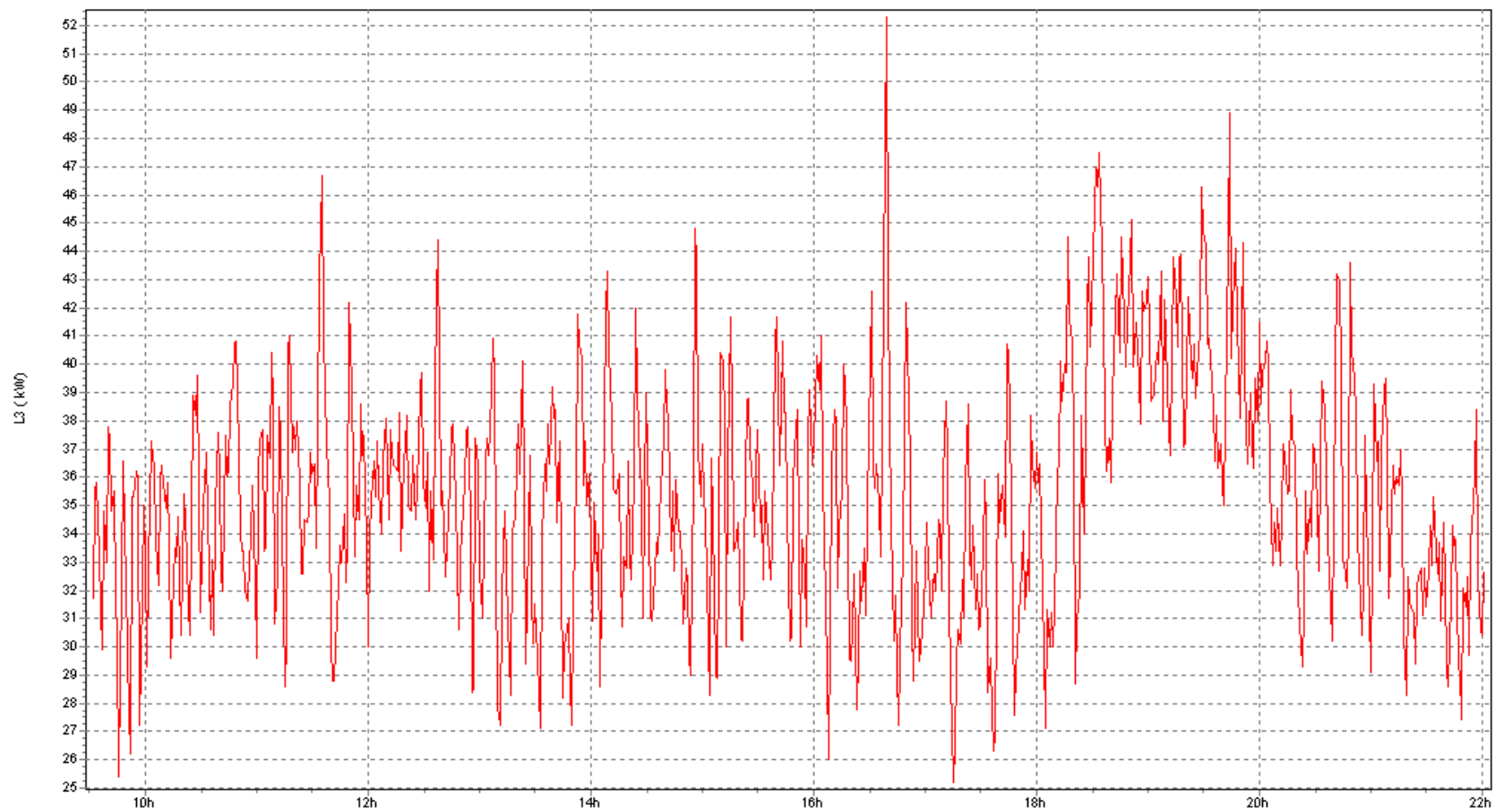
Gráfica 5.3.37 Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



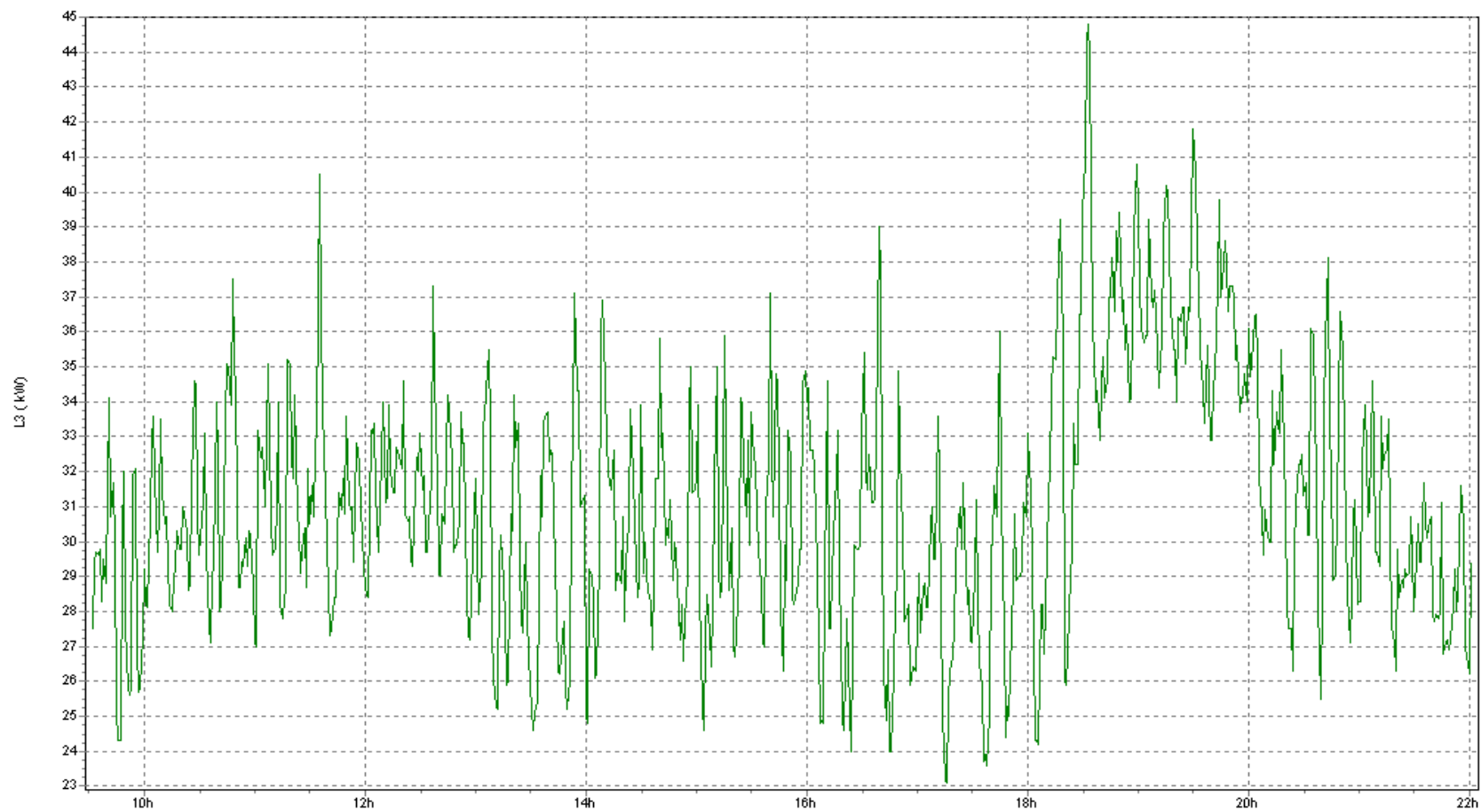
Gráfica 5.3.38 Factor de Potencia en la Línea 2 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.39 Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



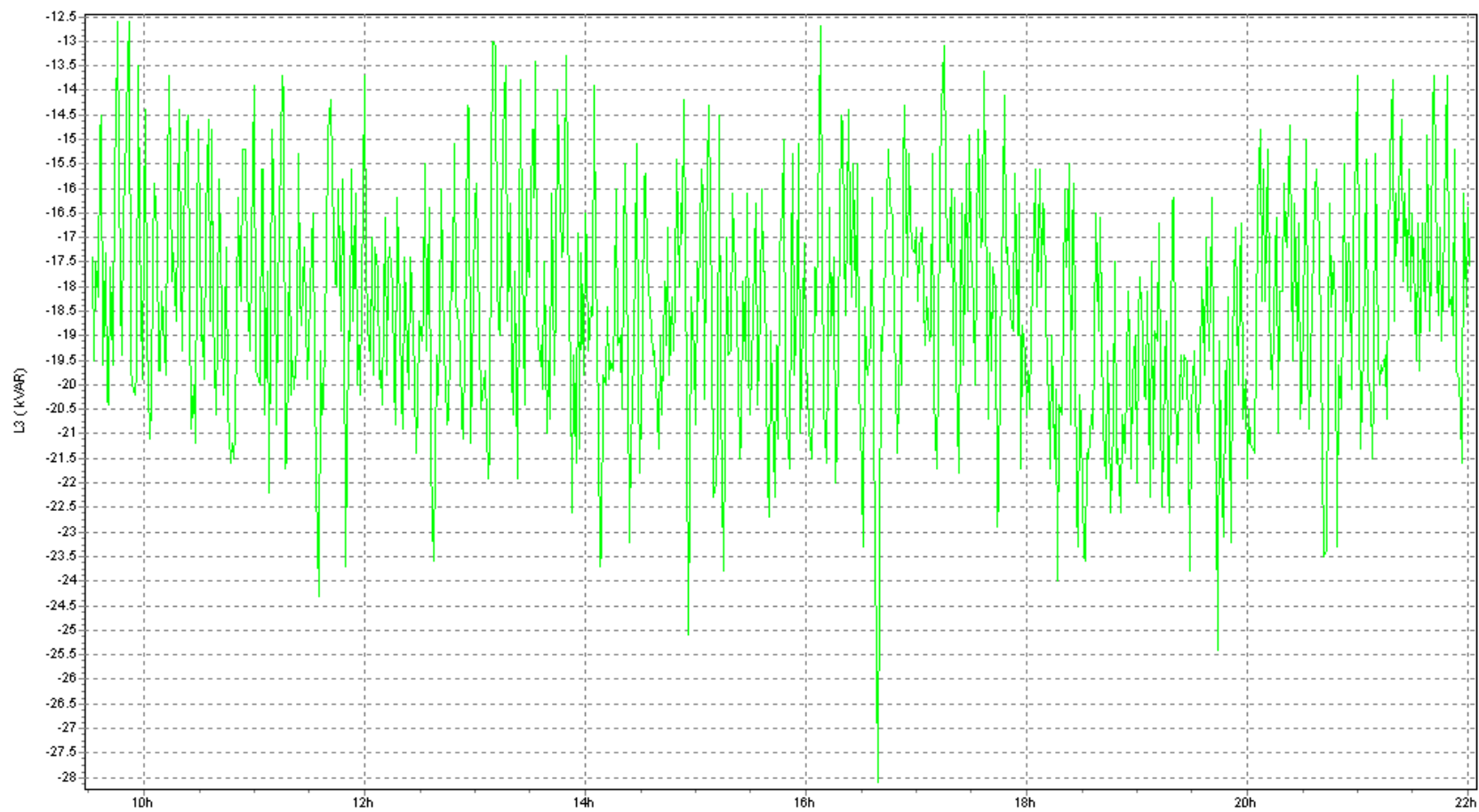
Gráfica 5.3.40 Potencia Activa en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



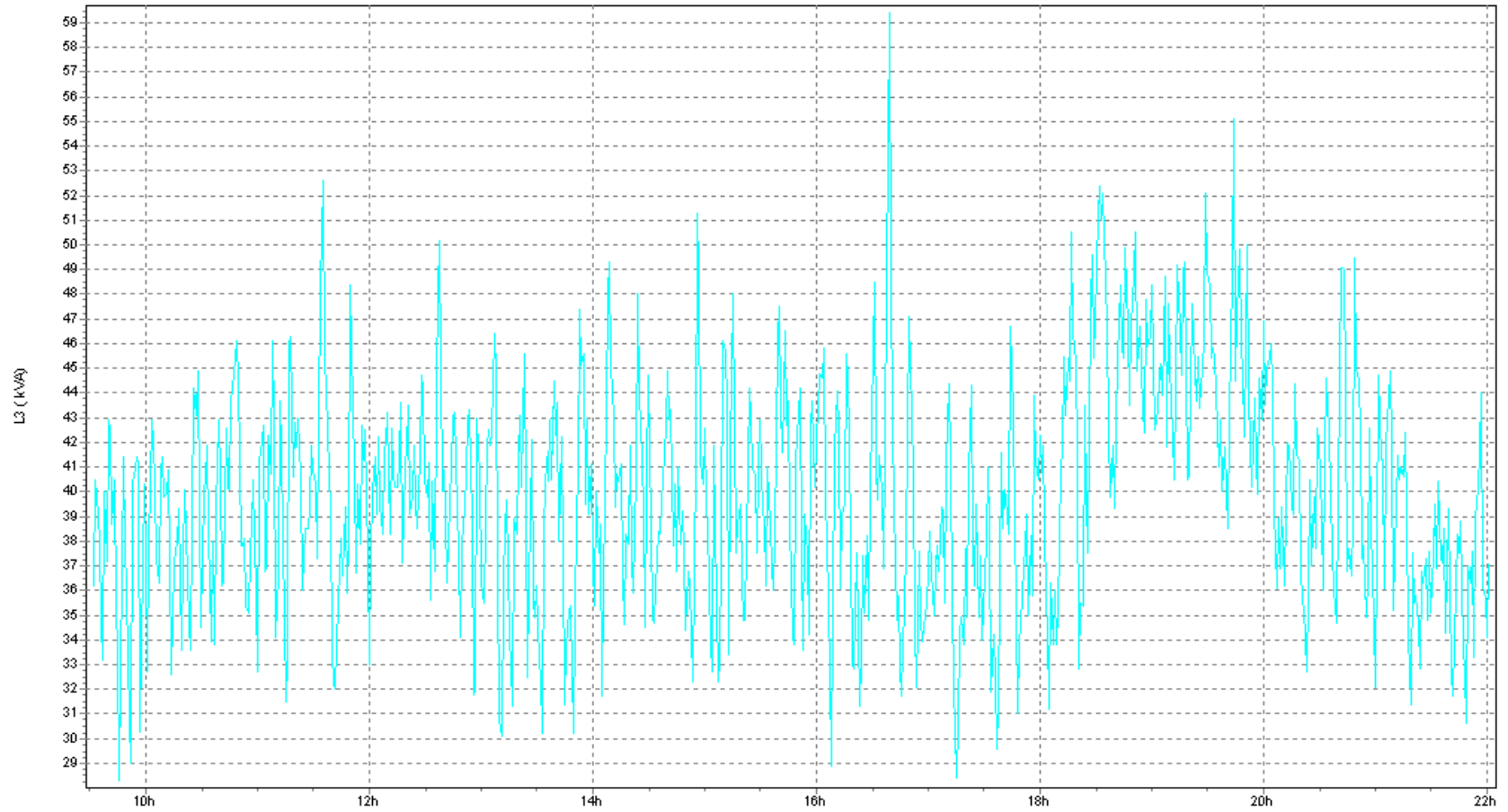
Gráfica 5.3.41 Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.42 Potencia Reactiva en la Línea 3 – Valor Mínimo

