

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE CARGA EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE BOLÍVAR CAMPUS TERNERA

JOE BERMÚDEZ CANO

DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJÍA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS
2008

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE CARGA EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE BOLÍVAR CAMPUS TERNERA

JOE BERMÚDEZ CANO

DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJÍA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingenieros Electricistas

Director

BIENVENIDO SARRIA LÓPEZ

Ing. Mecánico

Asesor

ALFREDO CERRA AMÍN

Ing. Electricista

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C
2008

Cartagena de Indias D.T. y C., 22 de Agosto de 2008

Señores:
COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Facultad de Ingenierías
Cartagena

Apreciados señores:

Luego de revisar el trabajo de grado “Evaluación y Análisis de Carga en la Universidad Tecnológica de Bolívar Campus Ternera”, realizado por los estudiantes JOE BERMUDEZ CANO y DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJIA; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarlo formalmente para su calificación y así optar por los títulos de Ing. Eléctrica.

Atentamente,

Ing. BIENVENIDO SARRIA LOPEZ.
PHD Ciencias Técnicas en la especialidad de Combustión,
Magíster en Diseño Térmico y Eficiencia Energética,
Director de Proyecto

Cartagena de Indias D.T. y C., Martes 14 de Octubre de 2008

Señores:
COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Facultad de Ingenierías
Cartagena

Apreciados señores:

La presente tiene como objeto presentar a ustedes, para que sea puesto en consideración, el estudio y probación del trabajo de grado titulado “Evaluación y Análisis de Carga en la Universidad Tecnológica de Bolívar Campus Ternera”, elaborada por: JOE BERMÚDEZ CANO Y DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJÍA, la cual fue realizada cumpliendo con las pautas establecidas y los derechos de la información suministrada por la universidad, y así optar por el título de Ingeniero Electricista.

Cordialmente,

JOE BERMUDEZ CANO
C.C # 1.047.369.716 de Cartagena

DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJÍA
C.C # 73.009.650 de Cartagena

Cartagena de Indias D.T. y C., Martes 14 de Octubre de 2008

AUTORIZACIÓN

Yo, JOE BERMÚDEZ CANO, identificado con Cédula de Ciudadanía # 1.047.369.716 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR para el uso de nuestro trabajo de grado titulado “Evaluación y Análisis de Carga en la Universidad Tecnológica de Bolívar Campus Ternera” y para su publicación en el Catálogo online de su biblioteca.

Cordialmente,

JOE BERMUDEZ CANO
C.C # 1.047.369.716 de Cartagena

Cartagena de Indias D.T. y C., Martes 14 de Octubre de 2008

AUTORIZACIÓN

Yo, DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJÍA, identificado con Cédula de Ciudadanía # 73.009.650 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR para el uso de nuestro trabajo de grado titulado “Evaluación y Análisis de Carga en la Universidad Tecnológica de Bolívar Campus Ternera” y para su publicación en el Catálogo online de su biblioteca.

Cordialmente,

DEVIER ENRIQUE ESPITIA MEJÍA
C.C # 73.009.650 de Cartagena

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., Martes 14 de Octubre de 2008

Cartagena de Indias D.T. y C., Octubre 14 de 2008

Dedicatoria de Joe Bermúdez Cano

A Dios por permitir que este proyecto fuera realidad,
a mis padres por todo el apoyo
que me han brindado y porque han dado
todo lo que les ha sido humanamente posible
por verme hoy convertido en un profesional.

Cartagena de Indias D.T. y C., Octubre 14 de 2005

Dedicatoria de Devier Enrique Espitia Mejía

A Dios por permitir que este proyecto fuera realidad,
a mis hermanas Ingrid y Mayuriz por creer en mí
a mi padres, Cesar y Lubina, por ser perseverantes
y brindarme su constante apoyo en todo el proceso de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Le damos las gracias al Técnico Electricista Miguel Gómez por su gran contribución en esta tesis, de igual forma agradecemos al Ingeniero Bienvenido Sarria López, por ser nuestro director de tesis, al Ingeniero Electricista Arturo Padrón, por colaborarnos y aportar todos los conocimientos posibles en esta investigación, a los Ingenieros Carlos Rodríguez, José Alarcón y Karol León, por brindarnos su constante apoyo, colaboración y por ayudarnos siempre en las dificultades y problemas presentados en el desarrollo de nuestra tesis.

A ellos y todas aquellas personas que no mencionamos, y que de una u otra forma nos colaboraron para que esta tesis fuera un éxito.

Muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE ANEXO	viii
RESUMEN.....	ix
I. ILUMINACIÓN	1
1.1 Luminarias y Lámparas	2
1.1.1 Lámparas incandescentes.....	2
a) Ventajas:	4
b) Desventajas:	4
1.1.2 Lámparas de incandescencia con halogenuros	4
a) Ventajas	5
b) Desventajas	5
1.1.3 Lámparas fluorescentes.....	5
a) Ventajas	6
b) Desventajas	7
1.1.4 Lámparas de vapor de mercurio.....	7
a) Ventajas	8
b) Desventajas	8
1.1.5 Lámparas de vapor de sodio a baja presión	8
1.1.6 Lámparas de vapor de sodio a alta presión	9
1.2 Lámparas Utilizadas en el Campus Ternera	10
1.2.1 Sylvania Daylight F 48 T 12/D.....	10
1.2.2 Sylvania Octron FBO32/741/6/ECO TIPO U	11
1.2.3 General Electric F40CW/U6/EX TIPO U	11
1.2.4 Ecolux F32T8/SP41/ECO.....	11
1.2.5 Ecolux F17T8/SP41/ECO.....	12

1.2.6	Dulux CF18DT/827	12
1.3	Análisis de Iluminación por Áreas	12
1.3.1	Áreas Críticas	13
a)	Edificio A1	13
b)	Edificio A2.....	19
c)	Edificio Rectoría	28
d)	Edificio Administrativo	30
e)	Biblioteca	35
1.3.2	Análisis Áreas No Críticas	39
a)	Bienestar Universitario	39
b)	Cafetería y otros Lugares.....	42
1.4	Estudio de Intensidad de Iluminación	46
1.5	Simulación con DiaLux 4.1	49
1.5.1	Ubicación de los muebles en el aula de clase	52
1.5.2	Ubicación de las luminarias.....	53
1.5.3	Diagrama de Densidad Lumínica	54
1.5.4	Grafico 3d	54
1.5.5	Planos.....	55
a)	Plano Útil - Isolíneas.....	55
b)	Plano Útil - Gamma de Grises	56
c)	Plano Útil - Gráfico De Valores	57
1.5.6	Aulas de Clase Propuesta.....	58
1.5.7	Ubicación de los Muebles en el Aula de Clase.....	58
1.5.8	Ubicación de las Luminarias.....	60
1.5.9	Diagrama de Densidad Lumínica	60
1.5.10	Grafico 3d	61
1.5.11	Planos.....	61

a)	Plano Útil - Isolíneas.....	61
b)	Plano Útil - Gamma De Grises	62
c)	Plano útil - Gráfico de valores	63
1.6	Propuesta de Renovación	66
1.6.1	Identificación de las lámparas.	68
1.6.2	Inicio de la renovación.	68
1.6.3	Análisis comparativo de consumo.....	69
II.	ANALISIS DE CARGA Y CONSUMO ENERGETICO	74
2.1	Factor de Potencia	75
2.1.1	Causas del bajo factor de potencia.....	76
2.1.2	Inconvenientes de tener un bajo factor de potencia.....	77
a)	Compensadores de reactivos.....	80
b)	Compensación con motores síncronos (Condensadores síncronos)	81
2.1.4	Tipos de Compensación	81
a)	Compensación individual	82
b)	Compensación en grupo.....	84
c)	Compensación central con banco automático.....	86
2.2	Calculo del Nivel de Compensación en Energía Reactiva.....	87
2.3	Compensación en los Bornes de un Transformador	91
2.4	Compensación de la Energía Reactiva de un Transformador	94
2.5	Carga Instalada	95
2.6	Análisis de Carga.....	97
2.7	Panorama de Aumento de Carga	125
III.	ANÁLISIS DE ARMÓNICO.....	129
3.1	Definición de Armónicos	129

3.2	Ecuaciones de Fourier para el Cálculo de Armónicos.	132
3.3	Fuentes de Armónicos	133
3.4	Efectos de los Armónicos.....	135
3.4.1	Efectos sobre los cables.....	135
3.4.2	Efectos sobre los transformadores.....	135
3.4.3	Efectos sobre los capacitores.....	136
3.4.4	Efectos sobre los motores.....	137
3.5.5	Efectos Sobre Otros Equipos.....	138
3.5	Máximos Niveles de Distorsión de Acuerdo al Estad. IEEE-519.....	138
3.5.1	Límites aplicables al usuario	139
3.5.2	Límites aplicables a la empresa suministradora	141
3.6	Soluciones para el Problema de los Armónicos	141
3.7	Índices para la Medición de Armónicos	141
3.8	Medición de Armónicos en el Campus Ternera	143
3.7.1	Transformador de 150kVA Tablero 1	143
3.7.2	Transformador de 150kV.A Tablero 2	146
3.7.3	Transformador de 75kVA Tablero 3	149
3.7.4	Transformador de 150kVA Tablero 3	151
3.5.5	Transformador de 225kVA Tablero 4	154
3.7.6	Transformador de 112kVA Tablero 4	156
IV.	CONCLUSIONES, OBSERVACIONES y RECOMENDACIONES	159
4.1	Conclusiones	159
4.2	Observaciones	161

