



# Índice General

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 HIPÓTESIS	3
1.4 OBJETIVO DE LA TESIS	4
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS	4
1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	5
<b>2 POWER LINE COMMUNICATIONS PLC</b>	<b>7</b>
2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 POWER LINE COMMUNICATIONS	7
2.2.1 Historia de PLC	8
2.2.2 Tipos de PLC	9
2.2.3 Servicios y Características de PLC	9
2.2.4 Ventajas y desventajas del PLC	10
2.3 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL PLC	11



2.3.1 Ámbitos del PLC \_\_\_\_\_ 12

2.3.2 Equipos \_\_\_\_\_ 13

    2.3.2.1 Módem PLC \_\_\_\_\_ 14

    2.3.2.2 Repetidor \_\_\_\_\_ 14

    2.3.2.3 Head End \_\_\_\_\_ 15

2.4 ARQUITECTURA DE LA RED DE PLC \_\_\_\_\_ 16

    2.4.1 Similitudes con ADSL \_\_\_\_\_ 17

2.5 LIMITACIONES \_\_\_\_\_ 19

    2.5.1 Ondas Electromagnéticas \_\_\_\_\_ 20

    2.5.2 Privacidad \_\_\_\_\_ 21

2.6 RESUMEN \_\_\_\_\_ 23

**3 RUIDO EN EL CANAL PLC \_\_\_\_\_ 25**

3.1 INTRODUCCIÓN \_\_\_\_\_ 25

3.2 RUIDO \_\_\_\_\_ 26

    3.2.1 Fuentes de ruido \_\_\_\_\_ 26

    3.2.2 Ruido en la línea de transmisión eléctrica \_\_\_\_\_ 27

        3.2.2.1 Clasificación del ruido en la línea \_\_\_\_\_ 28

3.3 CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA \_\_\_\_\_ 30

    3.3.1 Disturbios en la línea eléctrica \_\_\_\_\_ 31

    3.3.2 Armónicos en los sistemas eléctricos \_\_\_\_\_ 35

3.4 ANÁLISIS ARMÓNICO \_\_\_\_\_ 35

    3.4.1 Definición del Análisis Armónico \_\_\_\_\_ 35

        3.4.1.2 Funciones periódicas \_\_\_\_\_ 36

        3.4.1.3 Series de Fourier \_\_\_\_\_ 37

        3.4.1.3 Distorsión Armónica \_\_\_\_\_ 39

        3.4.1.4 Normas \_\_\_\_\_ 41

3.5 RESUMEN \_\_\_\_\_ 44

**4 TEORÍA DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS \_\_\_\_\_ 46**

4.1 INTRODUCCIÓN	46
4.2 TEORÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	47
4.2.1 <i>Conceptos y Definiciones</i>	48
4.2.1.1 Experimento	48
4.2.1.2 Unidad Experimental	49
4.2.1.3 Variables, factores y niveles	49
4.2.1.4 Errores	50
4.2.2 <i>Principios Básicos</i>	51
4.2.2.1 Aleatorización	51
4.2.2.2 Repetición	52
4.2.2.3 Bloqueo	52
4.3 PROCESO PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO	52
4.2.3 <i>Etapas en el diseño de experimentos</i>	53
4.2.3.1 Planeación	53
4.2.3.1.1 Definición de hipótesis	54
4.2.3.1.2 Variables y Factores	54
4.2.3.1.3 Selección del Diseño	54
4.2.3.1.3 Definición de la variable dependiente	55
4.2.3.1.4 Aleatorización	55
4.2.3.1.5 Planeación del trabajo	56
4.2.3.2 Análisis de datos	57
4.2.3.3 Interpretación	57
4.2.3.4 Conclusiones Finales	57
4.2.4 <i>Diseño del experimento para la medición de ruido generado por electrodomésticos</i>	58
4.3 RESUMEN	59
<b>5 PROCESO EXPERIMENTAL Y MEDICIONES</b>	<b>60</b>
5.1 INTRODUCCIÓN	60
5.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL	60
5.2.1 <i>Metodología para la adquisición de datos</i>	63