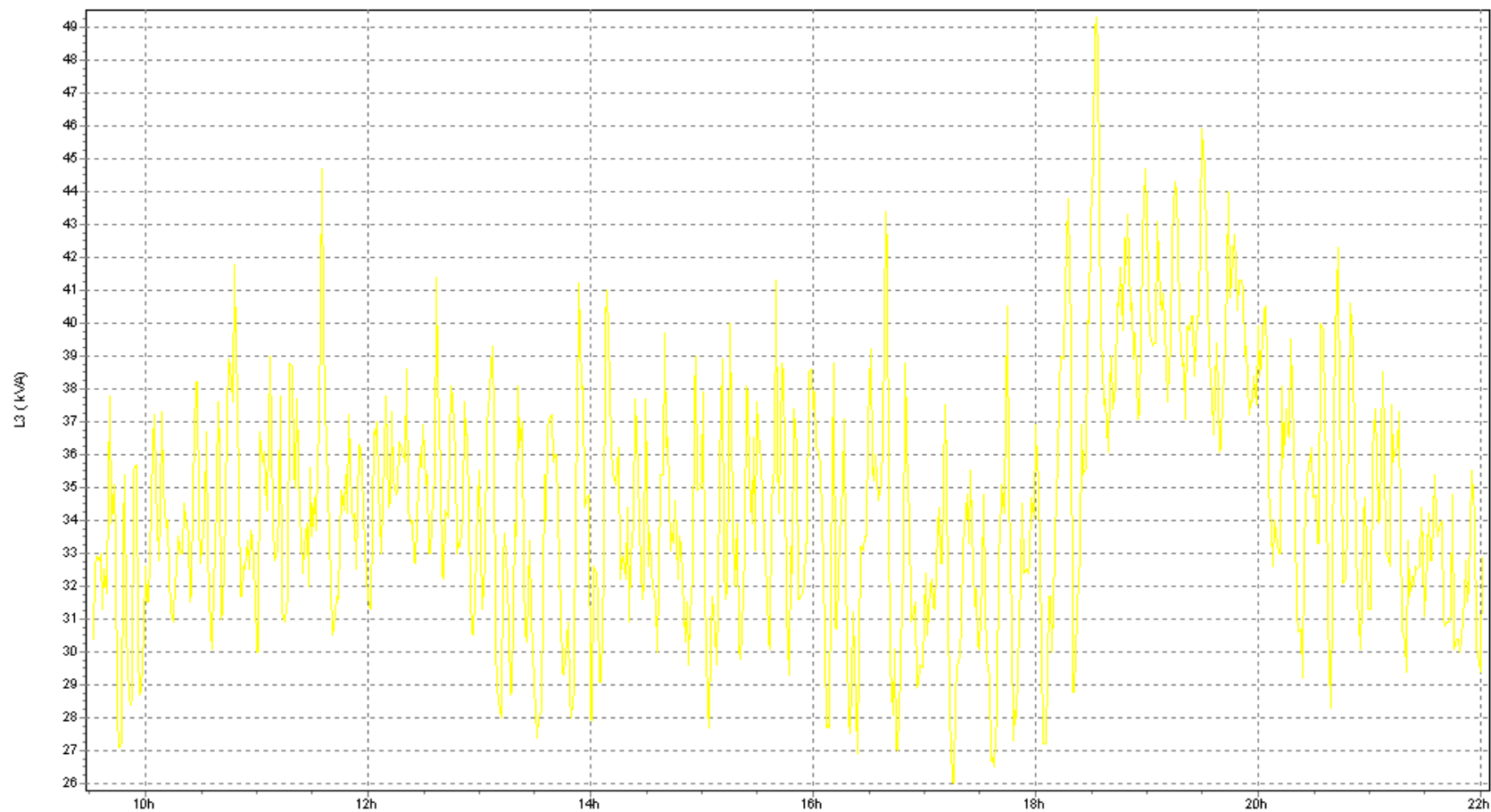
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.43 Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Máximo

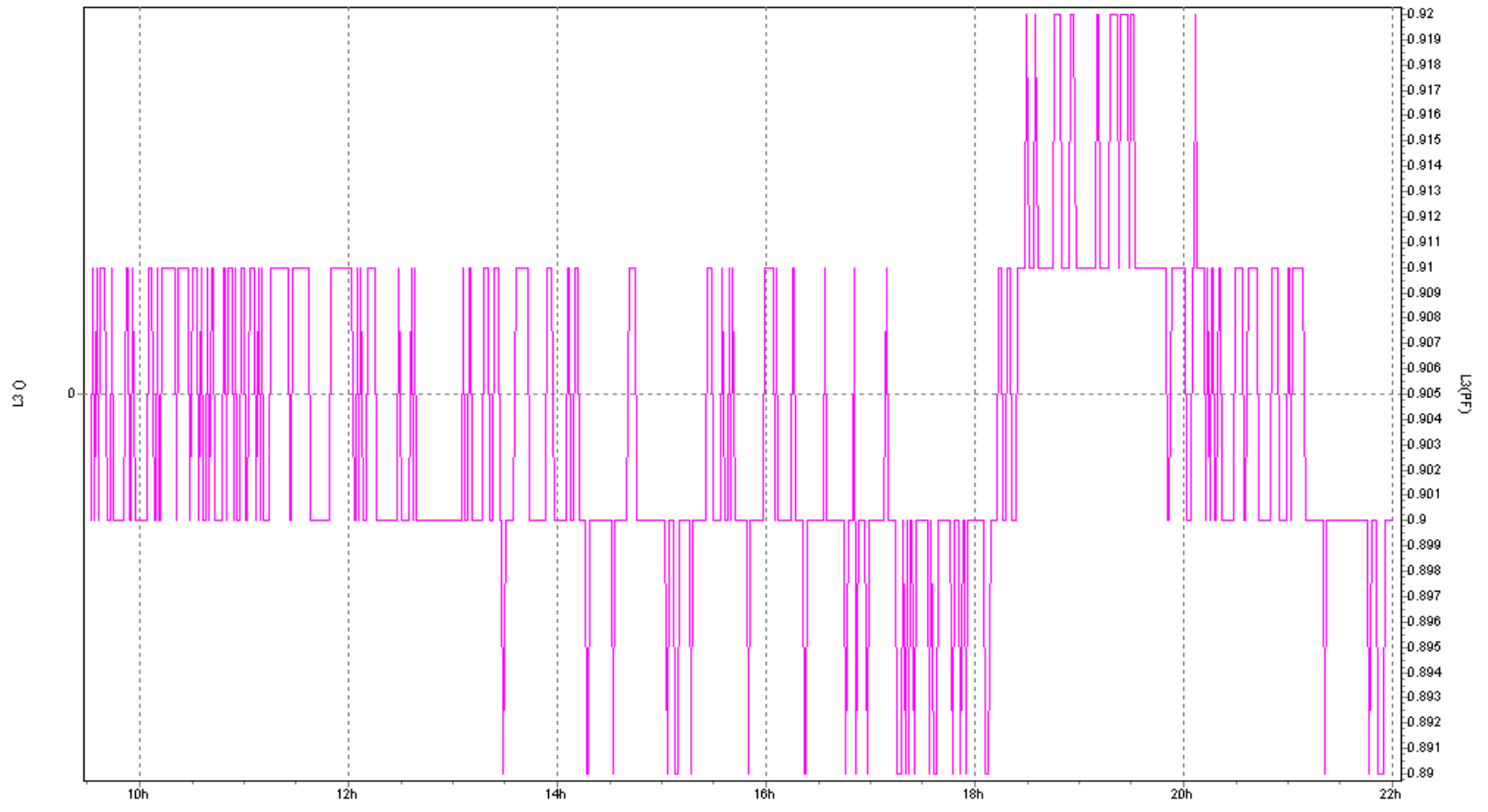
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





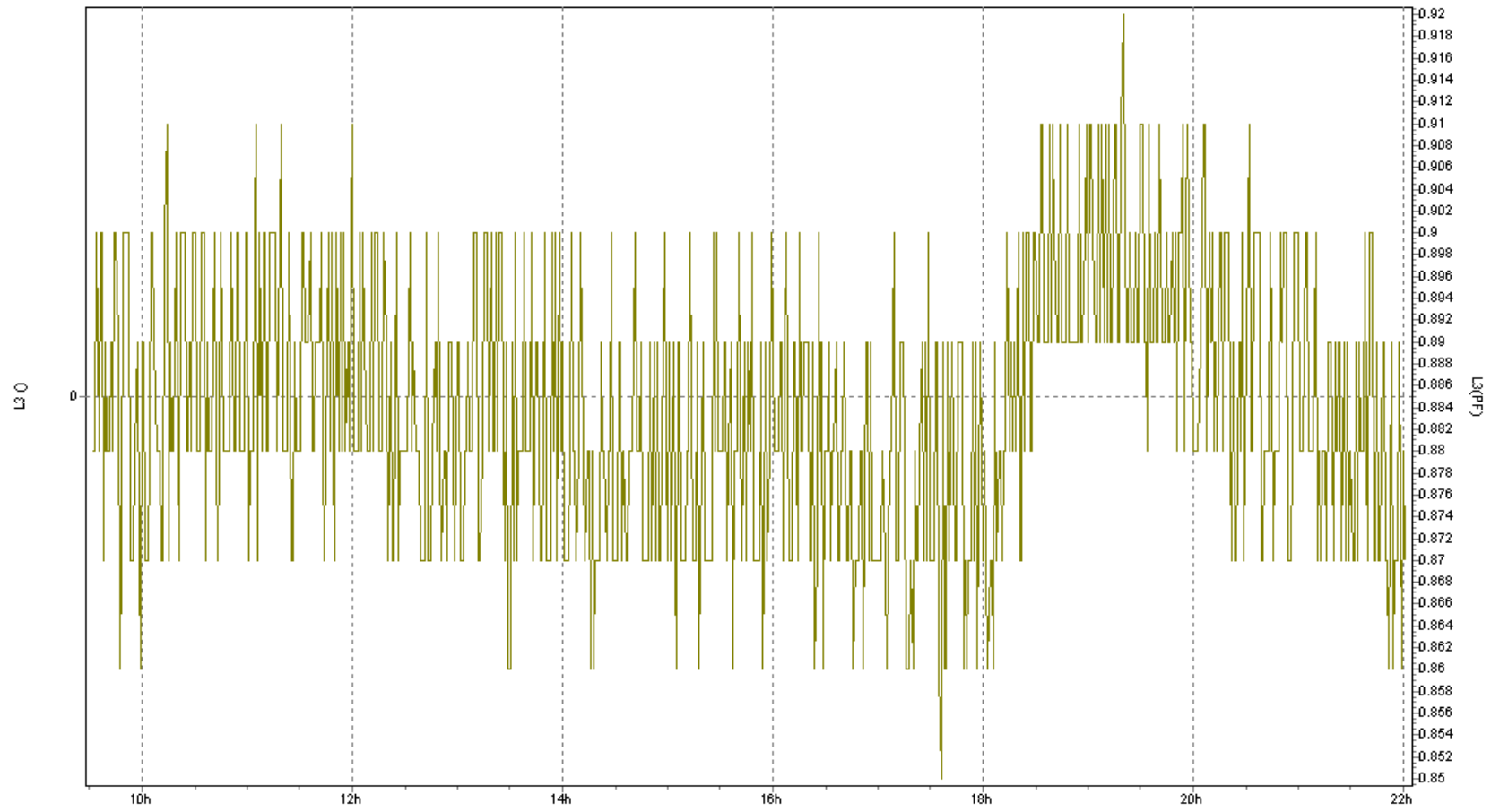
Gráfica 5.3.44 Potencia Aparente en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



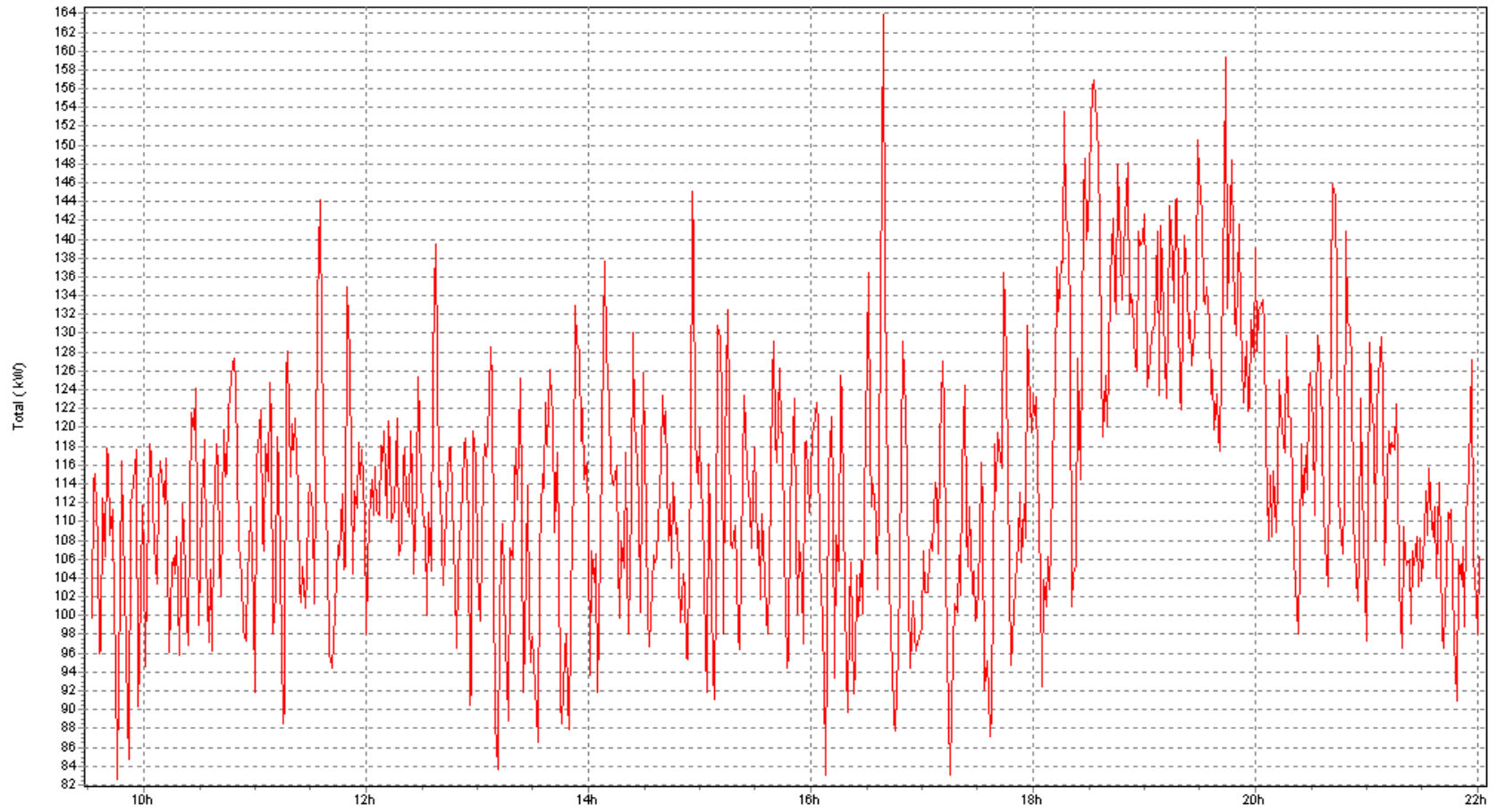
Gráfica 5.3.45 Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