4.3	Recomendaciones	162
	BIBLIOGRAFÍA	164
	ANEXO	165

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lámpara incandescente.....	2
Figura 2. Radiación típica de una lámpara incandescente.	3
Figura 3. Lámpara fluorescente.....	5
Figura 4. Lámparas Sylvania Daylight F48t12/D.	10
Figura 5. Lámpara Sylvania Octron Fbo32/741/6/Eco Tipo U.....	11
Figura 6. Lámpara Ecolux F32t8/Sp41/Eco.....	11
Figura 7. Lámpara Ecolux F17t8/Sp41/Eco.....	12
Figura 8. Lámpara Dulux Cf18dt/827.....	12
Figura 9. Luminarias del A1 en %.....	13
Figura 10. Consumo de potencia (W) en edificio A1.....	14
Figura 11. Consumo de potencia (%) en edificio A1.....	14
Figura 12. Medición de tensión.....	17
Figura 13. Medición de Corriente.....	18
Figura 14. Medición de Corriente segundo piso.....	19
Figura 15. Medición de tensión segundo piso.....	19
Figura 16. Cantidad y tipos de luminarias edificio A2.....	20
Figura 17. Cantidad y tipos de luminarias en % A2.....	20
Figura 18. Porcentaje de consumo de potencia A2.....	25
Figura 19. Consumo de potencia en W por pisos A2.....	25
Figura 20. Cantidad de luminarias edificio Rectoría (%).	28
Figura 21. Consumo de potencia (W) edificio rectoría.....	30
Figura 22. Consumo de potencia (W) edificio administrativo.....	31
Figura 23. Porcentaje de Consumo de potencia (W) edificio administrativo.....	32
Figura 24. Porcentaje de lámparas, edificio administrativo.....	33
Figura 25. Consumo de potencia (W). Biblioteca.....	35
Figura 26. Consumo de potencia (%). Biblioteca.....	36
Figura 27. Lámparas comunes en Biblioteca.....	36
Figura 28. Consumo de potencia (W) Bienestar universitario.....	39

Figura 29. Consumo de potencia (%) Bienestar universitario.	40
Figura 30. Cantidad de tipos de lámparas (%).	40
Figura 31. Consumo de potencia (W).	42
Figura 32. Consumo de potencia (%).	43
Figura 33. Cantidad de tipos de lámparas (%).	43
Figura 34. Cantidad y clases de lámparas UTB sede Ternera.	45
Figura 35. % cantidad y clases de lámparas UTB sede Ternera.	45
Figura 36. % de distribución lámparas Sylvania F48t12/D.	46
Figura 37. Estado actual de iluminación.	48
Figura 38. Distribución de iluminación	49
Figura 39. Plano con medidas y ubicación de los muebles.	52
Figura 40. Ubicación de las luminarias.	53
Figura 41. Diagrama de densidad lumínica.	54
Figura 42. Grafico en 3D, del aula de clase.	54
Figura 43. Plano isolineas con dos luminarias.	56
Figura 44. Plano gamma de grises con dos luminarias.	56
Figura 45. Grafico de valores con dos luminarias.	57
Figura 46. Plano con medidas y ubicación de los muebles.	59
Figura 47. Ubicación de las luminarias, distribuidas	60
Figura 48. Ubicación de las luminarias, distribuidas	60
Figura 49. Disposición 3D con cuatro luminarias.	61
Figura 50. Plano isolineas con cuatro luminarias.	62
Figura 51. Plano gamma de grises con cuatro luminarias.	62
Figura 52. Grafico de valores con cuatro luminarias.	63
Figura 53. Plano gamma de grises con dos luminarias Sylvania Daylight F48T12/D 64	64
Figura 54. Plano gamma de grises con dos luminarias Ecolux F32T8/Sp41/Eco 64	64
Figura 55. Plano gamma de grises con tres luminarias Daylight F48T12/D 65	65
Figura 56. Plano gamma de grises con tres luminarias Ecolux F32T8/Sp41/Eco 65	65
Figura 57. Comparación de consumo con 4 luminarias.	70
Figura 58. Tendencia mensual consumo - costo.	71

Figura 59. Tendencia semestral consumo - costo.	71
Figura 60. Comparación consumo teórico - real general.	72
Figura 61. Comparación consumo general T8 vs T12.	73
Figura 62. Intervalo factor de potencia	75
Figura 63. Triangulo de potencia	76
Figura 64. Elementos consumidores de energía reactiva.	77
Figura 65. Compensación De Reactivo.....	80
Figura 66. Ejemplo de condensadores fijos.	80
Figura 67. Ejemplo de condensadores con regulación automática.	81
Figura 68. Tipos de instalaciones para corregir el F.P.....	82
Figura 69. Compensación individual.	84
Figura 70. Compensación grupal.	85
Figura 71. Compensación centralizada o global	87
Figura 72. Representación gráfica de la compensación del factor de potencia.	88
Figura 73. La compensación Q permite la ampliación contemplada S2 sin tener que sustituir el transformador que puede suministrar una potencia superior a S.	92
Figura 74. Carga instalada por edificios.	95
Figura 75. Porcentaje representativo de la carga instalada	95
Figura 76. Mediciones compresor, motor ventilador.	98
Figura 77. Esquema de ubicación parte de atrás Biblioteca.....	99
Figura 78. Recibo energía sede ternera Sep. - 07.....	102
Figura 79. Recibo energía sede ternera Oct. - 07.....	103
Figura 80. Mediciones Tablero 2.	104
Figura 81. Curva tensión vs corriente tablero 2 - transformador 150kV.A	105
Figura 82. Diagrama fasorial tablero 2 - transformador 150kV.A.....	105
Figura 83. Triangulo de potencia tablero 2 (9 am - 5pm)	106
Figura 84. Factor de potencia tab2 transformador 150kV.A	107
Figura 85. Tablero 1 transformador de 150kV.A.....	108
Figura 86. Corrientes tablero 1 transformador 150kV.A	109
Figura 87. Curva tensión vs corriente tab1 transformador 150kV.A.....	110

Figura 88. Diagrama fasorial tablero 1 transformador 150kV.A	111
Figura 89. Triangulo de potencia tablero 1 (8 am - 5pm).	111
Figura 90. Factor de potencia tablero 1 transformador 150kV.A	112
Figura 91. Tablero 3.	113
Figura 92. Triangulo de potencia - Tablero 3 desde las 11:30Am hasta 4 PM.	113
Figura 93. Corriente vs tensión tablero 3 transformador 150kV.A.	114
Figura 94. Diagrama fasorial tablero 3 transformador 150kV.A	115
Figura 95. Potencia activa tablero 3 transformador 150kV.A	115
Figura 96. Corriente vs tensión tablero 3 transformador de 75kV.A.	117
Figura 97. Diagrama fasorial tablero 3 transformador de 75 kV.A	117
Figura 98. Triangulo de potencia transformador 75 kV.A (9Am - 5Pm).	118
Figura 99. Triangulo de potencia – Trafo 112kV.A desde las 10:00Am hasta 7.	119
Figura 100. Corriente vs tensión transformador 112kV.A.	119
Figura 101. Diagrama fasorial transformador 112kV.A	120
Figura 102. Triangulo de potencia transformador 225kV.A.	121
Figura 103. Corriente vs tensión transformador 225kV.A.	121
Figura 104. Diagrama de fasores transformador 225kV.A	122
Figura 105. Factor de potencia transformador de 225kV.A.	123
Figura 106. Transformadores subestación UTB Ternera.	125
Figura 107. Forma de onda sinusoidal.	130
Figura 108. Amplitud de armónicos con respecto al fundamental.	131
Figura 109. Distorsiones armónicas.	131
Figura 110. Armónicos de tensión transformador de 150kVA - Tab 1	144
Figura 111. Armónicos de corriente transformador de 150kVA-Tab 1	144
Figura 112. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada-Tab 1.	145
Figura 113. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada-Tab 1	146
Figura 114. Armónicos de tensión transformador de 150kVA-Tab2	147
Figura 115. Armónicos de corriente transformador de 150kVA-Tab 2.	147
Figura 116. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada-Tab 2.	148
Figura 117. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada-Tab 2.	148

Figura 118. Armónicos de tensión transformador 75kVA-Tab 3	149
Figura 119. Armónicos de corriente transformador 75kVA-Tab 3.....	149
Figura 120. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 75kVA-Tab 3.....	150
Figura 121. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 75kVA-Tab 3	151
Figura 122. Armónicos de tensión transformador de 150kVA-Tab 3	151
Figura 123. Armónicos de corriente transformador de 150kVA-Tab 3.....	152
Figura 124. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 150kVA-Tab 3	153
Figura 125. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 150kVA-Tab 3	153
Figura 126. Armónicos de tensión transformador de 225kVA-Tab 4	154
Figura 127. Armónicos de corriente transformador de 225kVA-Tab 4.....	154
Figura 128. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 225kVA-Tab 4	155
Figura 129. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 225kVA-Tab 4	156
Figura 130. Armónicos de tensión transformador de 112kVA-Tab4	156
Figura 131. Armónicos de corriente transformador de 112kVA-Tab4.....	157
Figura 132. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 112kVA-Tab 4	158
Figura 133. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 112kVA-Tab 4	158