5.2.2 Mediciones Realizadas	65
5.2.2.1 Mediciones de la Aspiradora	70
5.2.2.2 Mediciones de la Cafetera	73
5.2.2.3 Mediciones del Cargador de batería de Nextel	76
5.2.2.4 Mediciones de la Computadora	79
5.2.2.5 Mediciones del Foco	82
5.2.2.7 Mediciones del Horno Eléctrico	88
5.2.2.8 Mediciones del Horno de Microondas	91
5.2.2.9 Mediciones de la Plancha	94
5.2.2.10 Mediciones del Refrigerador	97
5.2.2.11 Mediciones del Taladro	100
5.2.2.12 Mediciones de la Televisión	103
5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	106
5.3.1 Estadística descriptiva	106
5.3.2 Presentación de los datos	108
5.4 RESUMEN	126
<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>127</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>134</b>
<b>APÉNDICE A – EQUIPO Y ELECTRODOMÉSTICOS</b>	<b>139</b>
EQUIPO	139
ELECTRODOMÉSTICOS	143
<b>APÉNDICE B – MEDICIONES DE CORRIENTE</b>	<b>146</b>
ASPIRADORA	146
CAFETERA	150
CARGADOR DE BATERÍA DE NEXTEL	154
COMPUTADORA	159
FOCO	163



FOCO AHORRADOR	166
HORNO ELÉCTRICO	170
HORNO DE MICROONDAS	174
PLANCHA	179
REFRIGERADOR	183
TELEVISIÓN	188
TALADRO	194
<b>APÉNDICE C – MEDICIONES DE VOLTAJE</b>	<b>199</b>
ASPIRADORA	199
CAFETERA	203
CARGADOR DE BATERÍA DE NEXTEL	206
COMPUTADORA	209
FOCO	212
FOCO AHORRADOR	215
HORNO ELÉCTRICO	219
HORNO DE MICROONDAS	222
PLANCHA	225
REFRIGERADOR	228
TELEVISIÓN	231
TALADRO	234
<b>APÉNDICE D – MEDICIONES DE ARMÓNICOS</b>	<b>238</b>
ASPIRADORA	238
CAFETERA	239
CARGADOR DE BATERÍA DE NEXTEL	240
COMPUTADORA	241
FOCO	242
FOCO AHORRADOR	243



---

HORNO ELÉCTRICO _____	244
HORNO DE MICROONDAS _____	245
PLANCHA _____	246
REFRIGERADOR _____	247
TALADRO _____	248
TELEVISIÓN _____	249
<b>APÉNDICE E – LISTA DE ACRÓNIMOS _____</b>	<b>250</b>

## Índice de Figuras

<i>Figura 2.1 Ámbitos de PLC</i> .....	13
<i>Figura 2.2 Módem PLC [37]</i> .....	14
<i>Figura 2.3 Repetidor PLC [35]</i> .....	15
<i>Figura 2.4 Head-End [21]</i> .....	15
<i>Figura 2.5 Arquitectura de la red PLC [22]</i> .....	17
<i>Figura 2.6 Ejemplo de red PLC [30]</i> .....	18
<i>Figura 2.7 “Transformer Bypass” [22]</i> .....	20
<i>Figura 3.1 Ejemplo de interferencia en PLC [38]</i> .....	30
<i>Figura 3.2 Disturbios en la línea eléctrica [2]</i> .....	34
<i>Figura 3.3 Funciones periódicas [4]</i> .....	37
<i>Figura 3.4 Representación de los coeficientes de la serie de Fourier [4]</i> .....	38
<i>Figura 3.5 Fundamental más tercera armónica [1]</i> .....	39
<i>Figura 4.1 Diagrama con las etapas para el diseño de experimentos [17]</i> .....	56
<i>Figura 5.1 Diagrama de conexión del equipo</i> .....	63
<i>Figura 5.2 Señal de voltaje proporcionada por el generador antes y después del regulador de voltaje</i> ....	65
<i>Figura 5.3 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos de la aspiradora</i> .....	70
<i>Figura 5.4 Espectros de voltaje y corriente de la aspiradora obtenido después de realizar el barrido en frecuencia</i> .....	72
<i>Figura 5.5 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos de la cafetera</i> .....	73
<i>Figura 5.6 Espectros de voltaje y corriente de la cafetera obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia</i> .....	75
<i>Figura 5.7 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del cargador de batería de nextel</i> .....	76
<i>Figura 5.8 Espectros de voltaje y corriente del cargador de batería de nextel obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia</i> .....	78
<i>Figura 5.9 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos de la computadora</i> .....	79