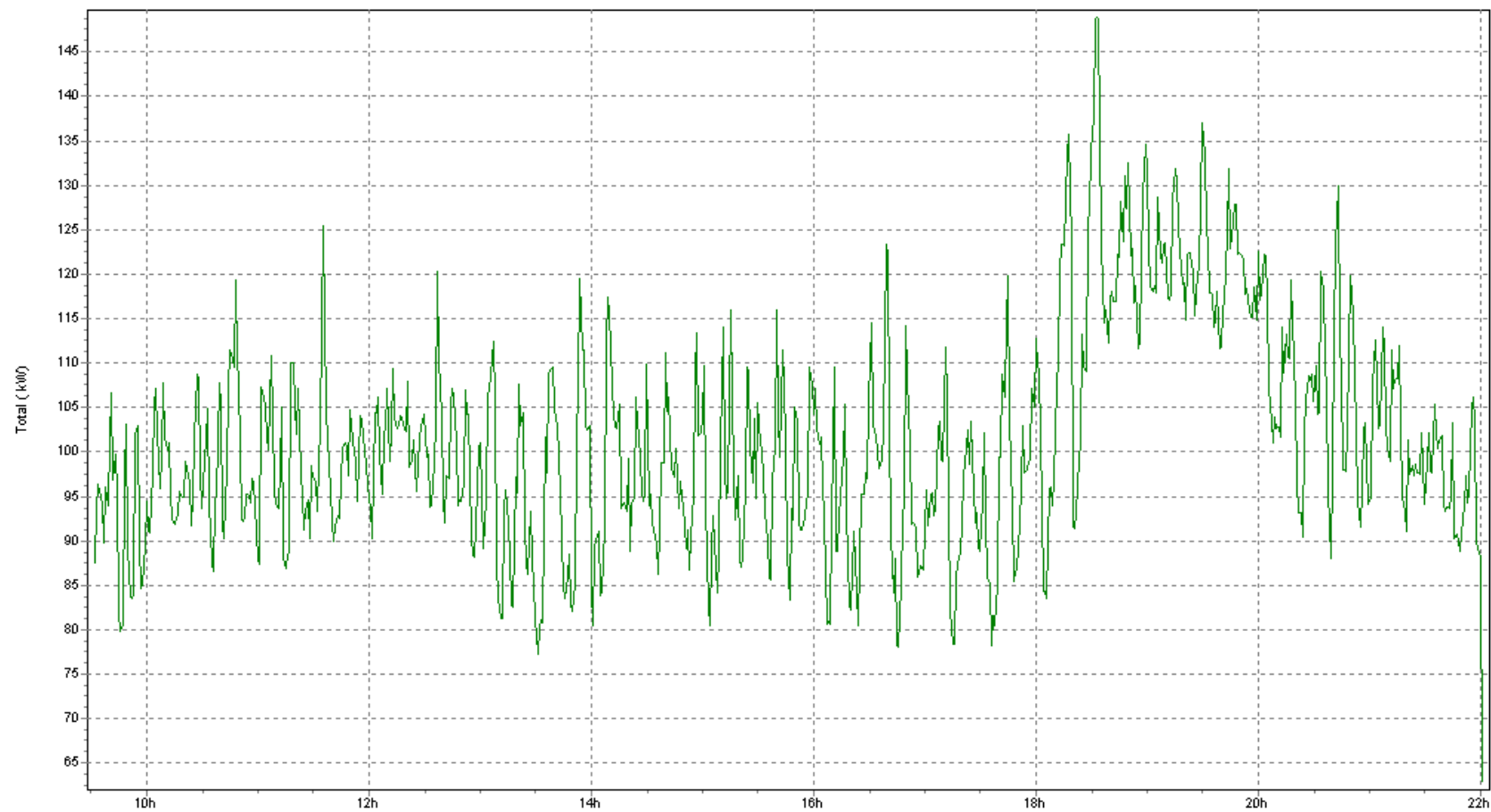
Gráfica 5.3.46 Factor de Potencia en la Línea 3 – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



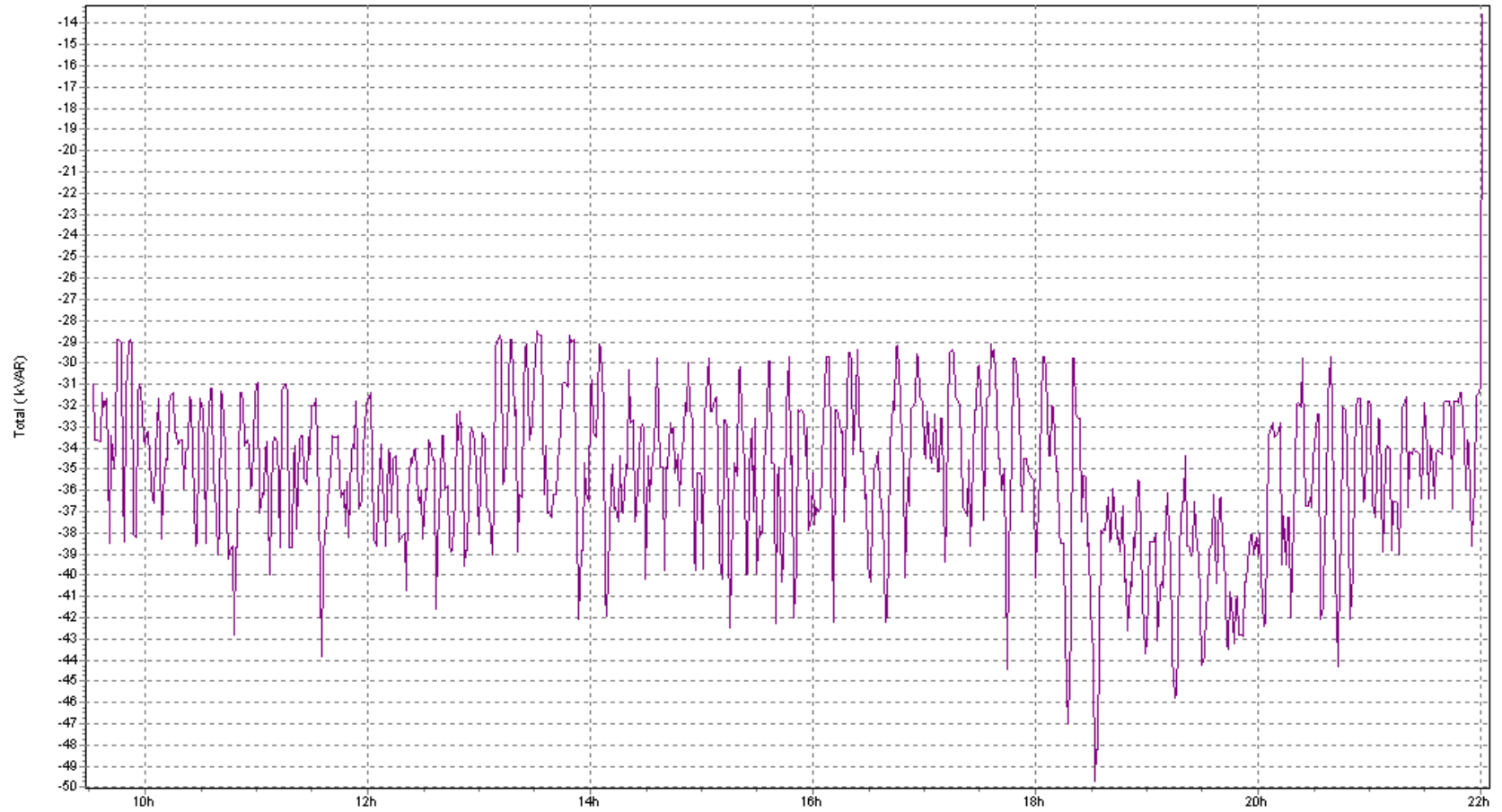
Gráfica 5.3.47 Potencia Activa Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.48 Potencia Activa Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



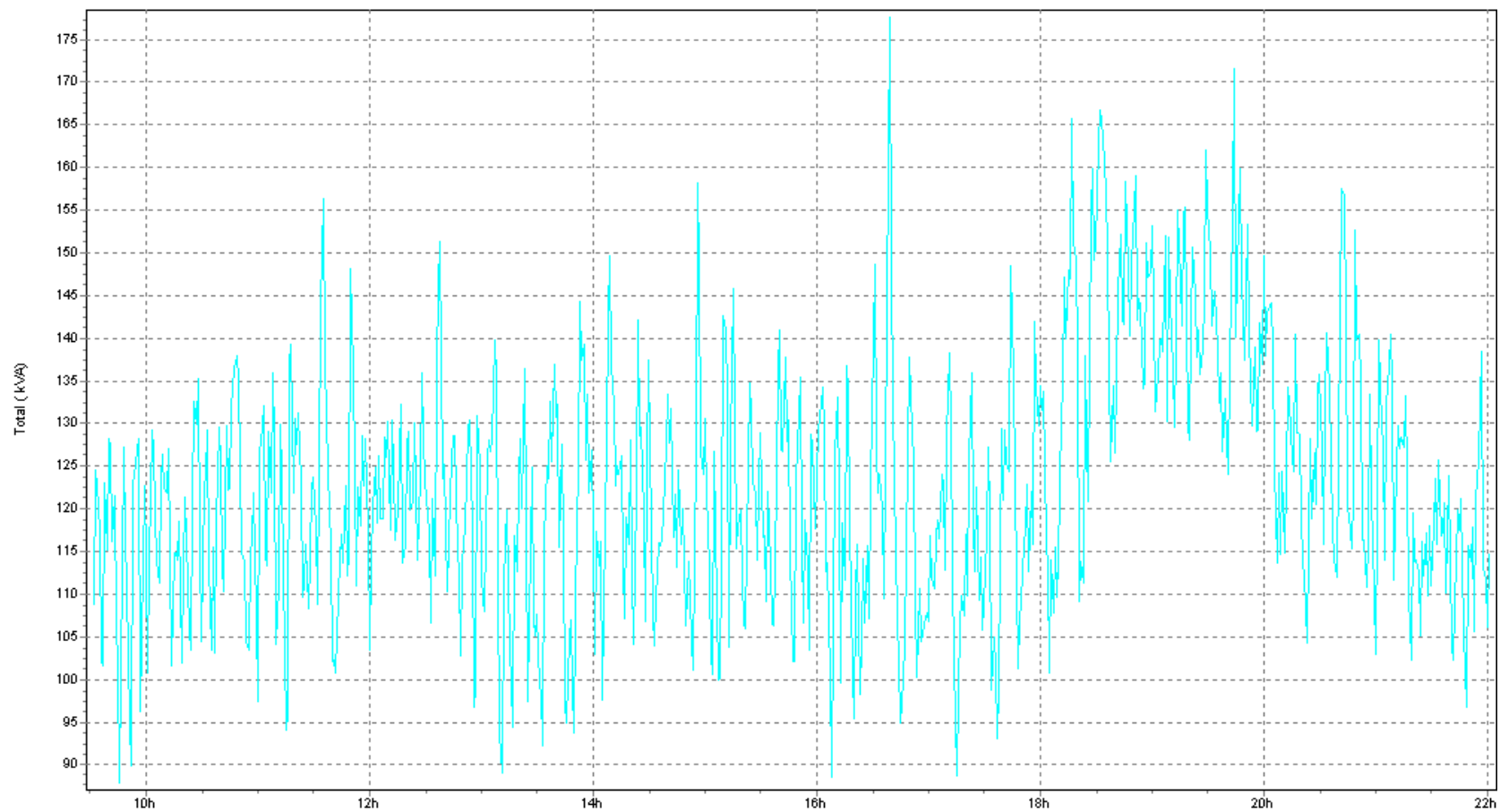
Gráfica 5.3.49 Potencia Reactiva Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.50 Potencia Reactiva Total – Valor Mínimo

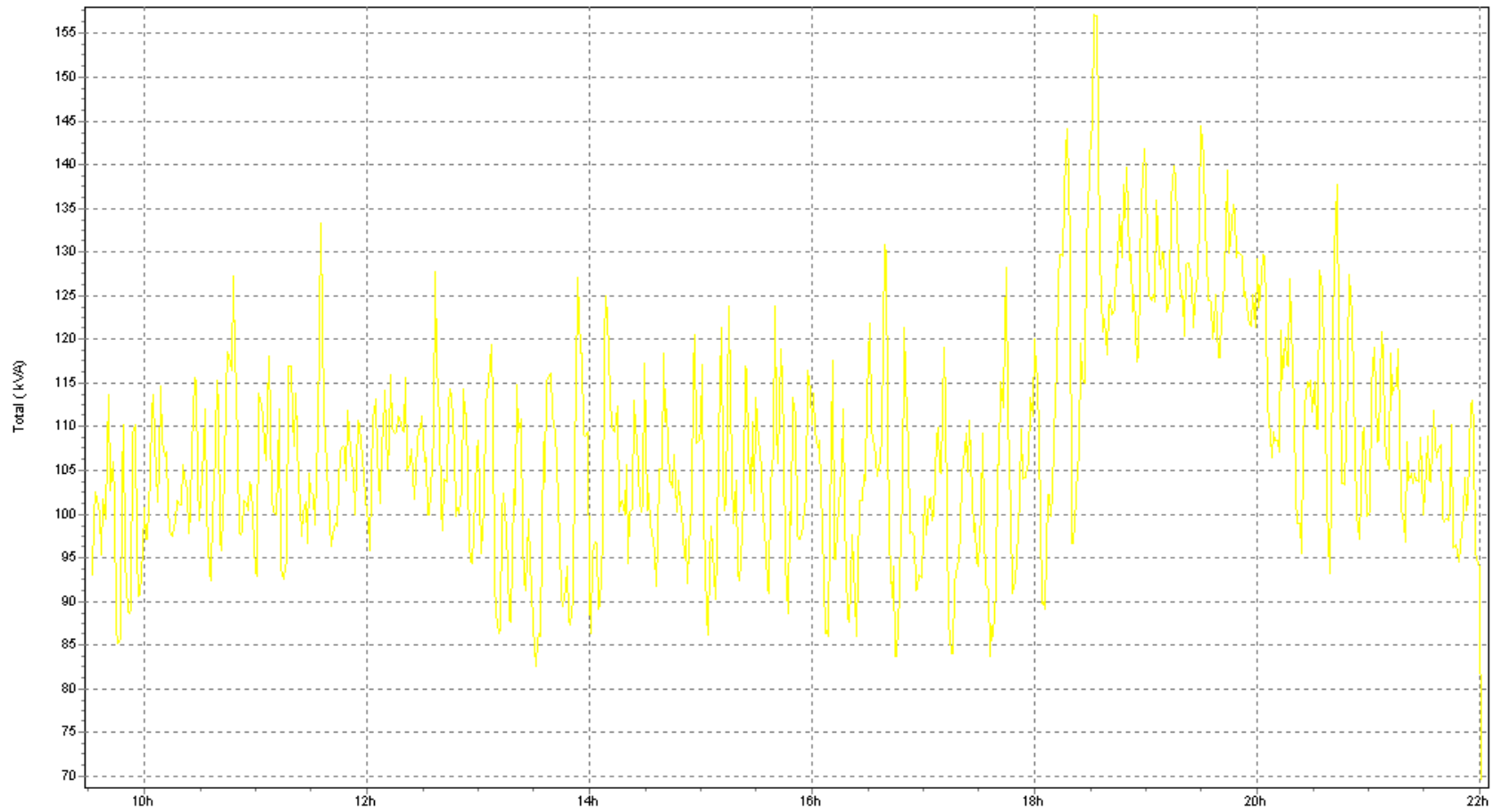
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.51 Potencia Aparente Total – Valor Máximo

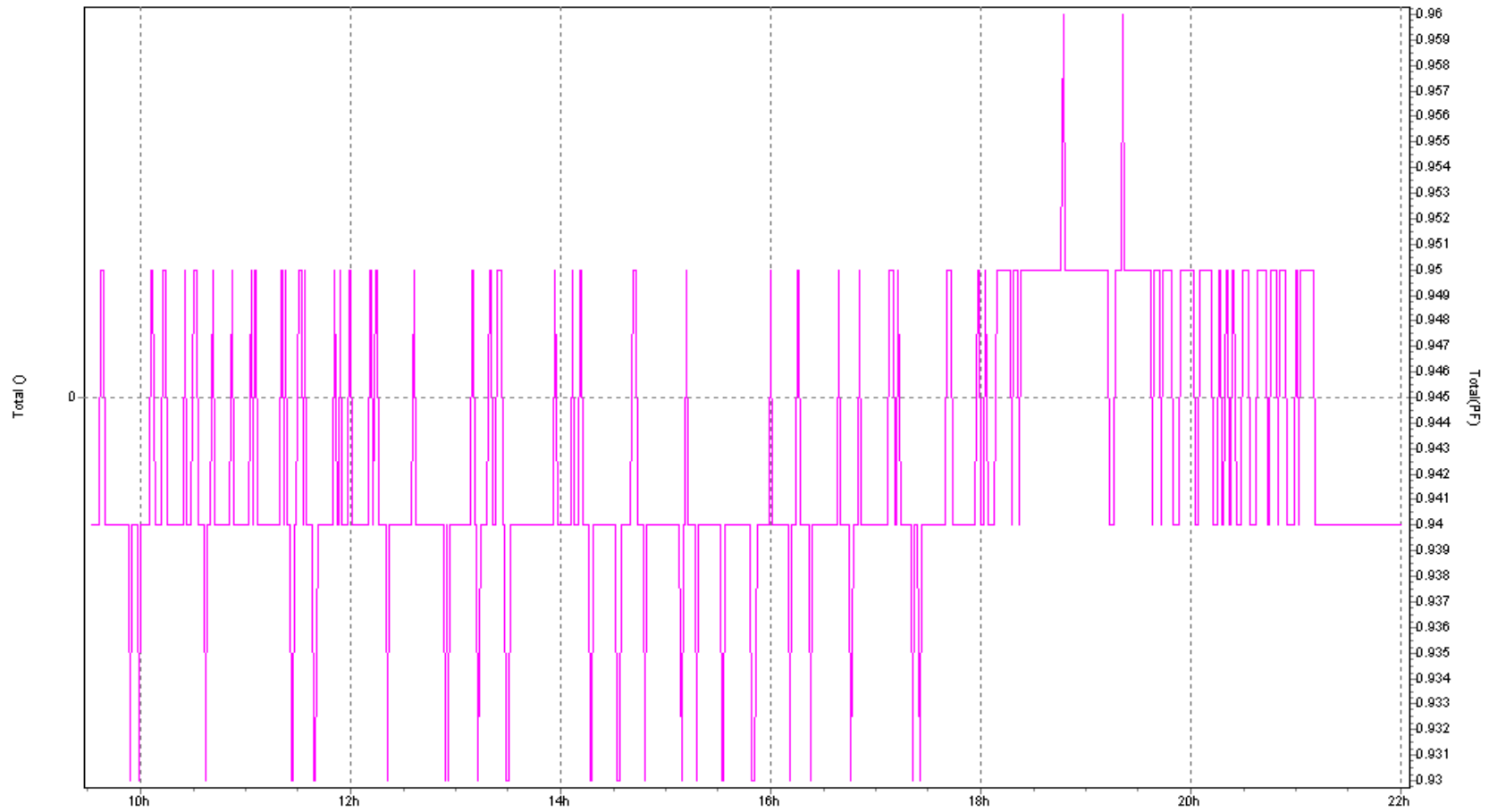
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