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 4to piso edificio A1.....	15
Tabla 2. 3er piso edificio A1.....	15
Tabla 3. 2do piso edificio A1.....	16
Tabla 4. 1er piso edificio A1.....	16
Tabla 5. Valores de tensión, corriente y potencia medidos en el 3 piso.	17
Tabla 6. Valores de tensión, corriente y potencia medidos en el 2 piso.	18
Tabla 7. 5to piso edificio A2.....	21
Tabla 8. 4to piso edificio A2.....	21
Tabla 9. 3er piso edificio A2.....	22
Tabla 10. 2do piso edificio A2.....	22
Tabla 11. 1er piso edificio A2.....	23
Tabla 12. 1er piso edificio A2 – Investigación.	23
Tabla 13. P. B. Edificio A2.....	24
Tabla 14. Consumo de potencia según datos de placa lámparas en el 2 piso.	26
Tabla 15. Consumo de potencia según datos de placa lámparas en el 3 piso.	26
Tabla 16. Consumo de potencia real segundo y tercer piso.....	27
Tabla 17. Primer piso edificio rectoría.....	29
Tabla 18. Segundo piso edificio rectoría.....	29
Tabla 19. Edificio administrativo.....	34
Tabla 20. Biblioteca.	38
Tabla 21. Bienestar segundo piso.	41
Tabla 22. Bienestar primer piso.	41
Tabla 23. Oficinas varias.....	44
Tabla 24. Cafetería Alcatraz.	44
Tabla 25. Niveles típicos de iluminancia aceptada para diferentes áreas, tareas o actividades.....	51
Tabla 26. Designación de muebles en plano.	53
Tabla 27. Designación de muebles en plano.	59

Tabla 28. Simulaciones iluminación.....	66
Tabla 29. kVAr a instalar por kW para aumentar el factor de potencia.....	89
Tabla 30. Potencia activa en kW que puede suministrar un transformador a plena carga en función del factor de potencia.....	91
Tabla 31. Consumo de potencia reactiva para transformadores de distribución de V1 = 20 kV.....	94
Tabla 32. Carga instalada por edificios.....	96
Tabla 33. Datos unidad condensadora C1.....	100
Tabla 34. Consumo de energía reactiva junio (07) - junio (08).....	103
Tabla 35. Datos de consumo de carga de transformadores.....	128
Tabla 36. Tipos de cargas y problemas mas comunes.....	134
Tabla 37. Resumen efectos de los armónicos.....	138
Tabla 38. Limites de distorsión armónica total.....	139
Tabla 39. Limites de distorsión de corriente.....	140
Tabla 40. Valores obtenidos para el transformador de 150kVA-Tab 1.....	145
Tabla 41. Valores obtenidos para el transformador de 150kVA-Tab 2.....	147
Tabla 42. Valores obtenidos para el transformador de 75kVA-Tab 3.....	150
Tabla 43. Valores obtenidos para el transformador de 150kVA-Tab 3.....	152
Tabla 44. Valores obtenidos para el transformador de 225kVA-Tab 4.....	155
Tabla 45. Valores obtenidos para transformador de 112kVA-Tab 4.....	157

INDICE DE ANEXO

ANEXO A. Potencia medida por el lado de 13.2kV.....	166
ANEXO B. Tablero 2 - Transformador 150kV.A.....	168
ANEXO C. Tablero 1 - Transformador 150kV.A.....	175
ANEXO D. Tablero 3 - Transformador 150kV.A	180
ANEXO E. Tablero 3 - Transformador 75kV.A.....	186
ANEXO F. Bienestar - transformador 112kV.A.....	192
ANEXO G. Transformador 225kV.A.....	198
ANEXO H. Diagrama Unifilar.	204
ANEXO I. Ver CD, Cuadros de carga instalada por edificios.....	205

RESUMEN

La Universidad Tecnológica de Bolívar, presenta muchas falencias en su sistema eléctrico y su sistema de iluminación y la no existencia de archivos o documentos que ofrezcan la información necesaria para solucionar problemas, imposibilita la toma de decisiones en pro de soluciones claras y objetivas; Hasta el presente no se han realizado análisis y estudios que demuestren alguna expectativa de como es el consumo de energía, el comportamiento de la carga general y variables como tensión, corrientes, potencias, factor de potencia y armónicos, conceptos que se manejan actualmente como calidad de energía, por ejemplo, ¿Se conoce el comportamiento de los armónicos?, ¿se conoce la capacidad actual de la subestación?. En caso tal que sea necesario aumentar la carga de cualquiera de los edificios de aulas o administrativos, no tenemos el conocimiento sobre si los transformadores actuales podrán soportar un aumento en su carga o en cual de los transformadores hoy existentes es posible aumentar la carga. La universidad en el Campus Ternera, tampoco cuenta con información específica de su sistema de iluminación, no se sabe a ciencia cierta que clases y tipo de luminarias y lámparas, se están utilizando, ¿Cual es su estado actual?, también se desconoce cual es la carga instalada y el consumo total que estas le genera a la Universidad en el Campus Ternera.

Lo más conveniente es que la institución cuente con toda la información posible de sus sistemas e instalaciones eléctricas, recopilarla, evaluarla, investigarla y entregar posibles soluciones a problemas presentes o futuros y tener una perspectiva clara de cómo están las cosas.

Actualmente se están presentando dificultades las cuales están llevando al centro educativo a presentar penalizaciones, lo cual es un indicio de que existen problemas, además de otros inconvenientes que se puedan identificar en el sistema eléctrico existente.

Por todo lo anterior, analizamos y comprendemos la importante realidad de que la Universidad Tecnológica de Bolívar, tenga en sus archivos toda la información física posible sobre su sistema eléctrico y el comportamiento de sus variables, las cuales realizan una labor importante en la toma de decisiones con respecto al consumo y calidad de energía, es por ello que los objetivos de esta investigación son:

Objetivos Generales

- ✓ Analizar y evaluar las variables como tensión, corriente, potencias, factor de potencia, consumo de energía, cargas y contaminación de armónicos, basándose en la aplicación e implementación de las Normas NTC 2050, RETIE y de organismos internacionales como la IEEE, que actualmente rigen para los sistemas eléctricos, sistemas de iluminación e instalaciones eléctricas, teniendo en cuenta las condiciones actuales y futuras que se puedan tener en la Universidad bajo un contorno económico.

Objetivos Específicos

- ✓ Realizar una evaluación que determine el estado actual de las instalaciones eléctricas.
- ✓ Realizar un estudio al sistema de iluminación actual y compararlos con las diferentes normativas existentes.
- ✓ Generar propuestas de cambio al sistema de iluminación, teniendo en cuenta factores de calidad, eficiencia y economía.
- ✓ Realizar un análisis de consumo de potencia por área y carga instalada.
- ✓ Estudiar la capacidad de los subestaciones, identificando las posibilidades de un aumento de carga.
- ✓ Realizar gráficos de comportamiento de carga.
- ✓ Calcular, analizar y estudiar, el comportamiento de distorsión armónica y del factor de potencia manteniendo un contorno económico.

Metodología

Para la realización de esta investigación, inicialmente se realizó la recolección y toma de datos de cargas (datos medidos y datos de placas), la cual se basó en datos de consumo de

aire acondicionado, iluminación, ventiladores, computadores, que son básicamente las diferentes cargas que maneja la Universidad en su campus Ternera, esto nos permitió tener la información de la capacidad de carga instalada por edificios, datos con los que no cuenta la universidad. Terminada la recopilación de datos se ejecutó un estudio de iluminación con la asesoría de la empresa Liberty ARP, este estudio consistió en medir la intensidad de luxes de diferentes lugares como aulas de clase, sala de profesores, laboratorios, oficinas de mayor uso y biblioteca, en los cuales se buscaba identificar si el sistema de iluminación con que cuenta la Universidad es la mas adecuada, teniendo en cuenta el Reglamento Técnico de Iluminación y el RETIE. Partiendo de los resultados de este estudio se prosiguió a realizar una comparación del estado actual de la iluminación basándonos en el software Dialux 4.1, que es un programa de planificación del alumbrado, mediante el se puede calcular y visualizar instalaciones de alumbrado interior, exterior, vial y de emergencia. Este simulador nos permitió hacer la comparación luminotécnicas con dimensiones de aulas reales de la Universidad con las luminarias más utilizadas en el campus y las que se proponen como alternativa. Posterior a este estudio, se realizaron las mediciones de potencia a los diferentes transformadores de la Universidad en su sede de Ternera, estas mediciones fueron importantes por que nos entrego información de consumo, potencias, factor de potencia, corrientes y tensiones que maneja cada transformador conectado al sistema eléctrico. Una vez finalizada estas mediciones se continuó con las mediciones de armónicos en la subestación, punto clave del sistema en general.

Resultados

- ✓ La recopilación de la información técnica de los equipos consumidores de energía eléctrica y los transformadores del campus de ternera.
- ✓ La medición de la intensidad de iluminación, resultando que el 69% del sistema de iluminación es deficiente solamente el edificio de Rectoría y Biblioteca cumple con lo establecido por el Reglamento Técnico Colombiano para evaluación y control de iluminación y el RETIE.