<i>Figura 5.10 Espectros de voltaje y corriente de la computadora obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5.11 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del foco.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5.12 Espectros de voltaje y corriente del foco obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5.13 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del foco ahorrador.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5.14 Espectros de voltaje y corriente del foco ahorrador obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 5.15 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del horno eléctrico.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 5.16 Espectros de voltaje y corriente del horno eléctrico obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 5.17 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del horno de microondas.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.18 Espectros de voltaje y corriente del horno de microondas obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 5.19 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos de la plancha.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 5.20 Espectros de voltaje y corriente de la plancha obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 5.21 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del refrigerador.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 5.22 Espectros de voltaje y corriente del refrigerador obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 5.23 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos del taladro.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 5.24 Espectros de voltaje y corriente del taladro obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 5.25 Señales de voltaje, corriente y sus armónicos de la televisión.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 5.26 Espectros de voltaje y corriente de la televisión obtenidos después de realizar el barrido en frecuencia.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.27 Histograma de Corriente de la Aspiradora.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 5.28 Histograma de Corriente de la Cafetera.....</i>	<i>111</i>



<i>Figura 5.29 Histograma de Corriente del Cargador de Nextel</i> .....	111
<i>Figura 5.30 Histograma de Corriente de la Computadora</i> .....	111
<i>Figura 5.31 Histograma de Corriente del Foco</i> .....	112
<i>Figura 5.32 Histograma de Corriente del Foco Ahorrador</i> .....	112
<i>Figura 5.33 Histograma de Corriente del Horno Eléctrico</i> .....	112
<i>Figura 5.34 Histograma de Corriente del Horno de Microondas</i> .....	112
<i>Figura 5.35 Histograma de Corriente de la Plancha</i> .....	113
<i>Figura 5.36 Histograma de Corriente del Refrigerador</i> .....	113
<i>Figura 5.37 Histograma de Corriente de la Televisión</i> .....	113
<i>Figura 5.38 Histograma de Corriente del Taladro</i> .....	113
<i>Figura 5.39 Histograma de Voltaje de la Aspiradora</i> .....	118
<i>Figura 5.40 Histograma de Voltaje de la Cafetera</i> .....	118
<i>Figura 5.41 Histograma de Voltaje del Cargador de Nextel</i> .....	118
<i>Figura 5.42 Histograma de Voltaje de la Computadora</i> .....	118
<i>Figura 5.43 Histograma de Voltaje del Foco</i> .....	119
<i>Figura 5.44 Histograma de Voltaje del Foco Ahorrador</i> .....	119
<i>Figura 5.45 Histograma de Voltaje del Horno Eléctrico</i> .....	119
<i>Figura 5.46 Histograma de Voltaje del Horno de Microondas</i> .....	119
<i>Figura 5.47 Histograma de Voltaje de la Plancha</i> .....	120
<i>Figura 5.48 Histograma de Voltaje del Refrigerador</i> .....	120
<i>Figura 5.49 Histograma de Voltaje de la Televisión</i> .....	120
<i>Figura 5.50 Histograma de Voltaje del Taladro</i> .....	120
<i>Figura 5.51 Comparación de muestras de corriente de electrodomésticos</i> .....	124
<i>Figura 5.52 Comparación de muestras de voltaje de electrodomésticos</i> .....	125