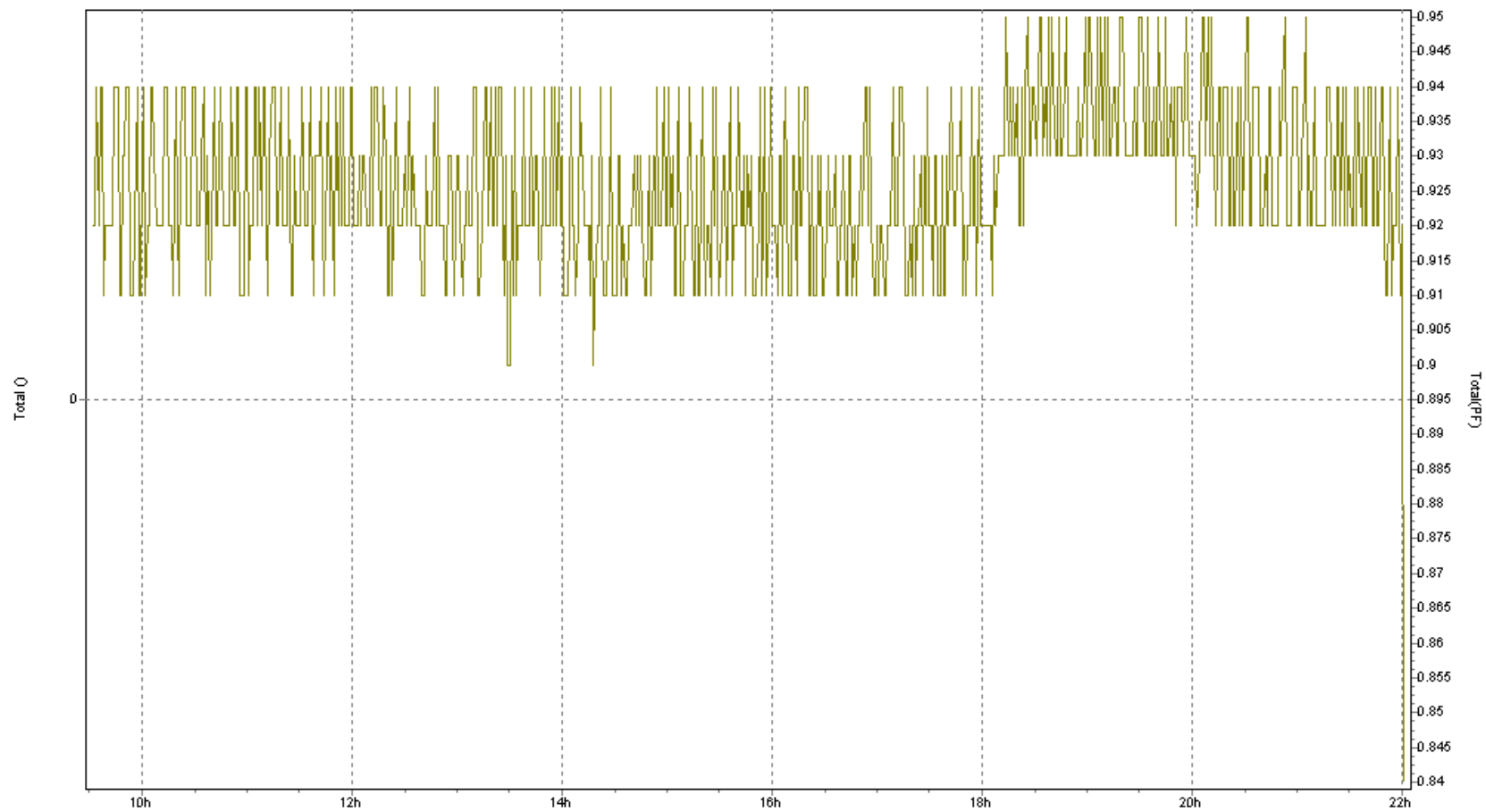
Gráfica 5.3.52 Potencia Aparente Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



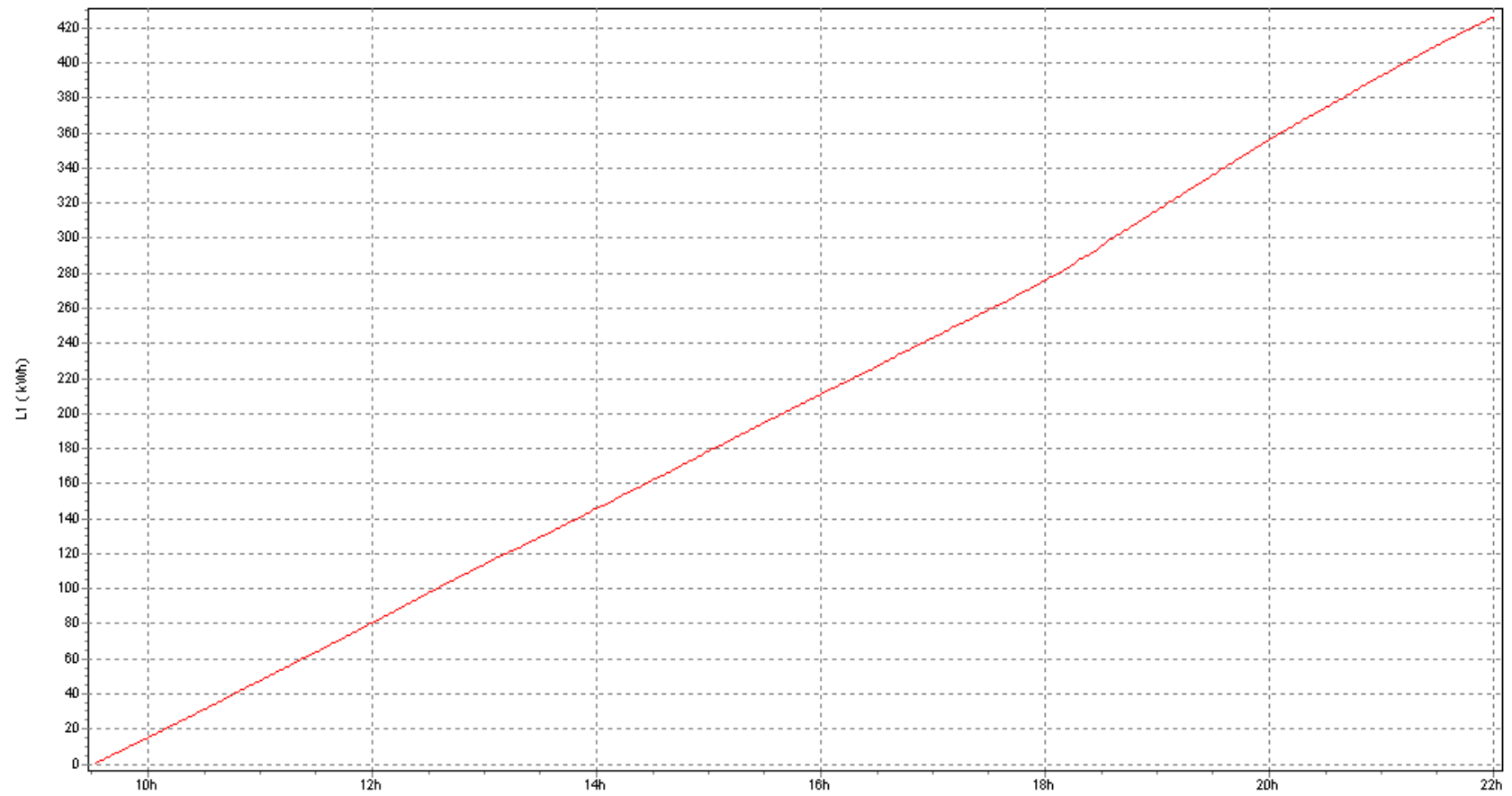
Gráfica 5.3.53 Factor de Potencia Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



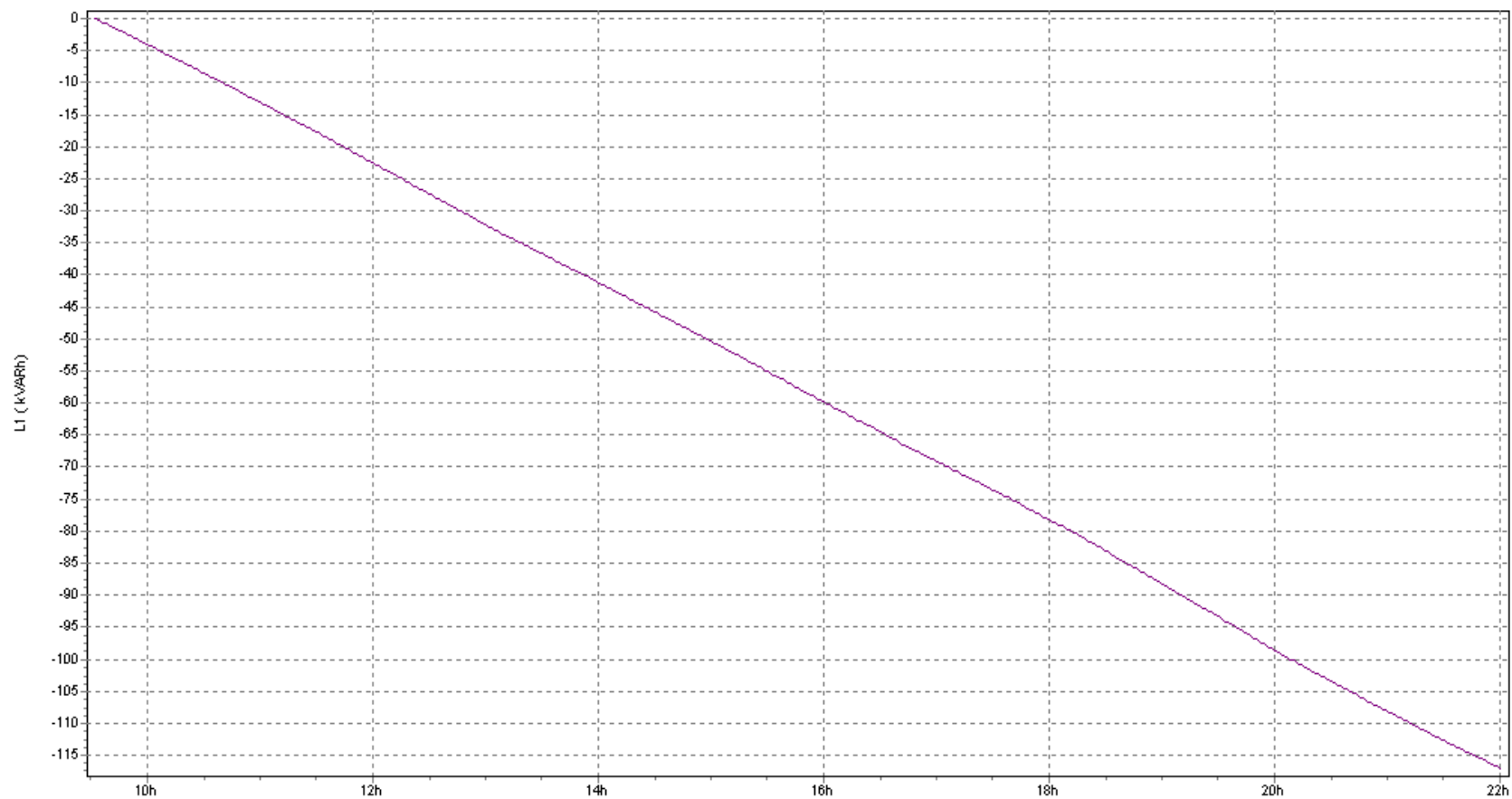
Gráfica 5.3.54 Factor de Potencia Total – Valor Mínimo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



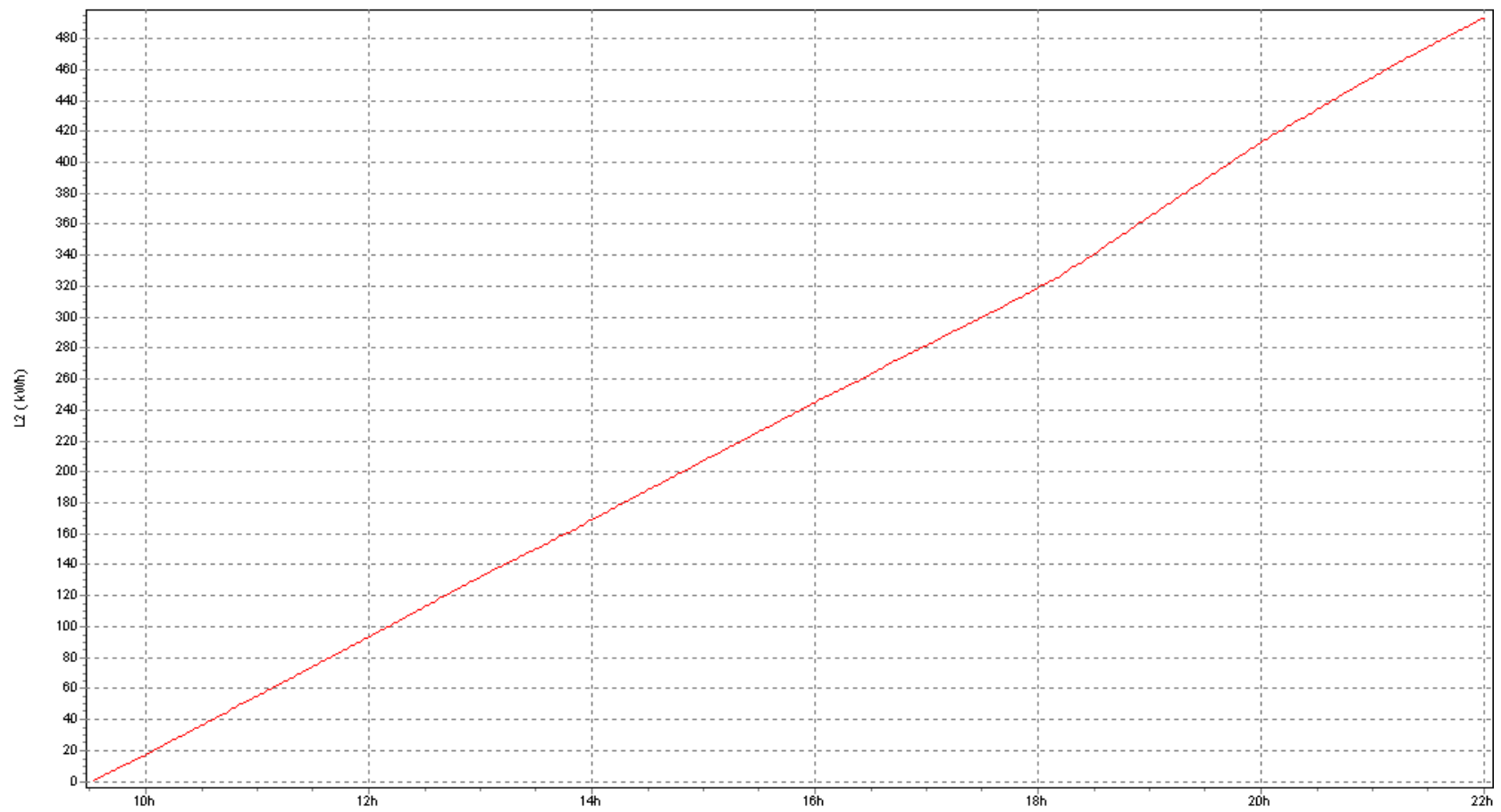
Gráfica 5.3.55 Energía Activa en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