- ✓ Las lámparas Sylvania Daylight F48T12/D corresponden al 72% del total de las instaladas en el campus y sus lugares de mayor utilización son los edificios A1 y A2.
- ✓ Se obtuvo mediante el software Dialux 4.1 que las luminarias Sylvania Daylight F48T12/D no cumplen con los requerimientos mínimos en dos de los tres casos planteados en el estudio.
- ✓ Se obtiene una propuesta para sustituir (gradualmente) las luminarias para mejorar la calidad de iluminación y proporcionar un ahorro del 19.72% en consumo lo que representa \$350.000 pesos mensuales, mejorando la intensidad de iluminación de 224lx (Valor medido) a 414lx (Valor medido y simulado).
- ✓ Se determinó la capacidad de carga instalada por edificios demostrando que el 65% de la carga instalada corresponde a los aires acondicionados mientras que el 35% restante corresponde a iluminación, computadores y otros equipos consumidores.
- ✓ El análisis de carga y consumo energético arrojó como resultado el comportamiento de la carga diaria por transformadores en el campus ternera.
- ✓ Se encontró que la universidad viene aumentando el consumo de reactivos causando penalización.
- ✓ Se generó un diagrama unifilar donde se indica las protecciones y las cargas instaladas por áreas.
- ✓ El estudio de armónicos entregó como resultado que el máximo total de distorsión armónica para la tensión en la universidad fue de 2.1%, manteniéndose por debajo de lo establecido por el estándar IEEE – 519.

I. ILUMINACIÓN

La iluminación representa hoy en día un factor muy importante de seguridad, siendo la clave directamente para el desarrollo de las actividades diarias, mejorando el confort visual, proporcionando un ambiente más agradable y haciendo la vida más acogedora.

Con el propósito de realizar un estudio detallado del consumo energético de las luminarias y estado actual de las mismas, se buscará plantear una propuesta de renovación buscando mejorar la calidad del sistema de iluminación, acuerdo a las necesidades básicas de la universidad.

Actualmente, en un buen diseño de iluminación se debe tener algunos aspectos que se caracterizan por ser muy esenciales, como son:

- Suministrar una cantidad de luz suficiente.
- Utilizar fuentes luminosas que aseguren una satisfactoria distribución de los colores.
- Eliminar todas las posibles causas de deslumbramiento.
- Predecir el tipo de lámparas y cantidad de luminarias, apropiadas para cada caso en particular.

Una de las primeras preguntas que surgen durante la planeación de un proyecto de este tipo, es ¿Cual es el objetivo? ¿Cual es el sistema de iluminación existente y porque se quiere reemplazar? ¿Qué espera obtener con el nuevo sistema?

Muchos centros de estudios están reemplazando sus antiguos sistemas fluorescentes, instalados en salones de clase y oficinas, por sistemas de tecnología mas avanzados. Con frecuencia, la motivación de realizar una renovación es reducir costos de operación y de energía; además de lo anterior, las escuelas también se benefician de una iluminación de mayor calidad.

1.1 Luminarias y Lámparas

El día de hoy existen muy variados tipos de fuentes de luz alimentadas por energía eléctrica, cuya clasificación suele basarse en sus distintos principios de funcionamiento; Las más utilizadas son:

- Lámparas de Incandescencia
- Lámparas de Incandescencia con halogenuros
- Lámparas fluorescentes.
- Lámparas de Vapor de mercurio
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión
- Lámparas de mercurio con halogenuros

1.1.1 Lámparas incandescentes



Figura 1. Lámpara incandescente.

Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica; desde que fueron inventadas, la tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de vida de las lámparas de este tipo.

Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

Muchos han sido los materiales utilizados para la construcción de filamentos, pero en la actualidad el material de uso exclusivo es el tungsteno o wolframio, cuya temperatura de fusión es del orden de 3.400°C . Con este tipo de filamentos se puede llegar a temperaturas normales de trabajo del orden de 2.500 a 2.900°C , lo cual permite fabricar lámparas de incandescencia de una vida relativamente grande, con rendimientos también relativamente grandes. El filamento entraría en combustión con el oxígeno del aire si no lo protegiéramos mediante una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado de un gas inerte.

La eficacia luminosa o rendimiento de una lámpara se expresa como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida y se encuentra en rangos de 10 a 15lm/w (Lumen por vatio).

No debemos confundir la eficacia de una lámpara con el rendimiento de la transformación "energía eléctrica a energía luminosa". Casi la totalidad de la energía eléctrica aplicada a las lámparas se transforma en calor, y solamente una pequeñísima parte se transforma en luz, es difícil encontrar rendimientos peores.

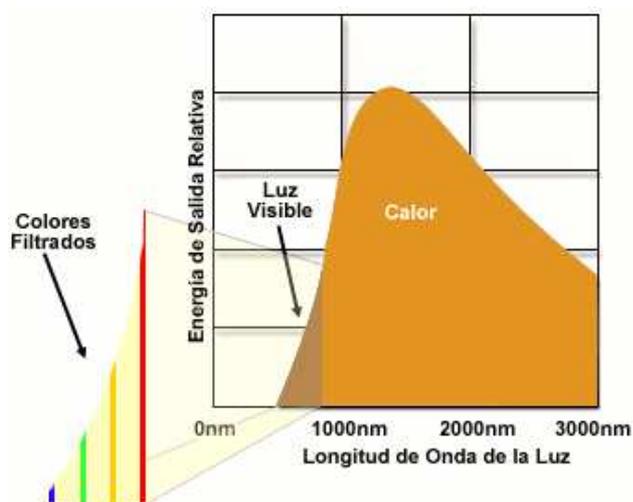


Figura 2. Radiación típica de una lámpara incandescente.

Como está ilustrado en la Figura 2, en las lámparas incandescentes, la intensidad de luz de salida filtrada depende del color. Para color azul la luz transmitida representa un 0.4%, para color verde un 1%, y para color rojo un 1.5%. El resto es energía desperdiciada en la forma de calor disipado.

a) Ventajas:

- Bajo precio.
- Sencillez de funcionamiento e instalación y ausencia de equipos auxiliares.
- Encendido y re-encendido instantáneo.
- Amplia gama de potencias y tensiones de alimentación.

b) Desventajas:

- Alto consumo eléctrico
- Poca eficiencia
- Transmite calor a las áreas

1.1.2 Lámparas de incandescencia con halógenos

Las lámparas de incandescencia con halógenos o simplemente lámparas halógenas no son más que lámparas de incandescencia perfeccionadas.

En las lámparas de incandescencia tiene lugar el ya conocido fenómeno de evaporación del filamento, que consiste en el desprendimiento de partículas de tungsteno que siguiendo las corrientes de convección del gas en el interior de la lámpara, acaban por depositarse sobre la pared interior de la ampolla, en negreciéndola.

La temperatura de color de estas lámparas resulta ser de 3.100 °C y la eficacia luminosa del orden de 22lm/w, algo mayor que la correspondiente a lámparas de incandescencia convencionales; En la actualidad se fabrican dos tipos de lámparas halógenas, las llamadas de casquillos cerámicos y las de doble envoltura.

a) Ventajas

- El flujo luminoso es mayor, debido a que el filamento puede trabajar a mayores temperaturas
- La vida media resulta mayor, 2.000 h.
- La ampolla de cuarzo apenas se ennegrece
- Control más preciso del haz luminoso

b) Desventajas

- Alto consumo eléctrico
- Transmite calor a las áreas
- Su posición de trabajo debe de ser siempre horizontal

1.1.3 Lámparas fluorescentes



Figura 3. Lámpara fluorescente.

Las lámparas fluorescentes son fuentes luminosas originadas como consecuencia de una descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, donde la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia. Este fenómeno consiste en que determinadas sustancias luminiscentes, al ser excitadas por la radiación ultravioleta del vapor de mercurio

a baja presión, transforman esta radiación invisible en otra de onda más larga y que se encuentra dentro del espectro visible.

La lámpara fluorescente normal consta de un tubo de vidrio de un cierto diámetro y longitud variable según la potencia, recubierto internamente de una capa de sustancia fluorescente. En los extremos de este tubo se encuentran los cátodos de wolframio impregnados en una pasta formada por óxidos alcalinotérreos que facilitan la emisión de electrones. El tubo está relleno de gas argón a baja presión y una pequeña cantidad de mercurio.

Cuando se enciende una lámpara fluorescente, la electricidad fluye por el tubo obteniendo en los extremos un voltaje considerable. Algunos electrones colisionarán con los átomos de mercurio gaseoso, que ganarán energía y la liberarán, en forma de fotones, los electrones así obtenidos, en su recorrido de un extremo a otro del tubo, chocan con los átomos de mercurio y la energía desprendida en el choque se transforma en radiaciones ultravioleta y por lo tanto invisibles, pero capaces de excitar la capa fluorescente que recubre el interior del tubo, con lo que se transforman en luz visible. Una parte de esta energía se pierde en forma de calor, pero el resto son fotones liberados como luz visible, generalmente blanca. El color de la luz puede cambiar dependiendo del tipo de sustancia fosforescente que se utilice en el recubrimiento interior del tubo. Las lámparas fluorescentes, como todas las de descarga, presentan una resistencia al paso de la corriente que disminuye a medida que esta se incrementa, este efecto las llevaría a la autodestrucción si no les colocáramos algún elemento que controle la intensidad que circula por ellas; este elemento es una reactancia cuyo nombre específico para este caso es "balasto".

Estas lámparas mantienen una eficacia luminosa en el rango de 60 a 95lm/w, la cual es aproximadamente seis veces mejor que las lámparas incandescentes convencionales.