## Índice de Tablas

Tabla 3.1 Límites de distorsión de voltaje en % de $V_1$ .....	42
Tabla 3.2 Límites de distorsión de corriente para sistemas de 129V a 69KV.....	42
Tabla 3.3 Límites de distorsión de corriente para sistemas de 69KV a 161KV.....	43
Tabla 3.4 Límites de distorsión de corriente para sistemas mayores a 161KV .....	43
Tabla 4.1 Definición del diseño de experimento para la medición de ruido armónico generado por electrodomésticos.....	58
Tabla 5.1 Clasificación de cargas según el estándar IEC 61000-3-2 [11].....	67
Tabla 5.2 Limitaciones para cargas tipo A y B [9].....	67
Tabla 5.3 Limitaciones para cargas tipo C [9].....	68
Tabla 5.4 Limitaciones para cargas tipo D [9] .....	68
Tabla 5.5 Características eléctricas nominales de la aspiradora.....	71
Tabla 5.6 Resumen de las mediciones de la aspiradora obtenido con Fluke 41.....	71
Tabla 5.7 Características eléctricas nominales de la cafetera .....	74
Tabla 5.8 Resumen de las mediciones de la cafetera obtenido con Fluke 41 .....	74
Tabla 5.9 Características eléctricas nominales del cargador de batería de nextel.....	77
Tabla 5.10 Resumen de las mediciones del cargador de batería de nextel obtenido con Fluke 41 .....	77
Tabla 5.11 Características eléctricas nominales de la computadora.....	80
Tabla 5.12 Resumen de las mediciones de la computadora obtenido con Fluke 41 .....	80
Tabla 5.13 Características eléctricas nominales del foco .....	83
Tabla 5.14 Resumen de las mediciones del foco obtenido con Fluke 41 .....	83
Tabla 5.15 Características eléctricas nominales del foco ahorrador.....	86
Tabla 5.16 Resumen de las mediciones del foco ahorrador obtenido con Fluke 41 .....	86
Tabla 5.17 Características eléctricas nominales del horno eléctrico.....	89
Tabla 5.18 Resumen de las mediciones del Horno Eléctrico obtenido con Fluke41 .....	89
Tabla 5.19 Características eléctricas nominales del horno de microondas .....	92

<i>Tabla 5.20 Resumen de las mediciones del horno de microondas obtenido con Fluke41 .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5.21 Características eléctricas nominales de la plancha .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 5.22 Resumen de las mediciones de la plancha obtenido con Fluke41.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 5.23 Características eléctricas nominales del refrigerador .....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 5.24 Resumen de las mediciones del refrigerador obtenido con Fluke41 .....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 5.25 Características eléctricas nominales del taladro.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 5.26 Resumen de las mediciones del taladro obtenido con Fluke41.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 5.27 Características eléctricas nominales de la televisión.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 5.28 Resumen de las mediciones de la televisión obtenido con Fluke41 .....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 5.29 Resumen 1 de medidas de tendencia central y dispersión de la señal de corriente.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 5.30 Resumen 2 de medidas de tendencia central y dispersión de la señal de corriente.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 5.31 Resumen 1 de medidas de tendencia central y dispersión de la señal de voltaje.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 5.32 Resumen 2 de medidas de tendencia central y dispersión de la señal de voltaje.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 5.33 Comparación de las medias, varianzas y desviaciones estándar de todos los electrodomésticos .....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla RC.1 Muestras significativas para la señal de corriente.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla RC.2 Muestras significativas para la señal de voltaje.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla RC.3 Rangos de frecuencia de acuerdo a CENELEC EN 50065-1 [43] .....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla RC.4 Niveles de transmisión de acuerdo a CENELEC EN 50065-1 [43].....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla RC.5 THD y clasificación de los electrodomésticos .....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla RC.6 Rango de frecuencias y promedio límite de radiación conducida [29].....</i>	<i>130</i>