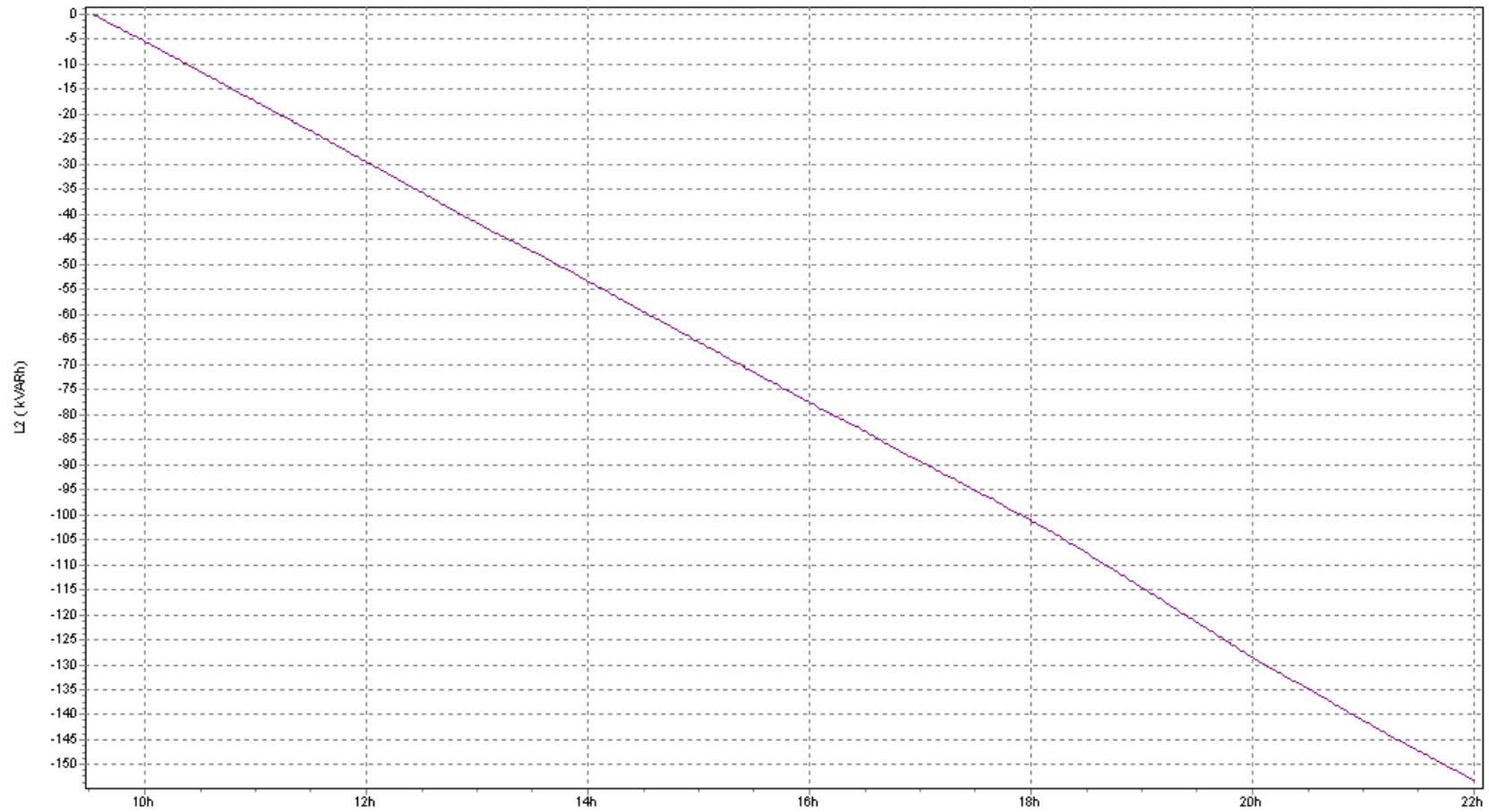
Gráfica 5.3.56 Energía Reactiva en la Línea 1 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



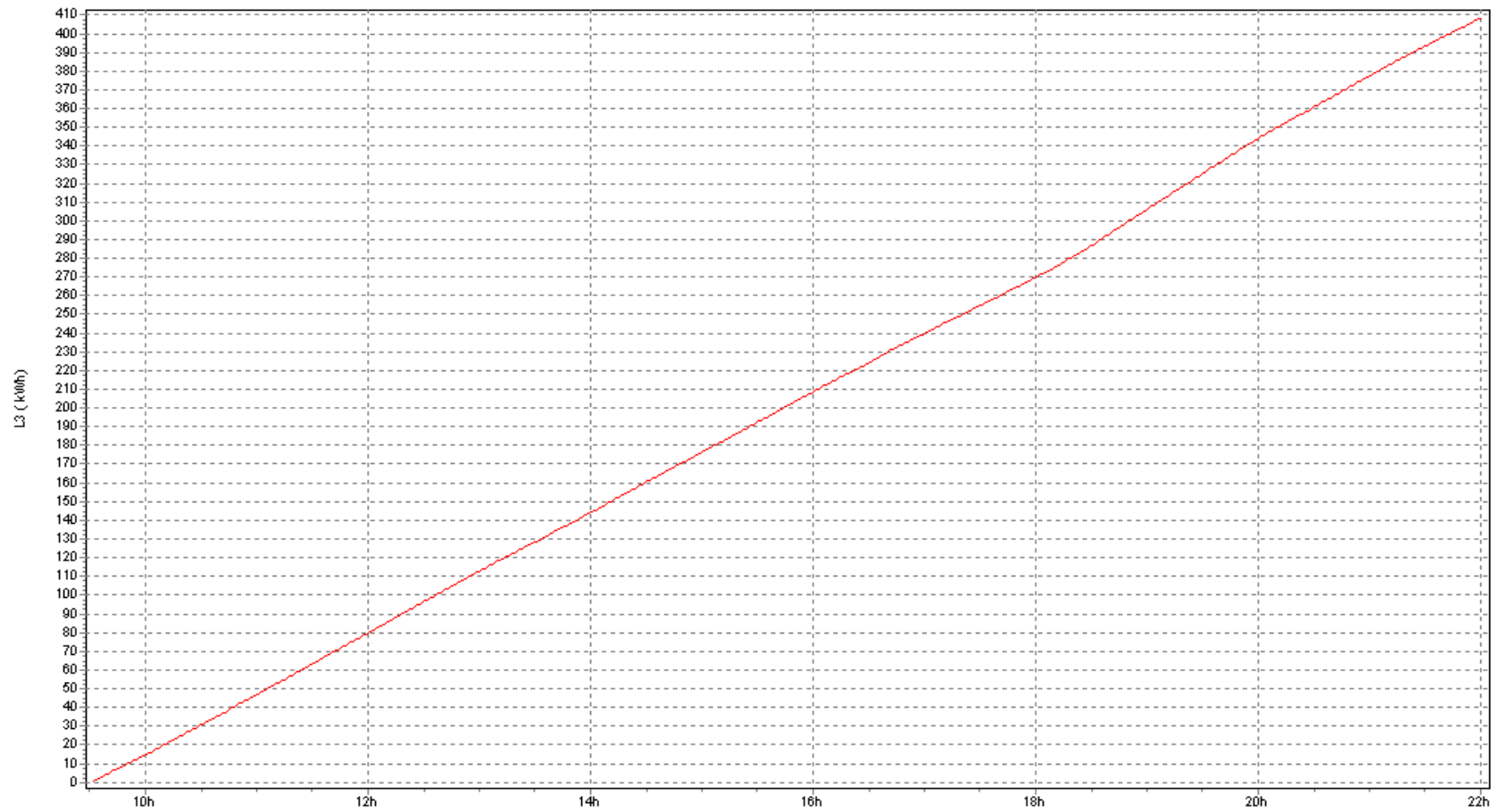
Gráfica 5.3.57 Energía Activa en la Línea 2 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.58 Energía Reactiva en la Línea 2 – Valor Máximo

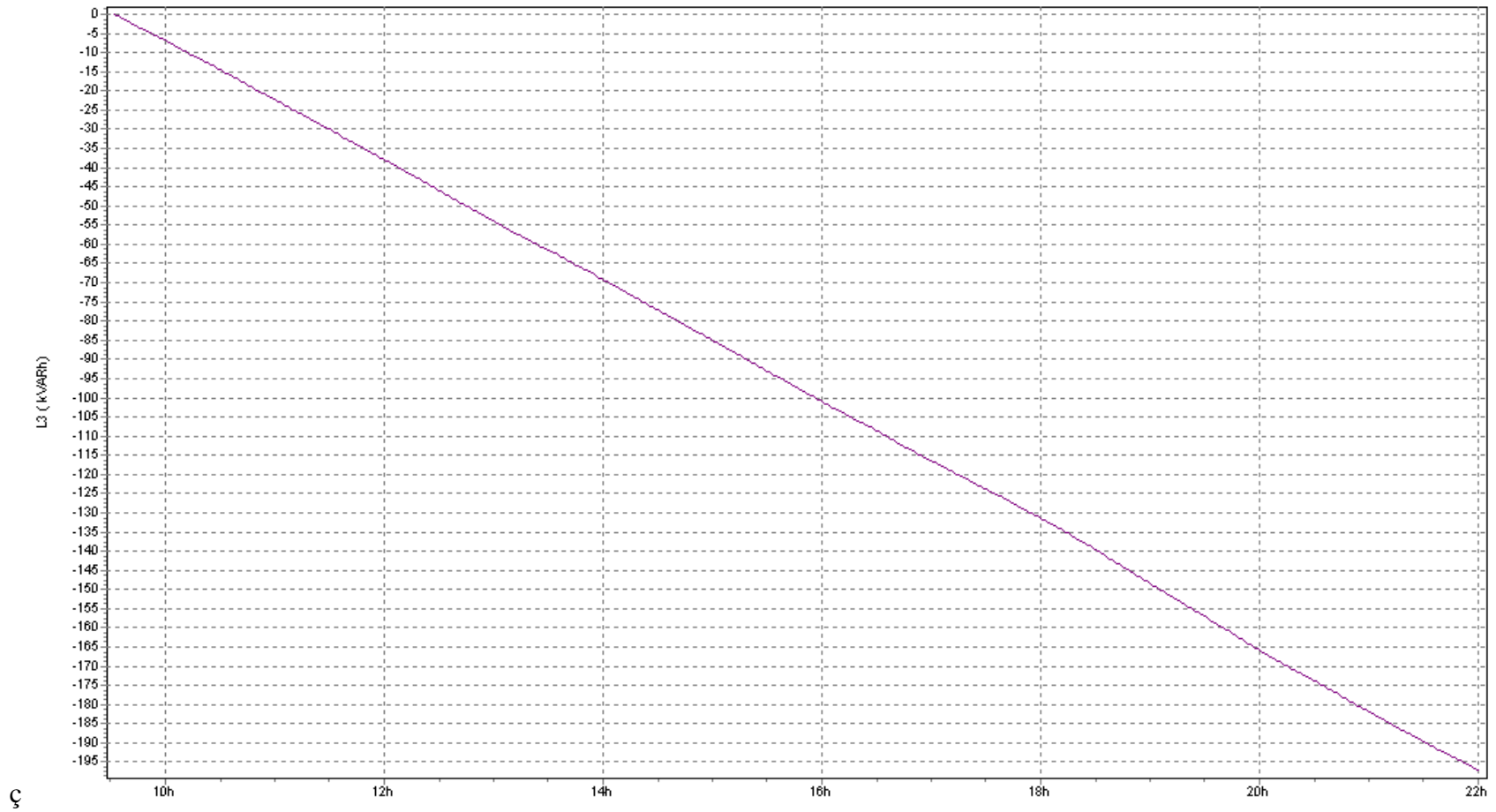
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.59 Energía Activa en la Línea 3 – Valor Máximo

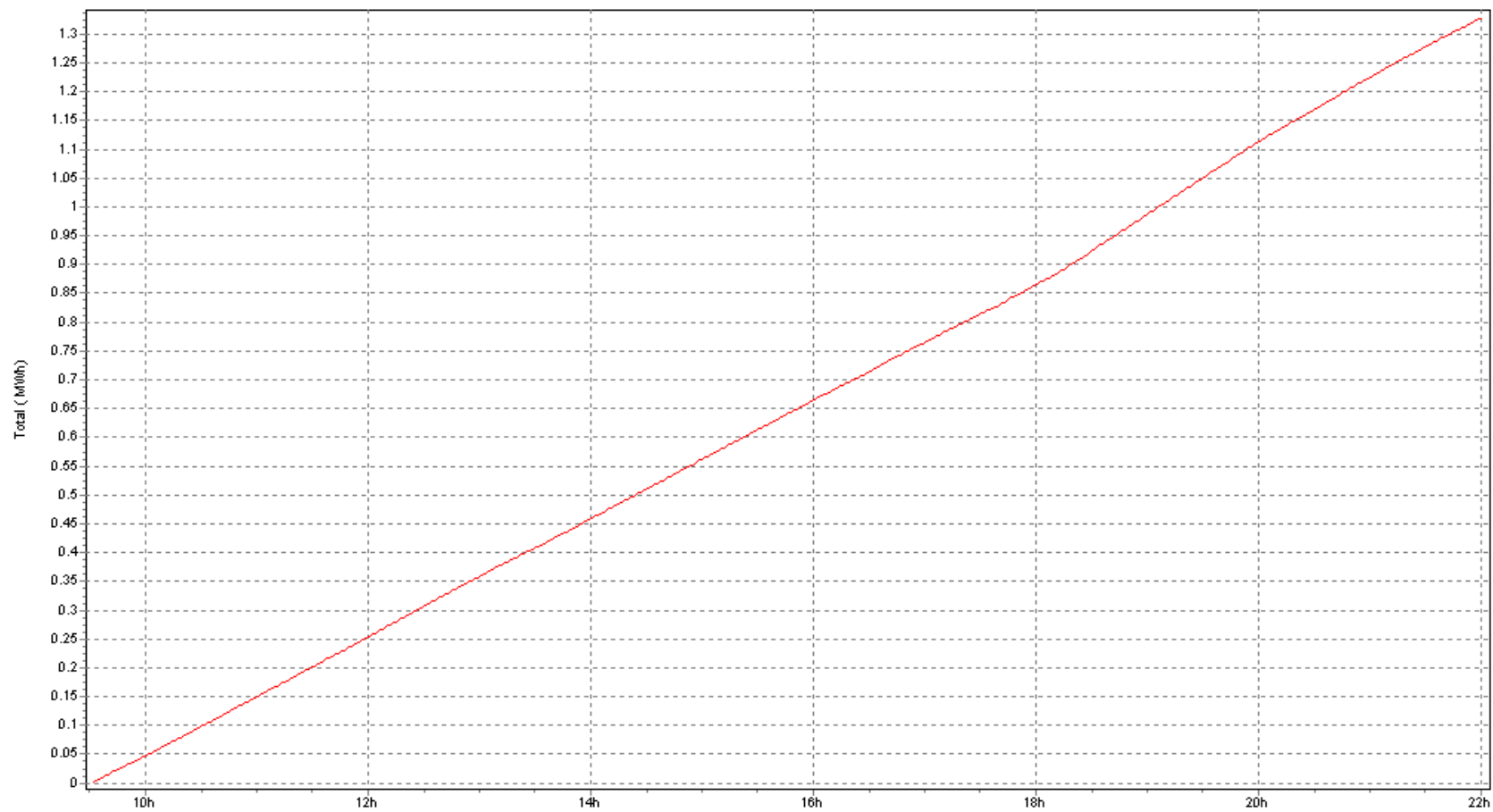
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