Finalmente diremos que la luz de los fluorescentes es especialmente indicada en todos aquellos lugares donde se necesite una iluminación de eficacia. Así, es imprescindible en oficinas, tiendas, talleres, y salas y salones de actos.

a) Ventajas

- Su excelente adaptabilidad al alumbrado de interiores

- Elevada eficacia luminosa
- Reducida aportación calorífica
- Excelente rendimiento de color
- El encendido y re encendido rápido
- Amplia gama de lámparas y luminarias

b) Desventajas

- Su factor de potencia bajo
- Poco adaptables al alumbrado de exteriores

1.1.4 Lámparas de vapor de mercurio

El funcionamiento de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, conocidas simplemente como de vapor de mercurio, se basa en el mismo principio de las lámparas fluorescentes. Así como una lámpara fluorescente de descarga en mercurio a baja presión genera casi exclusivamente radiaciones ultravioleta; con altas presiones de vapor, el espectro cambia notablemente, emitiendo varias bandas que corresponden a las sensaciones de color violeta (405nm), azul (435nm), verde (546nm) y amarillo (570nm), emitiendo también una pequeña cantidad de radiaciones ultravioleta.

Como las cualidades cromáticas de estas radiaciones no resultan muy buenas, debido en gran parte a la ausencia de radiaciones rojas, las radiaciones ultravioleta se transforman, mediante sustancias fluorescentes, en radiaciones comprendidas dentro del espectro rojo, dando como resultado una lámpara con un mejor rendimiento cromático.

Las lámparas de vapor de mercurio están constituidas por una pequeña ampolla de cuarzo, provista de dos electrodos principales y uno o dos auxiliares, en cuyo interior se encuentra una cierta cantidad de argón y unas gotas de mercurio. Los electrodos auxiliares llevan una resistencia en serie que limita la intensidad que por ellos puede circular. Si por algún motivo se apaga la lámpara, y seguidamente queremos volver a encenderla, ello no resulta posible debido a que el vapor de mercurio no se habrá enfriado y estará con una presión elevada. La temperatura de color de estas lámparas, depende del tipo de recubrimiento

fluorescente que lleve, pero suele estar comprendida entre 3.800°K y 4.000°K, y tiene un rendimiento luminoso que oscila entre 40 y 60lm/W.

La depreciación del flujo luminoso depende naturalmente de las horas de funcionamiento de la lámpara. La depreciación suele ser del 12% a las 8.000 horas de funcionamiento y del 35% a las 15.000 horas.

a) Ventajas

- Utilizables en alumbrados públicos y en grandes almacenes.

b) Desventajas

- Bajo factor de potencia

1.1.5 Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Constructivamente las lámparas de vapor de sodio a baja presión están formadas por dos ampollas de vidrio tubulares. La ampolla interna o tubo de descarga tiene forma de U y en su interior se encuentra una pequeña cantidad de gas neón a baja presión y sodio puro en forma de gotas, cuando está frío; así mismo, en los extremos del tubo de descarga se encuentran dos electrodos de filamento de wolframio, sobre los que se ha depositado un material emisor de electrones.

La ampolla exterior envolvente, tiene como misión la protección térmica y mecánica del tubo de descarga, y entre las dos se ha hecho el vacío.

Al aplicar tensión entre los electrodos, se produce la descarga a través del gas neón, la cual determina la emisión de una luz roja característica de este gas. El calor generado por la descarga produce la vaporización progresiva del sodio y, como consecuencia, la descarga pasa a efectuarse en una atmósfera en la que la concentración de sodio es cada vez mayor, produciendo una luz cada vez más amarilla.

El proceso de encendido de una lámpara de vapor de sodio a baja presión dura unos 10 minutos y al final se obtiene una luz amarilla monocromática de una longitud de onda de 5.890mμ.

El rendimiento de estas lámparas es óptimo cuando la temperatura interna alcanza los 270°C, por lo que la pared interna del tubo exterior lleva una fina capa de óxido de indio, el cual permite el paso de las radiaciones visibles, pero detiene el 90% de las radiaciones infrarrojas, que se invierten en calentar el tubo.

Por tal motivo estas lámparas resultan adecuadas en aquellos lugares en donde la reproducción de los colores es secundaria como, por ejemplo, en vías de tránsito urbano, en donde lo principal es la percepción del movimiento; también es aplicable este tipo de luz en grandes espacios industriales de carga, descarga y estacionamiento.

La eficacia luminosa de las lámparas de vapor de sodio a baja presión es la más elevada de todas las existentes, llega a ser de 190Lm/W. La vida media resulta ser de unas 15.000 horas, con una depreciación que no llega al 20%.

1.1.6 Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las lámparas de sodio a baja presión tienen una inmejorable eficacia luminosa, pero su reproducción cromática es muy deficiente. Para mejorar este tipo de lámparas hay que hacerles una serie de modificaciones, tales como aumentar la presión del vapor de sodio, a costa de trabajar a temperaturas más elevadas, y agregar además del gas inerte, xenón, una pequeña cantidad de mercurio que ayude a mejorar el espectro.

Para que estas dos modificaciones se puedan hacer realidad hay que vencer una seria dificultad, dado que el sodio a alta presión y temperatura, ataca seriamente al vidrio y al cuarzo, materiales utilizados hasta ahora para estos cometidos.

Para cumplir este cometido se han creado tubos de descarga a base de óxido de aluminio sinterizado, capaces de soportar la acción del sodio a temperaturas superiores a los 1.000°C y al mismo tiempo transmitir el 90% de la luz visible producida por la descarga eléctrica en su interior. Este tubo está cerrado mediante tapones de corindón sintético, en los que se soportan los electrodos. El tubo de descarga se aloja en el interior de una ampolla de vidrio duro, resistente a la intemperie que le sirve de protección y aislamiento eléctrico y térmico. La despreciable cantidad de radiaciones ultravioleta que generan estas lámparas, hace innecesario el empleo de material fluorescente, por lo que esta ampolla es totalmente

transparente. Debido a la presión elevada del sodio en el tubo de descarga, para el encendido de estas lámparas es preciso aplicar tensiones de pico comprendidas entre 2.800V y 5.500V., por lo que además de la imprescindible reactancia hay que colocar arrancadores especiales capaces de generar los impulsos de encendido. El modelo de lámpara de 70W lleva incorporado dicho arrancador. Al igual que las otras lámparas de descarga, si por alguna circunstancia se desconectan, no pueden volver a encenderse hasta transcurrido el tiempo necesario para que la presión del sodio descienda a valores inferiores. Así, el tiempo de re encendido suele ser del orden de 2 a 3 minutos.

La eficacia luminosa es francamente buena, del orden de 120Lm/W. y la temperatura de color resulta ser de 2.200°K.

La mejora de la reproducción cromática conseguida con estas lámparas, las hace muy apreciadas en alumbrados públicos, y en general en todos aquellos espacios en los que se requiera una iluminación económica sin grandes exigencias cromáticas.

1.2 Lámparas Utilizadas en el Campus Ternera

A continuación se mostraran las lámparas utilizadas en la universidad Tecnológica de Bolívar en su campus ternera, de igual forma se indicara los datos de placas y consumo real, además se mostrara los lugares mas comunes donde son utilizadas hoy en día.

1.2.1 Sylvania Daylight F 48 T 12/D



Figura 4. Lámparas Sylvania Daylight F48t12/D.

Lámpara de tipo fluorescente, siendo la más utilizada y mas común en las aulas de clase, cafeterías, laboratorios, esta es una lámpara que consume una potencia de 39W, dependiendo de su utilización posee una vida útil promedio de 9000 horas y una intensidad luminosa de 2482 lúmenes.

1.2.2 Sylvania Octron FBO32/741/6/ECO TIPO U



Figura 5. Lámpara Sylvania Octron Fbo32/741/6/Eco Tipo U.

Lámpara de tipo fluorescente tipo U, se utiliza principalmente en la Biblioteca, esta es una lámpara que consume una potencia de 32W, dependiendo de su utilización, posee una vida útil promedio de 20000 horas y una intensidad luminosa de 2850, siendo esta más eficiente que la Lámpara Sylvania Daylight F48 T12/D, debido a su bajo consumo de potencia y mayor promedio de vida útil.

1.2.3 General Electric F40CW/U6/EX TIPO U

Lámpara fluorescente tipo U, la cual se utiliza principalmente en la Biblioteca, es una lámpara que consume una potencia de 40W, dependiendo de su utilización posee una vida útil promedio de 14000 horas, además de una intensidad de iluminación de 2800 lúmenes.

1.2.4 Ecolux F32T8/SP41/ECO

Lámpara tipo fluorescente, normalmente utilizada en la Biblioteca, consume una potencia de 32W, posee una vida útil promedio de 20000 horas, además de tener una intensidad de iluminación de 2850 lúmenes, es una de las lámparas con mayor eficiencia, debido a que posee poco consumo de potencia en comparación con las demás, conjuntamente posee una vida útil muy buena.



Figura 6. Lámpara Ecolux F32t8/Sp41/Eco

1.2.5 Ecolux F17T8/SP41/ECO

Lámpara tipo fluorescente, su principal aplicación, seda en la biblioteca, esta lámpara consume una potencia de 17W, posee una vida útil promedio de 20000 horas y una intensidad de iluminación de 1325 lúmenes.



Figura 7. Lámpara Ecolux F17t8/Sp41/Eco

1.2.6 Dulux CF18DT/827

Bombillo tipo fluorescente, actualmente lo encontramos en la biblioteca y en rectoría, esta es una lámpara que consume una potencia de 18W y en promedio posee una vida útil de 12000 horas y contiene una intensidad luminosa de 1200 lúmenes.

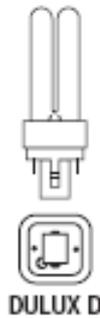


Figura 8. Lámpara Dulux Cf18dt/827

1.3 Análisis de Iluminación por Áreas

Anteriormente se mostraron la mayoría de las lámparas y luminarias que son de mayor uso en el Campus Ternera, en cada una de ellas se mostraron los aspectos más considerable que se tienen en cuenta en el momento de elegir una buena lámpara, estos aspectos hacen referencia a sus especificaciones técnicas (potencia consumida, intensidad de iluminación, vida útil, etc.).

Ahora realizaremos un análisis, en el cual se comprenda las áreas consideradas como críticas y no críticas, técnicamente especificadas como críticas debido al grado de importancia de mantener una correcta iluminación, no obstante esto no indica que las áreas consideradas no críticas, no sea necesario mantener unos estándares de una buena iluminación.

1.3.1 Áreas Críticas

Sean considerado como áreas críticas, aquellas donde se ejecutan la mayor parte del trabajo importante para la comunidad universitaria en general, esta parte del análisis la componen, los edificios A1, A2, Rectoría, Administración y Biblioteca.

a) Edificio A1

En esta parte de la Universidad, se muestra un gran porcentaje de luminarias con un elevado uso de las Lámpara Sylvania Daylight F48t12/D, tal como se puede observar en la figura 9. Las Lámpara Sylvania Daylight F48T12/D representan el 77% de las lámparas instaladas, el 22% se le acredita a las lámparas de bombillos incandescentes.

En las Figuras 10 y 11 se observa la distribución del consumo de potencia en vatios (W), y en porcentajes respectivamente.

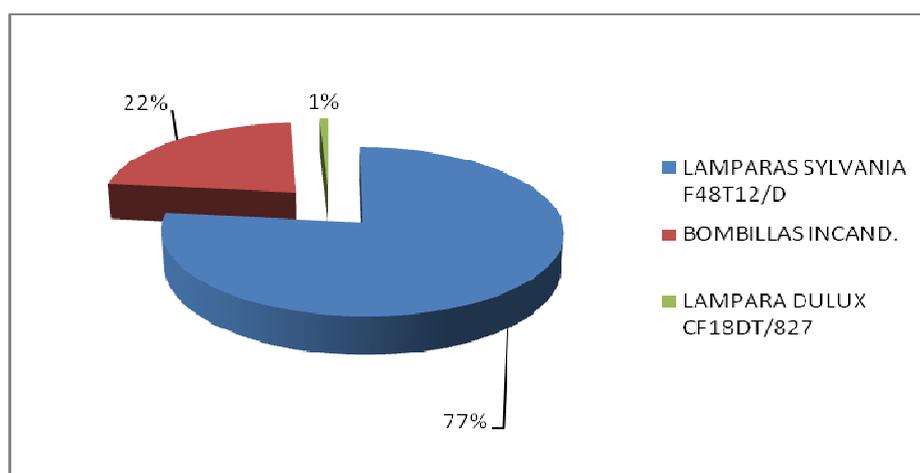


Figura 9. Luminarias del A1 en %.

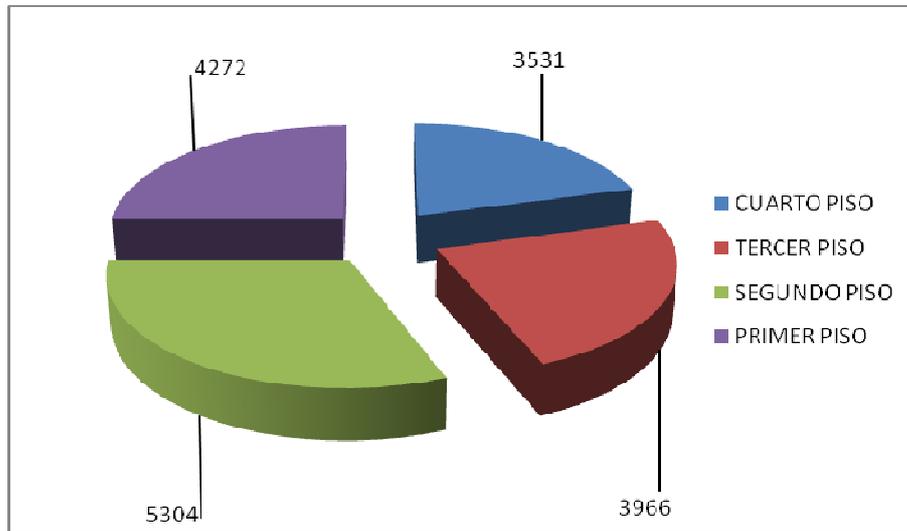


Figura 10. Consumo de potencia (W) en edificio A1.

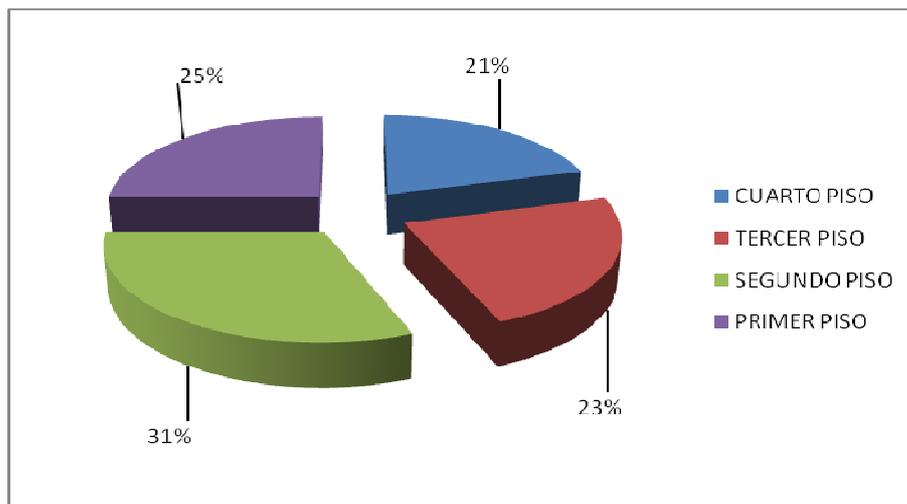


Figura 11. Consumo de potencia (%) en edificio A1.

Aparte de las figuras anteriormente mostradas, se generan las siguientes tablas, las cuales permiten apreciar con más detenimiento las clases de lámparas utilizadas y la cantidad de las mismas para los diferentes recintos que posee el edificio A1 de la Universidad Tecnológica De Bolívar Campus Ternera, en estas tablas se puede apreciar que en este edificio hay 392 lámparas aproximadamente, con un consumo de potencia de 17.073kW

AULAS	LAMPARAS
SISTEMAS	23 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
402	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
403	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
404	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
405	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
406	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
407	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
PASILLO	14 BOMBILLOS PHILLIPS

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	3531

Tabla 1. 4to piso edificio A1.

AULAS	LAMPARAS
LAB. INGLES	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
301	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
302	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
303	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
304	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
305	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
306	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
307	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
308	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
COORDINACION DE IDIOMAS	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
PASILLO	18 BOMBILLOS PHILLIP

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	3966

Tabla 2. 3er piso edificio A1.

AULAS	LAMPARAS
SALON DE PROF. (FAC. INDUSTRIAL)	40 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
FACULTAD DE PSICOLOGIA	24 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
LAB. APRENDIZAJE	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D + 3 BOMBILLOS PHILLIPS + 2 LAMPARA DULUX CF18DT/827
SENSO - PERCEPCION	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
NEUROCIENCIA	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
PSICOMETRIA	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
CAMARA DE GESSEL	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
PASILLO	12 BOMBILLOS PHILLIPS
BAÑO	10 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	5304

Tabla 3. 2do piso edificio A1.

AULAS	LAMPARAS
PROGRAMA COMUNICACIÓN SOCIAL	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
101	17 BOMBILLOS PHILLIPS
FOTOGRAFIA	4 BOMBILLOS PHILLIPS
LABORATORIO DE SONIDO	4 BOMBILLOS PHILLIPS
SALA DE REDACCION	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
SALA DE PRODUCCION	10 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D + 1 LAMPARA DULUX CF18DT/827
ESTUDIO DE GRABACION	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
BAÑO HOMBRES	10 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D
PASILLO	16 BOMBILLOS PHILLIPS

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	4272

Tabla 4. 1er piso edificio A1.

Las mediciones que se hicieron en el edificio A1, corresponden básicamente a una toma aleatoria, con el fin de hacer una comparación de las potencia de consumo ideal de las luminarias y su real consumo de potencia, los escenarios en los cuales se tomaron las muestras fueron como primera medida las aulas 304, 305, 306, 307 ,308 del edificio A1, hay que mencionar que estas mediciones no se pudieron hacer de la misma manera que se hicieron en el A2, ya que el interruptor (Dispositivo de protección) del circuito de iluminación de este piso (Piso 3) abre y cierra, la conexión eléctrica de toda la iluminación de todos los salones, es decir este mismo interruptor, acciona toda la iluminación de todo el piso, por lo cual se tomo la medida de corriente y tensión global de los salones en mención, los datos que se obtuvieron son mostrados a continuación en la tabla 5.

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
116	10.61	1230.76

Tabla 5. Valores de tensión, corriente y potencia medidos en el 3 piso.

En el momento de la toma de datos se encontró que en las aulas 305 y 304, contenían 8 lámparas instaladas de las cuales 4 estaban fuera de servicio, por lo que al hacer el calculo de la potencia ideal nos da un consumo de 1248W, ya que en total en estos salones estaban en funcionamiento 32 de las 40 Lámparas Sylvania Daylight F48t12/D instaladas, por lo tanto se puede ver que el consumo real es muy parecido al consumo ideal (valores de placa). En la figura 12 y 13, se puede apreciar el momento de la toma de datos.