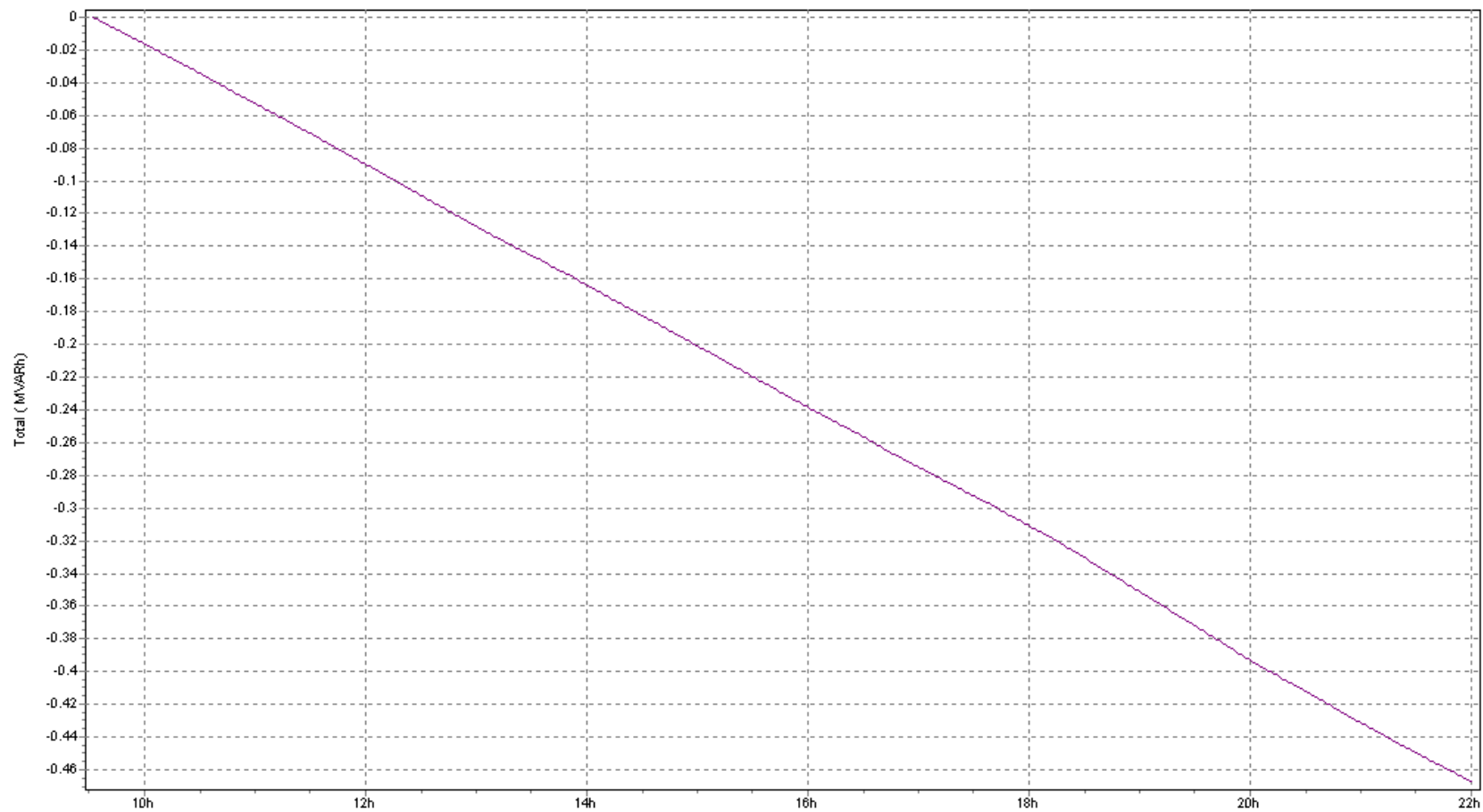
Gráfica 5.3.60 Energía Reactiva en la Línea 3 – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



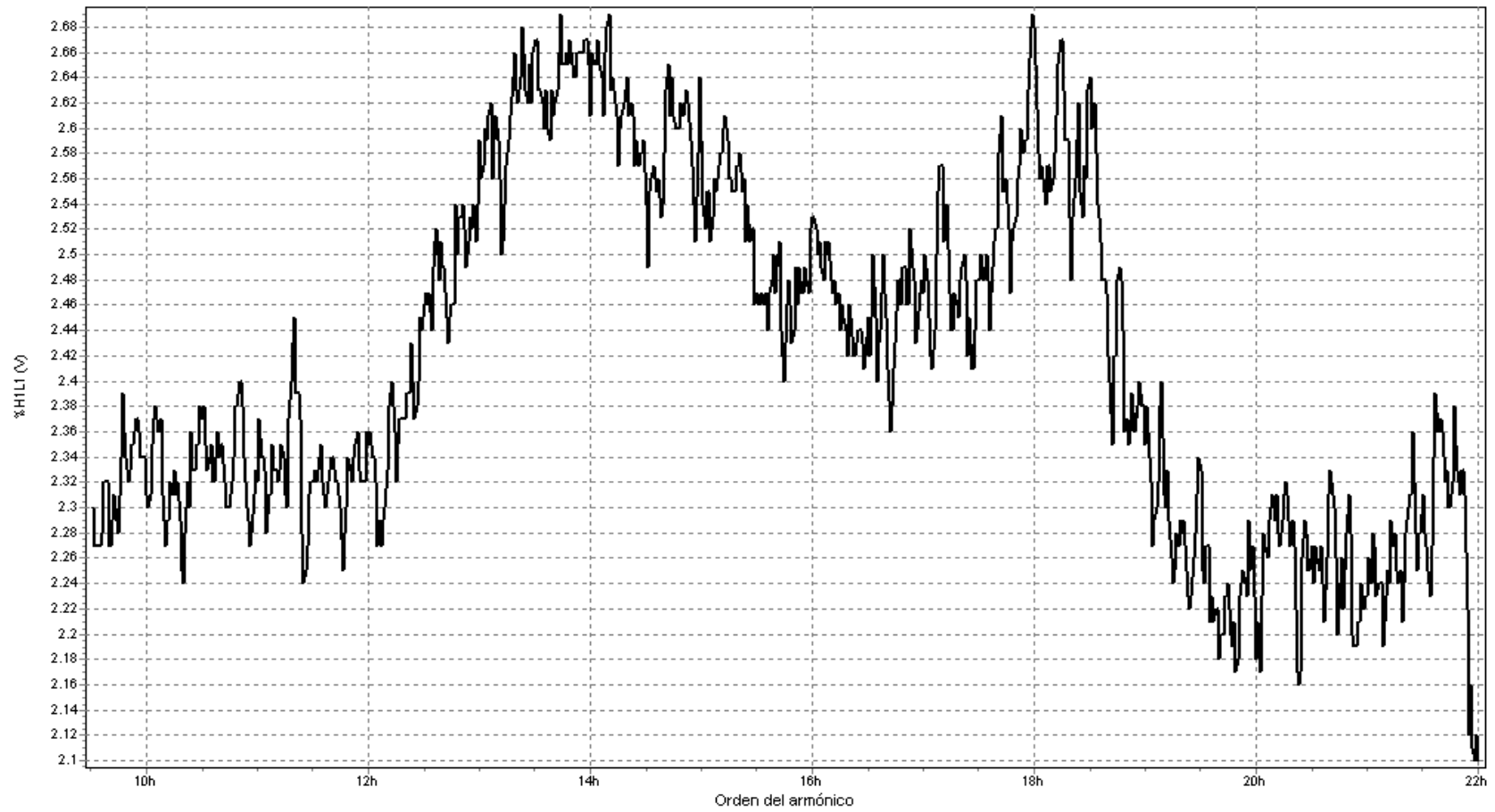
Gráfica 5.3.61 Energía Activa Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



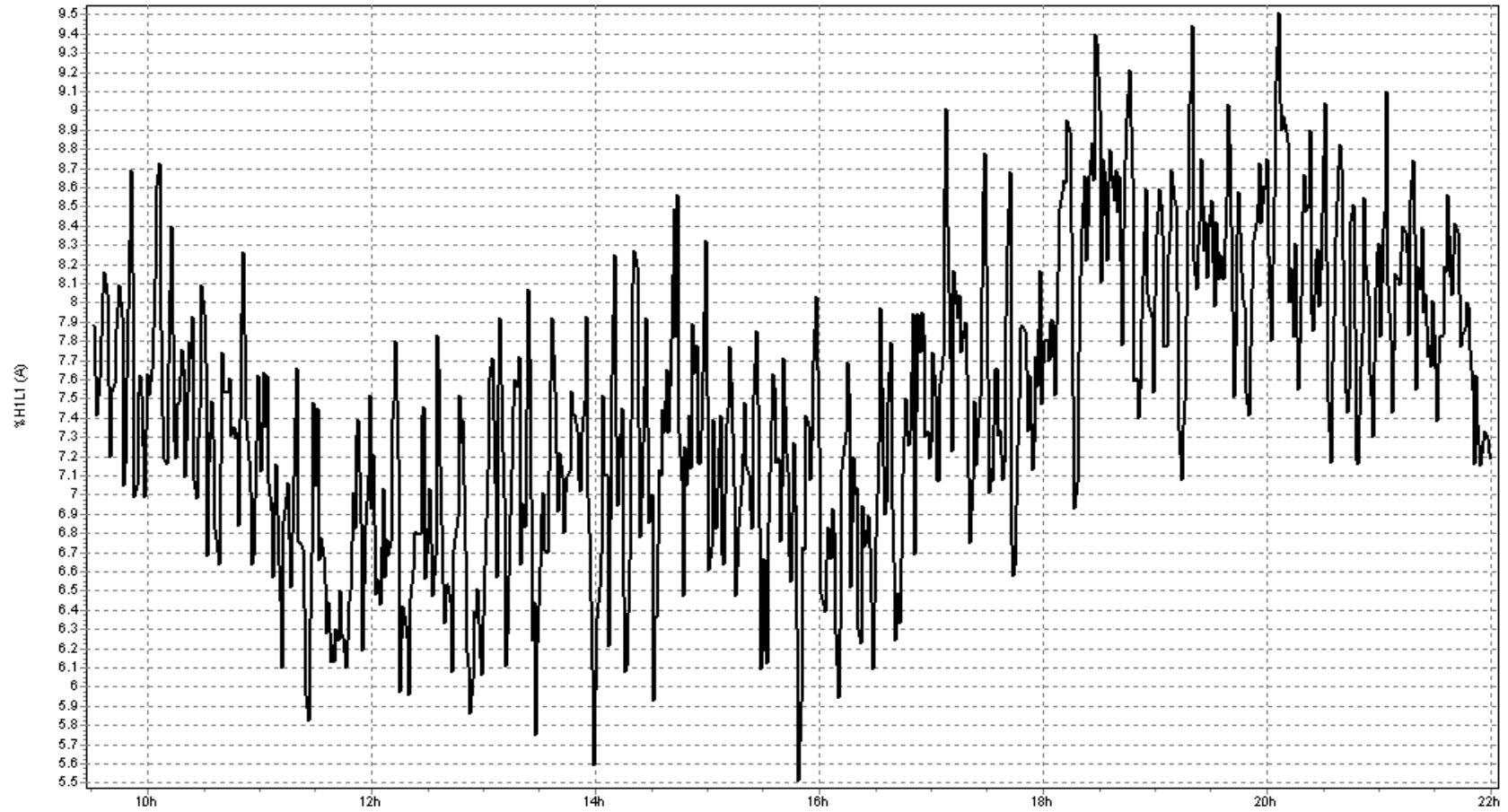
Gráfica 5.3.62 Energía Reactiva Total – Valor Máximo

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



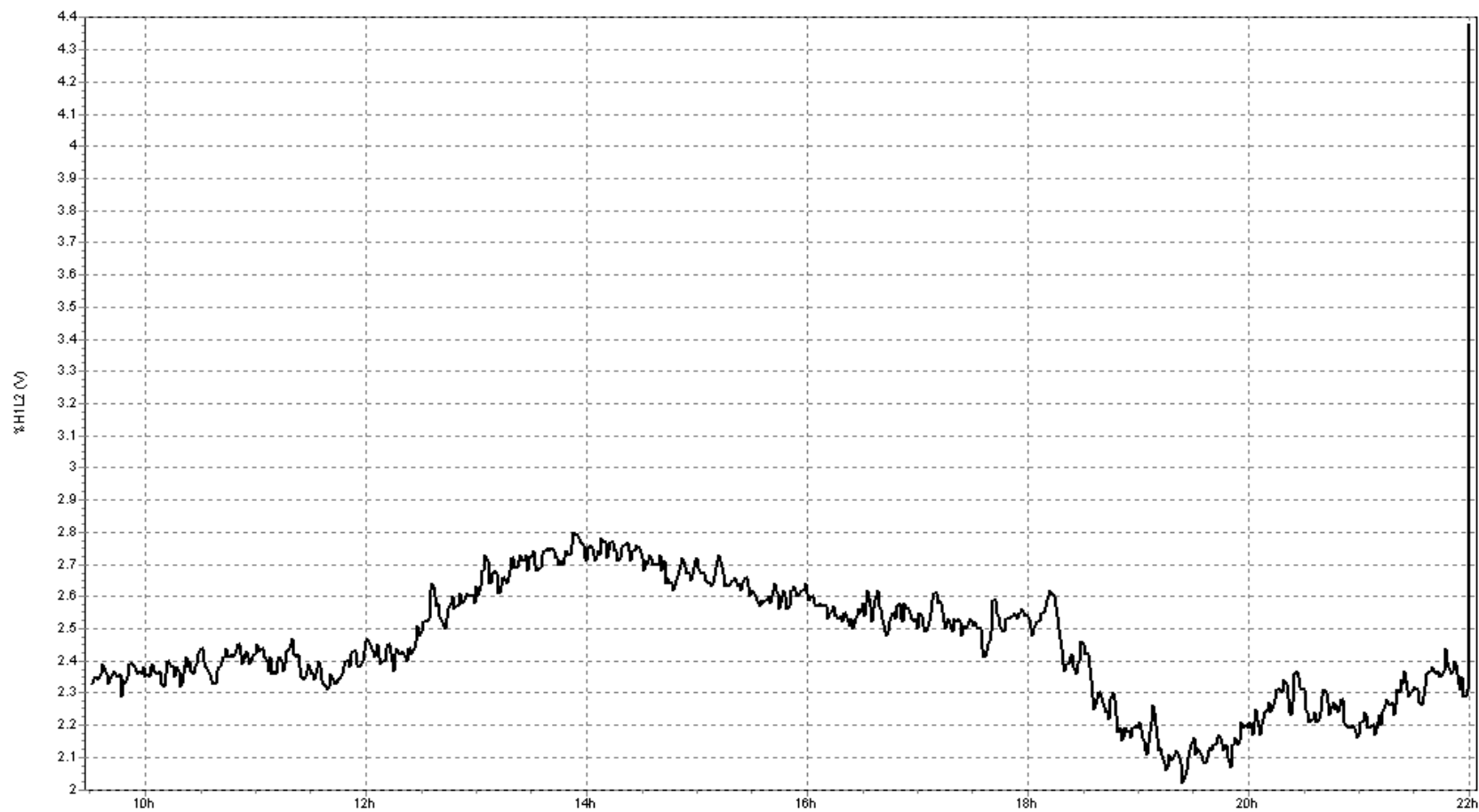
Gráfica 5.3.63 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 1