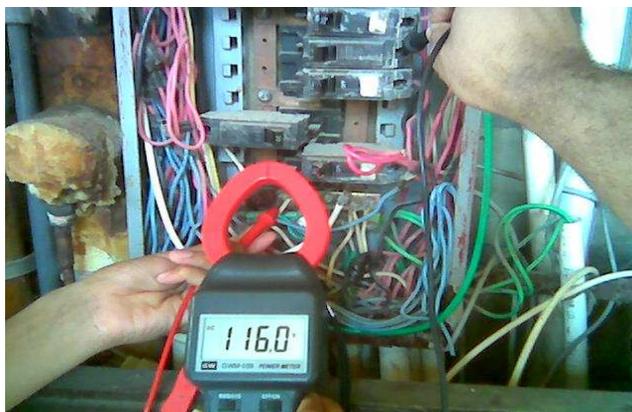


Figura 12. Medición de tensión.



Figura 13. Medición de Corriente.

En estas figuras, se puede observar con más cuidado el método utilizado en las diferentes mediciones, donde se lograba identificar cuales eran los interruptores correspondientes a cada aula (a la entrada de los tableros de protección esta la información requerida).

El método utilizado fue inicialmente identificación del interruptor, posteriormente se tomaba la medida con una punta del vatímetro a la entrada del interruptor, donde se encontraba conectada la línea y la otra a una referencia a neutro, esto para la medición de tensión, para la medición de corriente se procedía como se observa en la figura 13, colocar la pinza alrededor del conductor referido al destino o lugar requerido.

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
120.7	9.54	1151.5

Tabla 6. Valores de tensión, corriente y potencia medidos en el 2 piso.

A continuación se muestran las figuras 14 y 15, las cuales hacen regencia al segundo piso, con el mismo procedimiento que el tercer piso.



Figura 14. Medición de Corriente segundo piso.



Figura 15. Medición de tensión segundo piso.

En total tenemos un consumo en potencia activa en lámparas para el edificio A1 de:

POTENCIA TOTAL A1 (kW)

17.073

b) Edificio A2

Al realizar un recorrido y obtener la toma de datos para el edificio A2, se logró descubrir que la utilización de la Lámpara Sylvania Daylight F48T12/D es muy grande en

el edificio. Como se manifestó anteriormente, hay una amplia utilización de las Lámpara Sylvania Daylight F48T12/D, solamente en el edificio A2 (sin incluir auditorio) esto representa el 91% de las luminarias instaladas, el 8% se le atribuye a las lámparas incandescentes convencionales y el resto a otras, en total en lo que respecta al edificio A2 existen 634 luminarias, como se observa en las figuras 16 y 17.

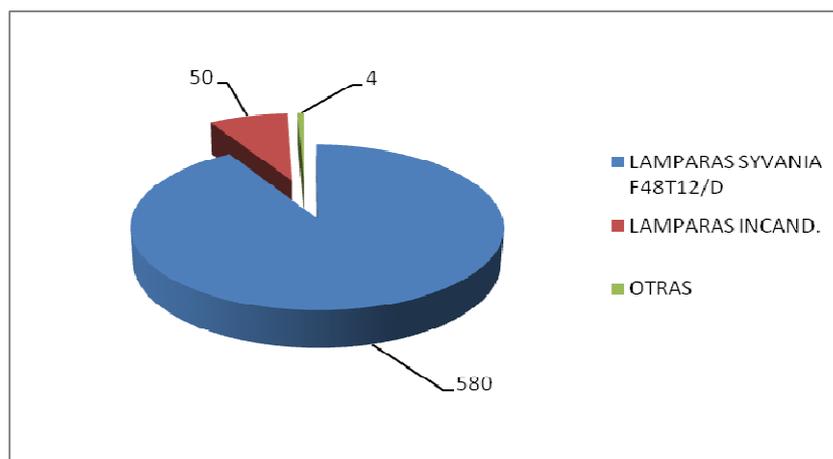


Figura 16. Cantidad y tipos de luminarias edificio A2.

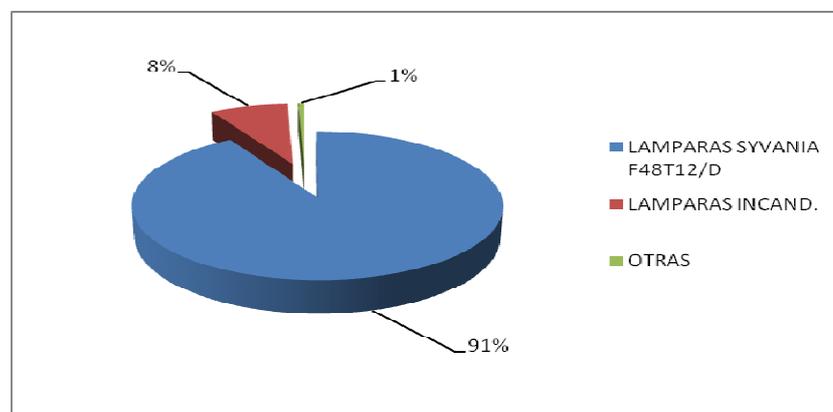


Figura 17. Cantidad y tipos de luminarias en % A2.

En las tablas 7 a la 13, se encuentran las diferentes luminarias y su respectiva cantidad en las diferentes aulas u oficinas en el edificio A2, además del consumo de potencia que estas representarían como cargas.

AULAS	LAMPARAS
PASILLO	6 BOMBILLO PHILLIP
OFICINA SERV. AUDIOVISUALES	2 LAMPARA DULUX CF18DT/827 + 4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
501	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
502	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
503	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
504	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
505	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
506	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
507	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	2736

Tabla 7. 5to piso edificio A2.

AULAS	LAMPARAS
401	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
402	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
403	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
404	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
405	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
406	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
407	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
408	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
409	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
410	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
CENTRO OSI	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
OFICINA 2-OSI	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	2808

Tabla 8. 4to piso edificio A2.

AULAS	LAMPARAS
301	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
302	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
303	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
304	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
305	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
306	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
307	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
308	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
BAÑO MUJERES	3 BOMBILLO PHILLIP
BAÑO HOMBRES	3 BOMBILLO PHILLIP
PASILLO	3 BOMBILLO PHILLIP

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	2880

Tabla 9. 3er piso edificio A2.

AULAS	LAMPARAS
201	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
202	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
203	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
204	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
205	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
206	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
207	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
208	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO	1 BOMBILLO PHILLIP
DIR. PROGRAMA ELECTRICA-ELECTRONICA	16 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	3024

Tabla 10. 2do piso edificio A2.

AULAS	LAMPARAS
LAB. MECANICA	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. ELECTRICA	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. CIRCUITOS DIGITALES	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
OFICINA 1	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. ELECTRONICA (105)	14 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. ELECTRONICA (106)	20 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. CONTROL AUTOMATICO	20 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
BAÑO HOMBRES	4 BOMBILLO PHILLIP
BAÑO MUJERES	4 BOMBILLO PHILLIP
PASILLO	19 BOMBILLO PHILLIP

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	5208

Tabla 11. 1er piso edificio A2.

AULAS	LAMPARAS
LAB. MICROPROCESADORES	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
OFICINAS INVESTIGACION	16 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO	3 BOMBILLO PHILLIP
LOCAL DE LLAMADAS	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH 96WATT
OFICINA 2	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COMPUTADORES PARA EDUCAR	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	1698

Tabla 12. 1er piso edificio A2 – Investigación.

AULAS	LAMPARAS
TALLER RESISTENCIA DE MATERIALES	16 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PROGRAMA MECANICA-MECATRONICA	28 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. FLUIDOS (ET-104)	24 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SALON DE DIBUJO	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. MAQUINAS ELECTRICAS	24 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SALA DE SIMULACION	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. PRODUCTIVIDAD	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. SEGURIDAD INDUSTRIAL	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. INTEGRADO DE INGENIERIAS	30 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
LAB. METALOGRAFIA	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO (LABS-PROGRAMA MEC)	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 4 BOMBILLOS PHILLIP
TOTAL POTENCIA PLANTA BAJA (W)	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
25861	7494

Tabla 13. P. B. Edificio A2.

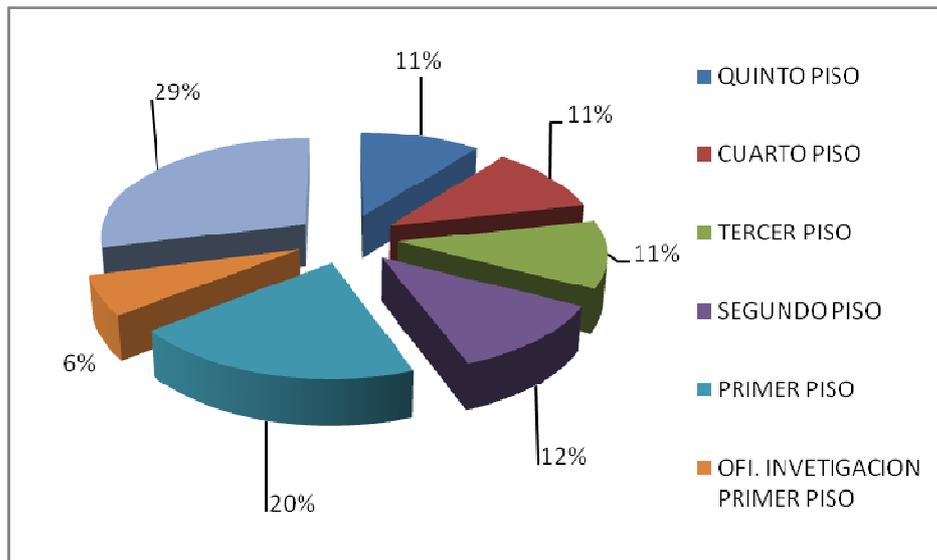


Figura 18. Porcentaje de consumo de potencia A2.