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



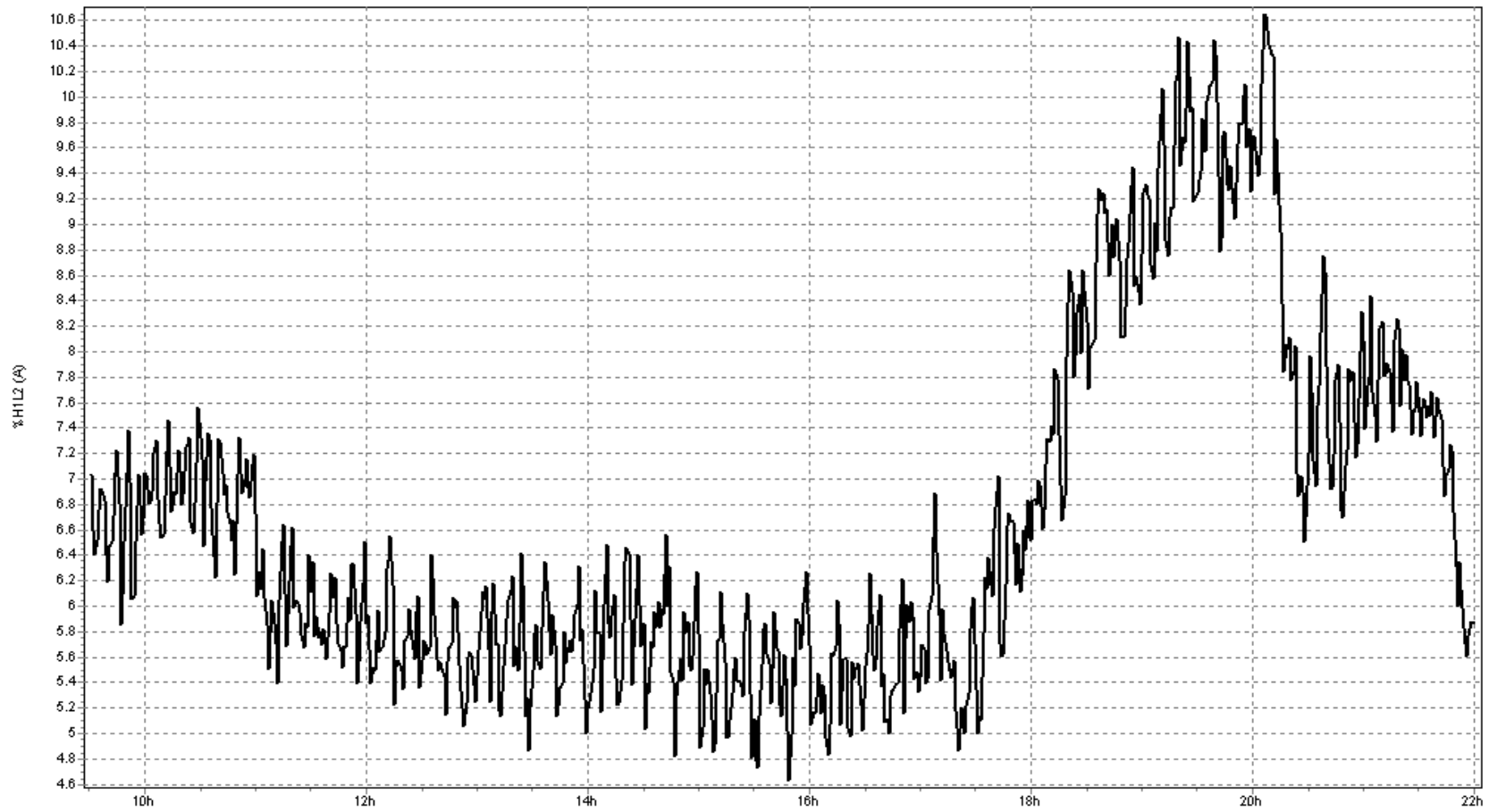
Gráfica 5.3.64 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 1

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.65 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 2

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.66 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 2

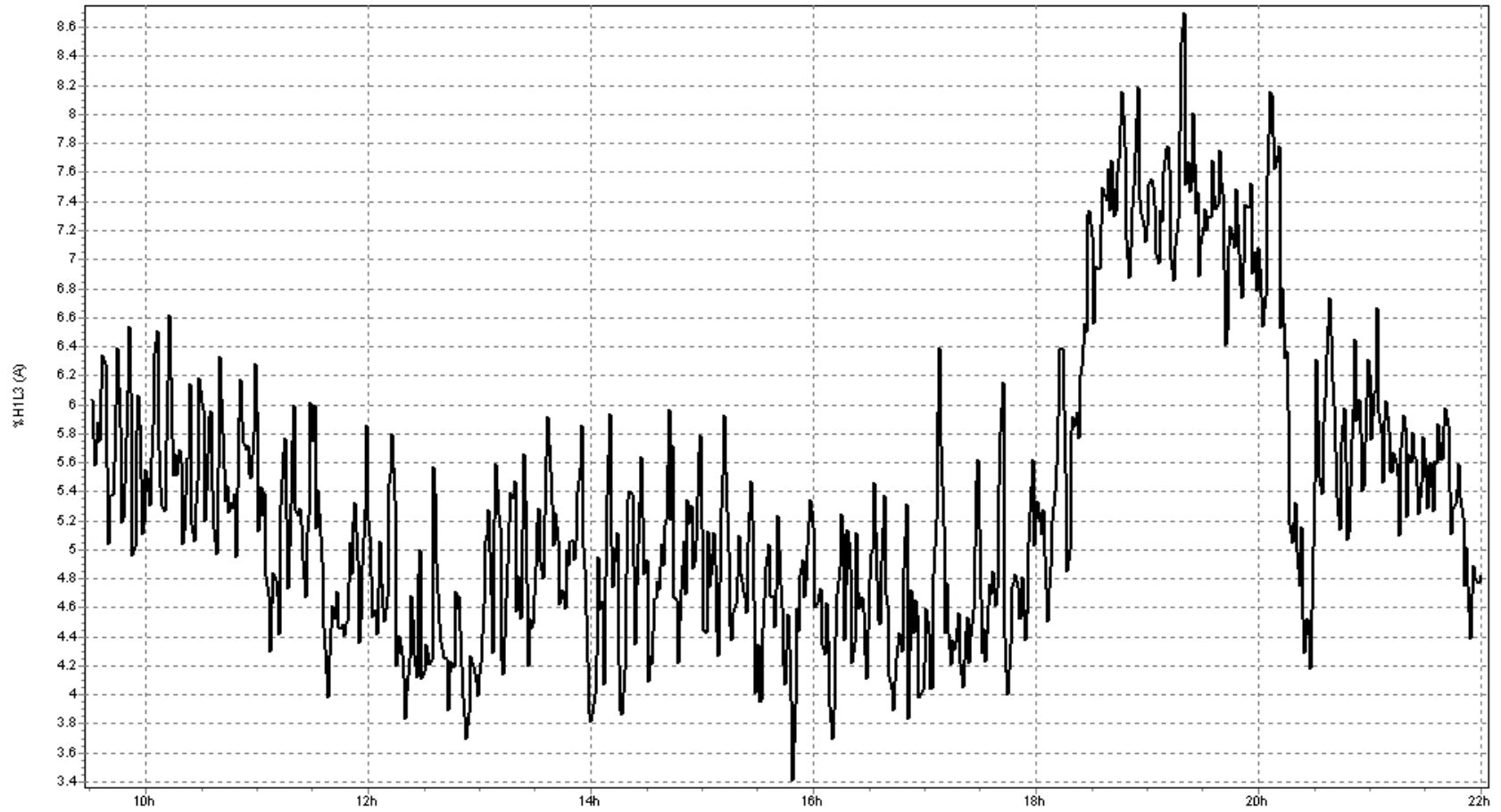
Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.67 Distorsión Armónica Total de Voltaje en la Línea 3

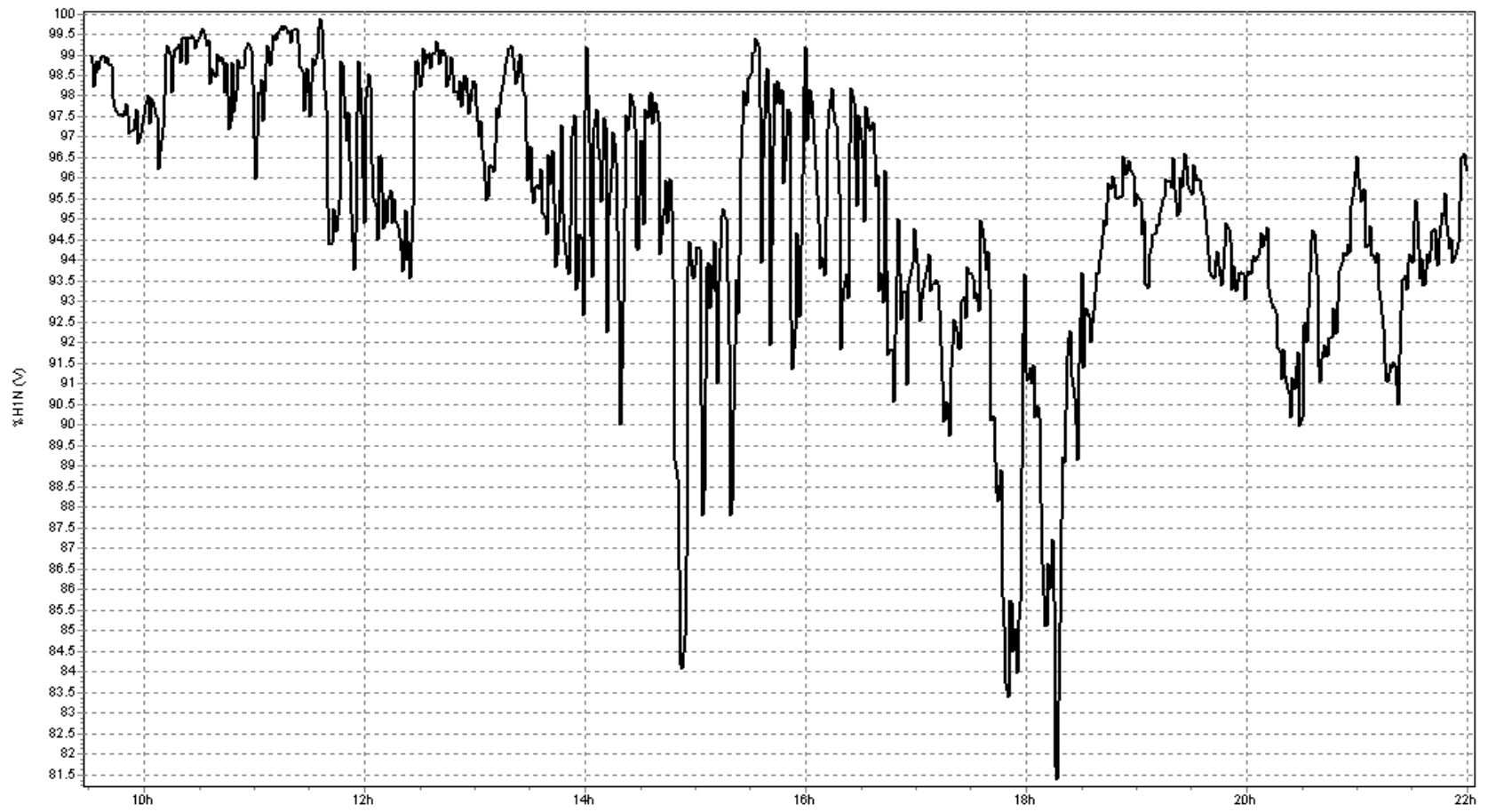
Fuente: FLUKE 435 – Power Log





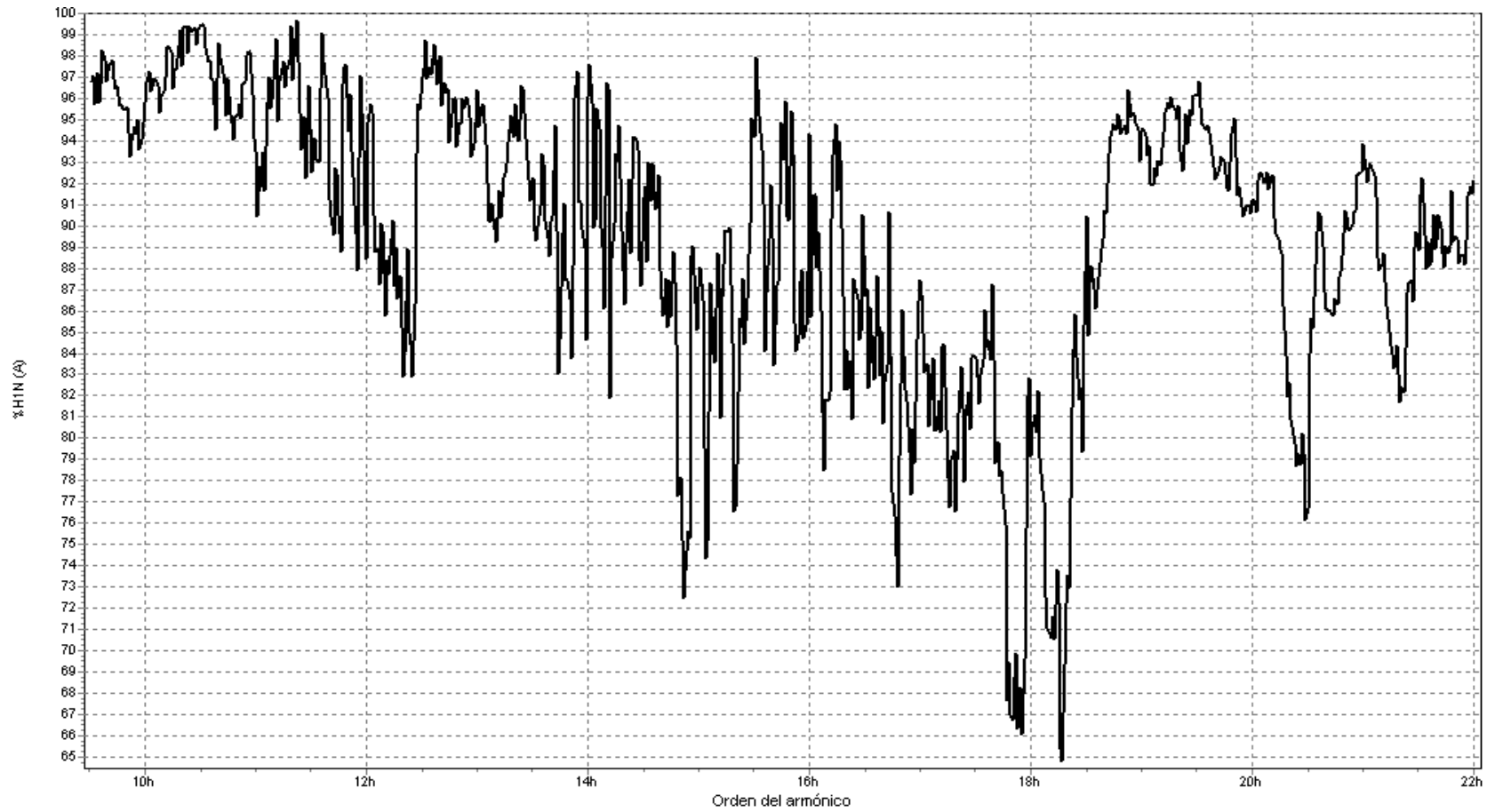
Gráfica 5.3.68 Distorsión Armónica Total de Corriente en la Línea 3

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



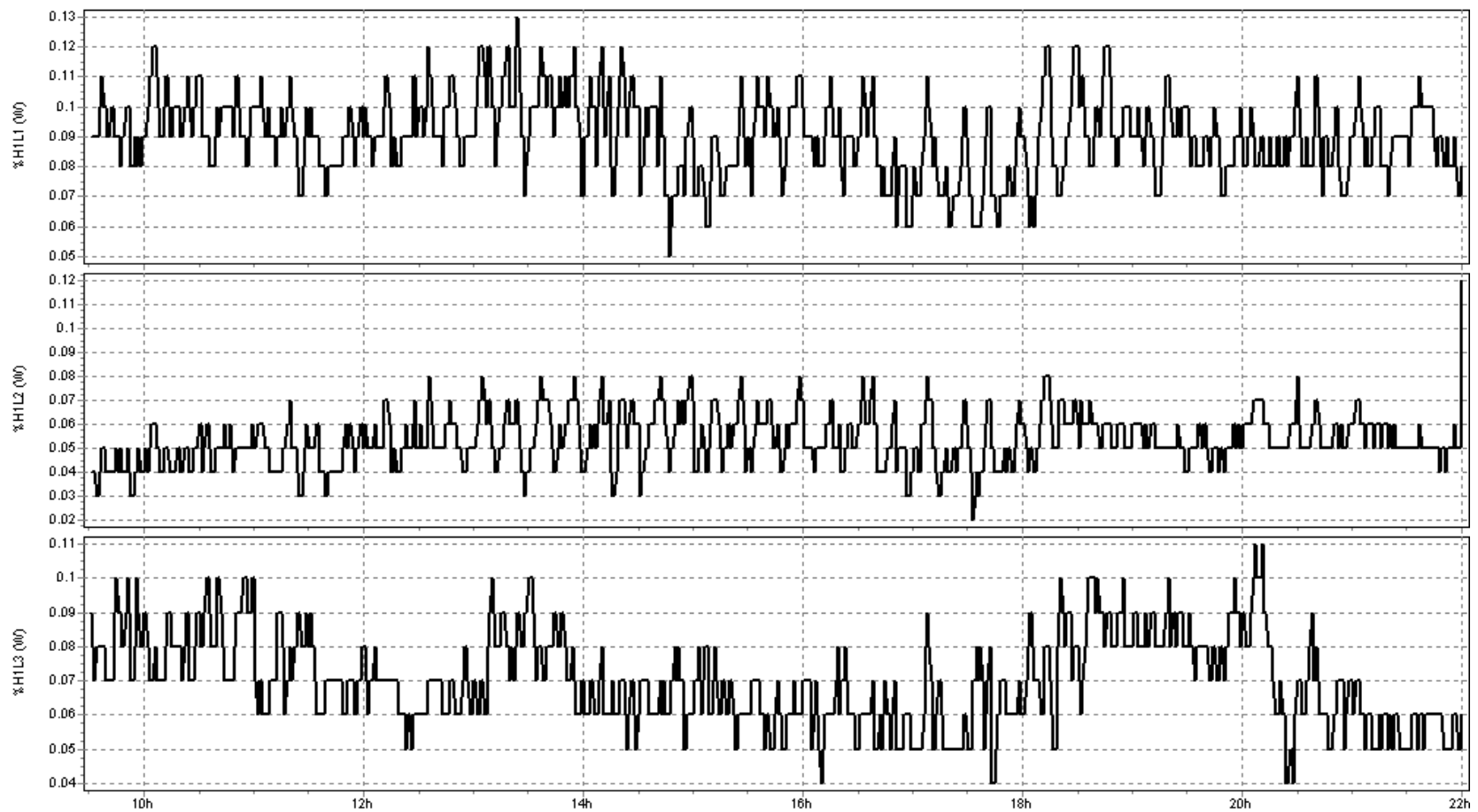
Gráfica 5.3.69 Distorsión Armónica Total de Voltaje en el Neutro

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



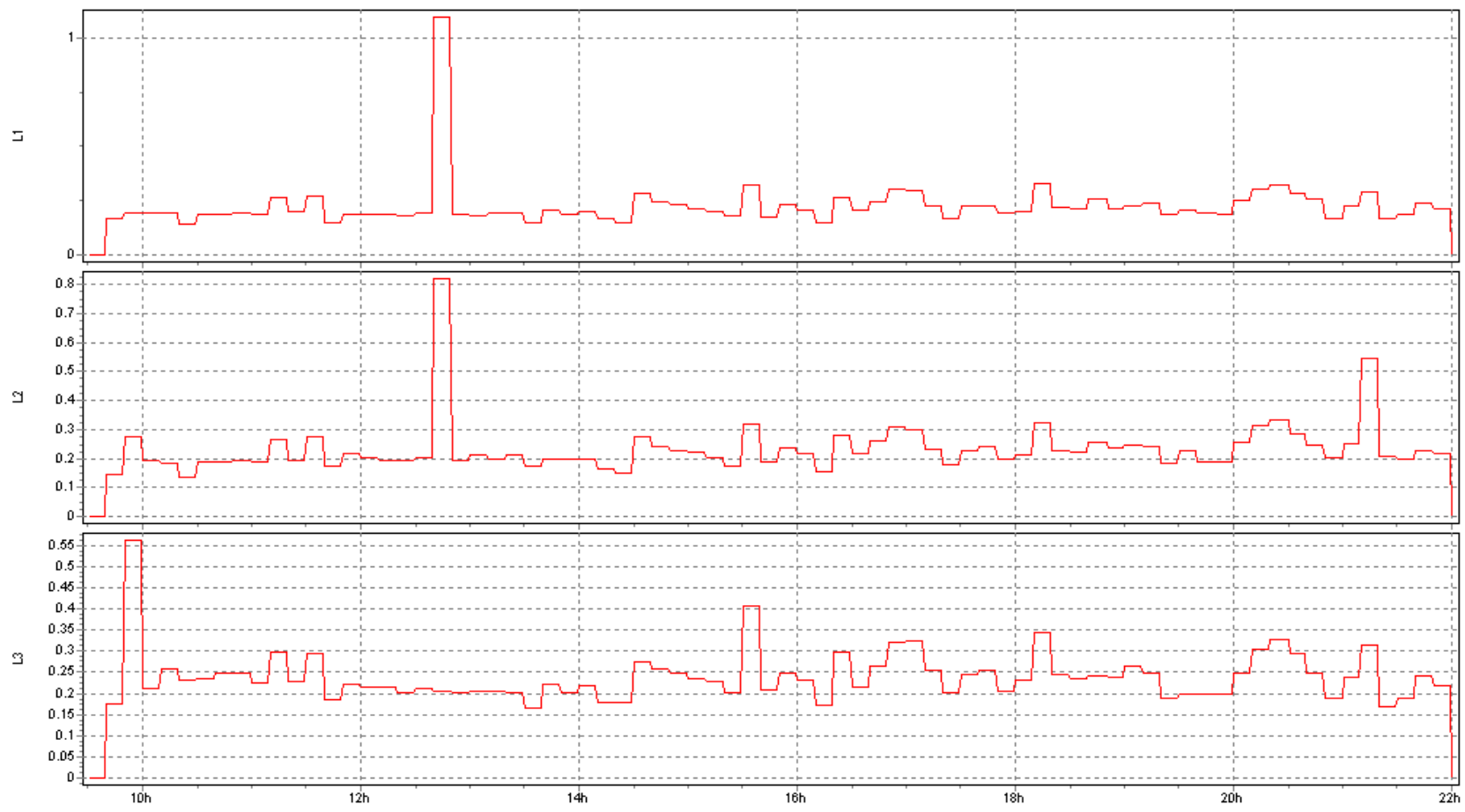
Gráfica 5.3.70 Distorsión Armónica Total de Corriente en el Neutro

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



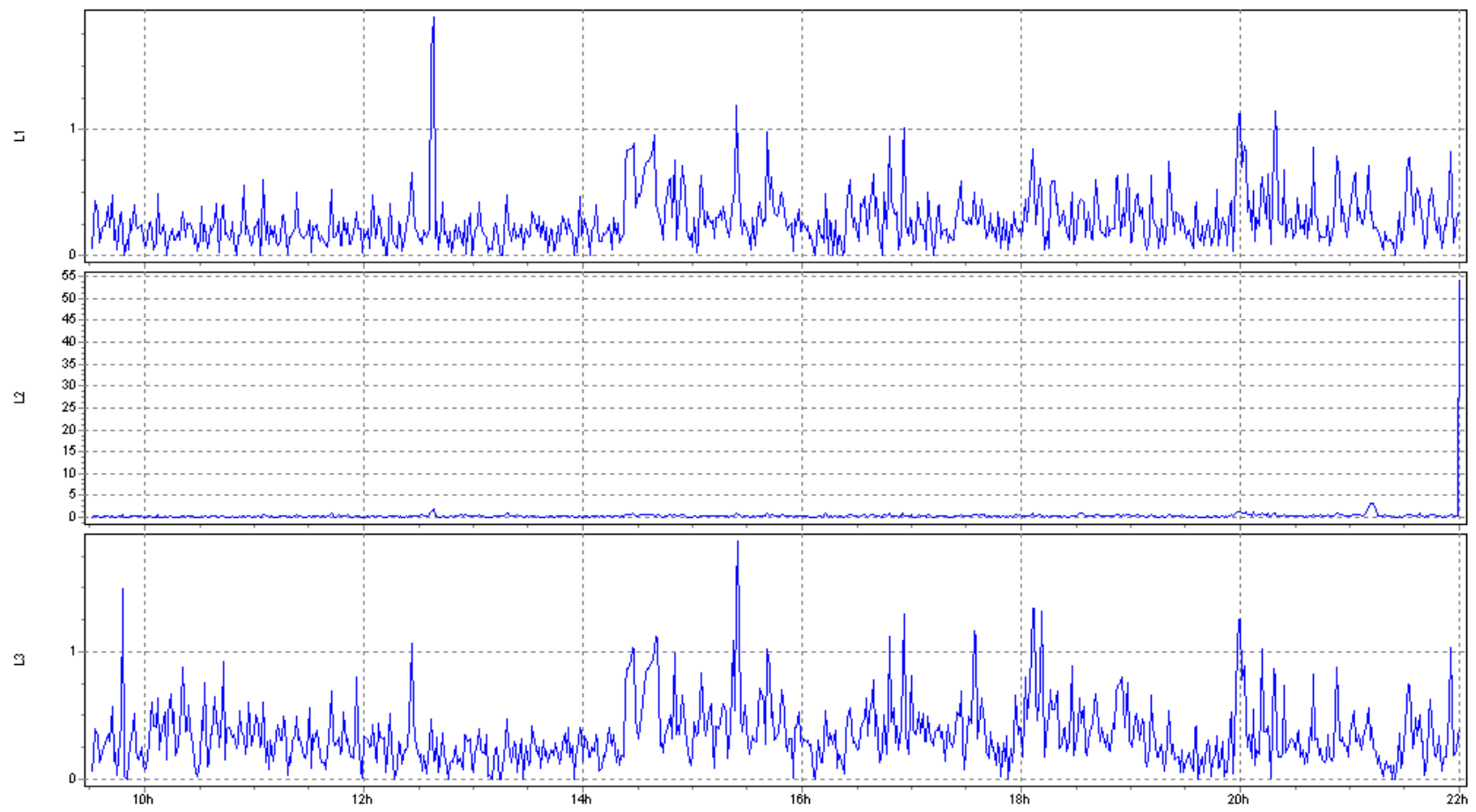
Gráfica 5.3.71 Distorsión Armónica Total de Potencia

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.72 Perturbación de Corta Duración

Fuente: FLUKE 435 – Power Log



Gráfica 5.3.73 Perturbación de Larga Duración

Fuente: FLUKE 435 – Power Log

## CAPITULO VI

### DIAGNÓSTICO ELÉCTRICO

#### 6.1 CAUSAS

De acuerdo a los resultados obtenidos después de realizar las mediciones en los tableros eléctrico principal se encontró, que en el tablero general de acometidas no se presentan sobrecargas de las líneas y así mismo las capacidades de los interruptores, están bien dimensionados con respecto a las capacidades de los conductores; lo cual se considera positivo para las instalaciones, ya que la vida útil de los conductores será mayor y se evitara posibles accidentes debido al calentamiento excesivo de las líneas.

Con respecto a la tensión nominal en la acometida de alimentación de cada una de las fases, los valores no sobrepasan en ninguno de los casos los recomendados por la norma NTC1340., los valores de desbalance en tensión en las acometidas no superan el máximo recomendado del +5% y 10%, lo cual es positivo para el funcionamiento normal de la universidad.

De acuerdo con los valores obtenidos de potencia y factor de potencia, no se presenta ningún tipo de sobrecarga en el transformador. A si mismo los valores de factor de potencia de universidad (ver tablas), se encuentran dentro de los límites permisibles.

Sin embargo el valor del factor de potencia registrado en la acometida del tablero general, cumple con los límites dados, lo cual indica el correcto funcionamiento de la universidad politécnica salesiana.

El registro de flicker en el tablero general de acometidas, muestra unos valores que sobrepasan los límites estipulados en la recomendación IEEE 519 de 1992; esta falla puede presentarse debido a los arranques de herramientas utilizadas en la universidad en diferentes áreas, ya que coincidió las mediciones del tablero eléctrico con las diferentes actividades de mejoramiento y construcción de la universidad.

En los registros de los armónicos de corriente, se encontró que los más representativos son los de orden 3 y 5 seguidos por los de orden 7, 13 y 15, las magnitudes de estos armónicos se ilustran en la tabla correspondiente, con su respectiva calificación según los límites predeterminados por recomendación IEEE 519 de 1992. La presencia de estas distorsiones en la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

Una vez analizados los registros de los armónicos de tensión Y corriente, se llega a la conclusión que solo se presenta problemas con el armónico de orden 3 y 5, como se ilustra en la tabla, este fenómeno se puede presentar debido a la disminución de la componente fundamental en días u horas donde se incrementa el uso de lámparas fluorescentes.

Los parámetros eléctricos de tensiones, frecuencia y potencia activa no presentan problemas ni sobrepasan los límites permitidos por las normas y los valores de los armónicos de corriente de orden 5, 7, 9, 11 y 13, están por fuera de los rangos establecidos por la recomendación IEEE 519 de 1992 donde se estipula un valor menor o igual a 4.0 para los de orden 5, 7 y 9 y un valor menor o igual a 2.0 para los de orden 11 y 13, por lo tanto existe presencia de distorsiones armónicas en cada sistema que sobrepasan los límites.

Adicionalmente existe presencia del armónico de tensión de orden 5 en todos los tableros de distribución de la planta N° 3, con valores que sobrepasan los límites admisibles por la recomendación IEEE 519 de 1992, el cual no debe ser superior a 4.

## **6.2 RESULTADOS Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo con los resultados obtenidos en las mediciones de parámetros eléctricos del tablero general de acometidas de la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA y tienen los siguientes resultados y recomendaciones correctivas para mejorar el sistema eléctrico y la calidad de la energía:



El consumo de potencia eléctrica medido en el tablero general de acometidas, el cual es alimentado por el transformador de 500 kVA, fue de 160 kW en promedio; teniendo como consumo máximo 210 kW.

Se recomienda tener un control del consumo efectuando lecturas periódicas en el tablero principal, en las acometidas principales y preferiblemente al iniciar los ciclos de mayor demanda.

Este control se puede realizar de manera diaria, semanal, mensual o anual, esta información se puede comparar con el nivel de consumo de energía de la Universidad.

Se recomienda la instalación de filtros de armónicos con el propósito de compensar el flujo de potencia reactiva.

Para diseñar este filtro es necesario simular por medio de un software el sistema eléctrico con las características principales de consumo; el objetivo del proceso es determinar el filtro mínimo que desempeñe la labor de eliminación de armónicos requerida.

### **6.3 CONCLUSIONES**

Los objetivos propuestos para la elaboración y desarrollo del presente proyecto de grado se cumplieron plenamente.

Los niveles de tensión en todas las acometidas eléctricas de alimentación principal, se encuentran dentro de los límites admisibles por la norma NTC 1340, variación de tensión en los rangos +5% y 10%, por consiguiente son aceptables.

De acuerdo a los niveles de tensión encontrados en el tablero general de acometidas, el desbalance de tensión es aceptable.

Se presentaron eventos transitorios en tensión que son causa potencial de arranques herramientas eléctricas utilizadas en la construcción de Universidad y funcionamiento de los equipos de climatización.

En el tablero general de acometidas eléctricas, el dimensionamiento de conductores y dispositivos de protección es acorde a la carga demandada y capacidad de interruptores se encuentran bien dimensionados.

En general, parámetros eléctricos como niveles de tensión, niveles de corrientes, magnitudes de potencias y frecuencia, son aceptables en condiciones normales de operación, lo cual refleja un buen estado de la Universidad Politécnica Salesiana en las instalaciones eléctricas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Regulación CONELEC N°-004/01 Calidad de Servicio eléctrico de distribución. Resolución N° 0116/01.
- [2] Theodore Wildi, Sistemas de Potencia, Sexta Edición, Armónicos y Calidad de Energía, 2007.
- [3] <http://www.conelec.gov.ec>
- [4] <http://www.ieee.org>
- [5] <http://www.iec.org>
- [6] <http://www.fluke.com>
- [7] <http://www.elprisma.com>