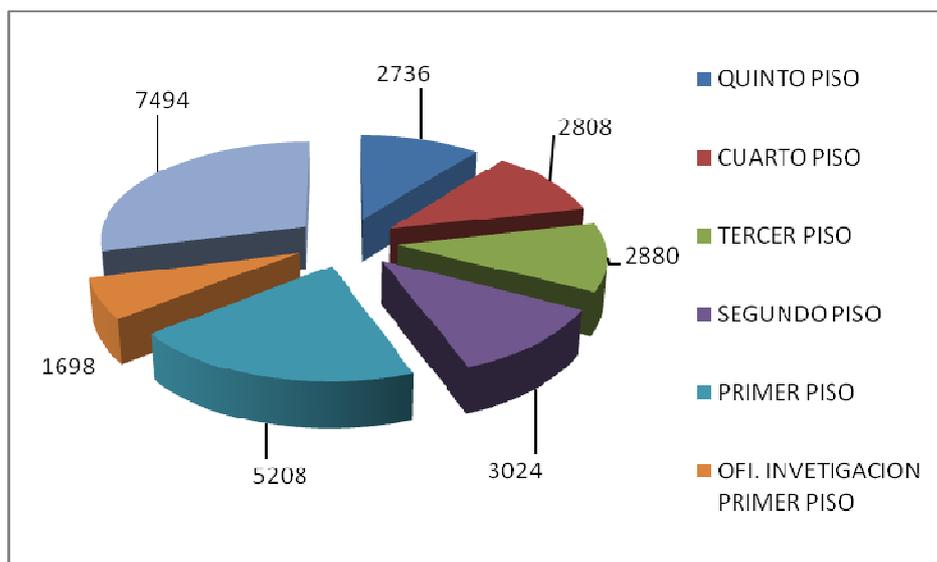


Figura 19. Consumo de potencia en W por pisos A2.

En las figuras no solo se incluyen en cada piso las aulas sino también las oficinas y las luminarias de los pasillos.

En la tabla 14, 15 se representa el consumo de potencia de las luminarias en las diferentes aulas teniendo en cuenta sus valores de placa, esto nos quiere decir que tanto para el

segundo piso como para el tercer piso el consumo sería de 2.34kW de potencia consumida (solo en salones).

AULAS	Núm. de Lámparas	POTENCIA (W)
201	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
202	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
203	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
204	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	234
205	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	234
206	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
207	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
208	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312

Tabla 14. Consumo de potencia según datos de placa lámparas en el 2 piso.

AULAS	Núm. de Lámparas	POTENCIA (W)
301	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
302	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
303	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
304	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	234
305	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	234
306	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
307	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312
308	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGHT F48T12/D	312

Tabla 15. Consumo de potencia según datos de placa lámparas en el 3 piso.

En la tabla 16, se puede apreciar una muestra del consumo real de potencia que es consumida por las luminarias, básicamente en los pisos 2 y 3 del edificio A2.

Esta muestra se tomaron, realizando las mediciones en los tableros de protección de cada piso, lo que objetivamente se hizo fue, interrumpir la corriente en los circuitos correspondiente a cada aula, a excepción donde se realizaban las medidas, por lo que se procedió a la medición de la tensión y de la corriente en los respectivos interruptores, una vez obtenido los valores de tensión y corriente de cada aula, se procedía con la relación

tensión – corriente, para poder determinar la potencia activa consumida por las luminarias en las respectivas aulas de clase.

AULAS	VOLTAJE (V)	CORRIENTE(A)	POTENCIA (W)
201	122.5	2.5	306.25
202	119	2.5	297.5
203	124	2.5	310
204	125.6	1.3	163.28
205	120.8	1.8	217.44
206	125.2	2.5	313
207	125.3	2.4	300.72
208	121	2.3	278.3
301	119.8	2.4	287.52
302	120.1	2.3	276.23
303	122.1	1.8	219.78
304	122.2	1.8	219.96
305	122.5	1.1	134.47
306	122.9	2.5	307.25
307	122.9	2.5	307.25
308	122.4	2.4	293.76

Tabla 16. Consumo de potencia real segundo y tercer piso.

Hay que mostrar que la mayoría de las aulas dispuestas en la anterior tabla poseen en su interior una cantidad de 8 lámparas tipo Sylvania Daylight F48T12/D de 39W de consumo, con excepción del A2-205, A2-304 que poseen 6.

De la tabla 16, se puede determinar que la carga instalada representada en luminarias es de 2186.49W para el segundo piso y de 2046.22W para el tercer piso sin incluir ni oficinas ni pasillos, por lo tanto esto representaría el consumo real de estos pisos en lo que a luminarias se refiere, estos valores no difieren mucho con los valores de placa eso a demás de tener en cuenta que algunos salones presentaban lámparas dañadas durante las mediciones hechas.

Por consiguiente la estimación del consumo energético en lo que se refiere a lámparas en el edificio A2 (sin incluir auditorio) equivale a un valor de:

POTENCIA TOTAL A2 (kW)

25.848

c) Edificio Rectoría

Debido al tipo de oficinas y el tipo de oficio que estas generan, se la ha considerado como área crítica; este edificio, posee el menor número de luminarias (133 en total), tal y como se puede constatar en las siguientes tablas en donde se puede apreciar para cada oficina el número de luminarias, la cantidad de las mismas y las clases de lámparas utilizadas

En las tablas 17 y 18, podemos afirmar que las lámparas más usadas son las Lámpara Sylvania Daylight F48T12/D, pero sin lugar a dudas también se vienen utilizando otras lámparas como son las DULUX, las cuales se encuentran inicialmente en las principales oficinas, en la figura 20, observamos en porcentajes las lámparas más utilizadas en el edificio.

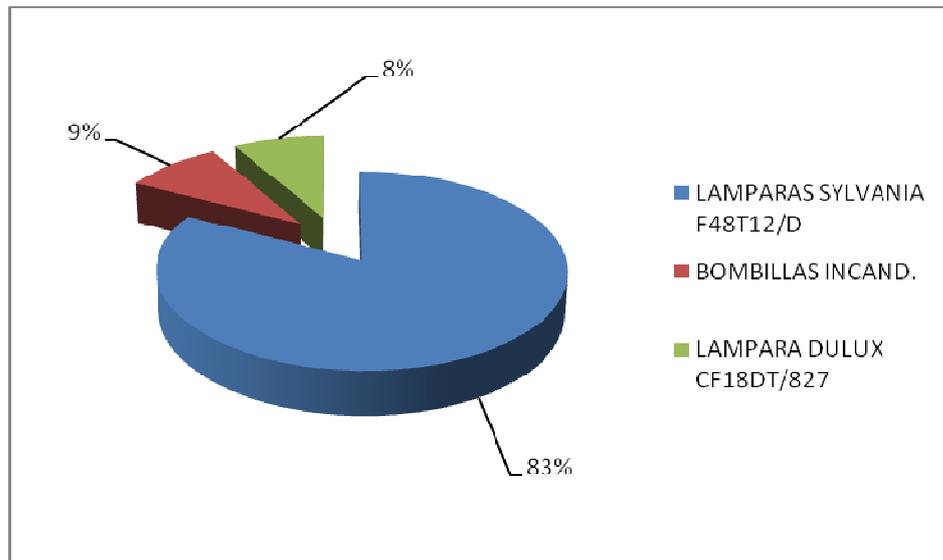


Figura 20. Cantidad de luminarias edificio Rectoría (%).

OFICINAS	LAMPARAS
SECRETARIA	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SECRETARIA GENERAL	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DECANATURA CIENCIAS BASICAS	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DECANATURA DE INGENIERIAS	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COORDINACION DE PRIMER AÑO	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SALON DE JUNTAS	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COCINA Y BAÑOS	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COORDINACION DE HUMANIDAD	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COORD. DE CIENCIAS POLITICAS	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COORDINACION DE PRACTICAS PROF.	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO INTERNO	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D

	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	2340

Tabla 17. Primer piso edificio rectoría.

OFICINAS	LAMPARAS
SECRETARIA	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SALON DE JUNTAS	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 8 LAMPARA DULUX CF18DT/827
RECTORIA	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 2 LAMPARA DULUX CF18DT/827
VICERRECTORIA	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DEPARTAMENTO DE PLANEACION	18 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO INTERNO SEGUNDO PISO	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO EXTERNO RECTORIA	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 12 BOMBILLOS PHILLIPS + 1 LAMPARA DULUX CF18DT/827
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	2946

Tabla 18. Segundo piso edificio rectoría.

Tal y como se puede apreciar en la figura 20 las lámparas más utilizadas siguen siendo las Lámpara Sylvania Daylight F48T12/D con un (83%), a demás es importante mencionar la utilización de las Lámparas Dulux como alternativa.

En la figura 21, se puede apreciar como es el consumo de potencia por piso.

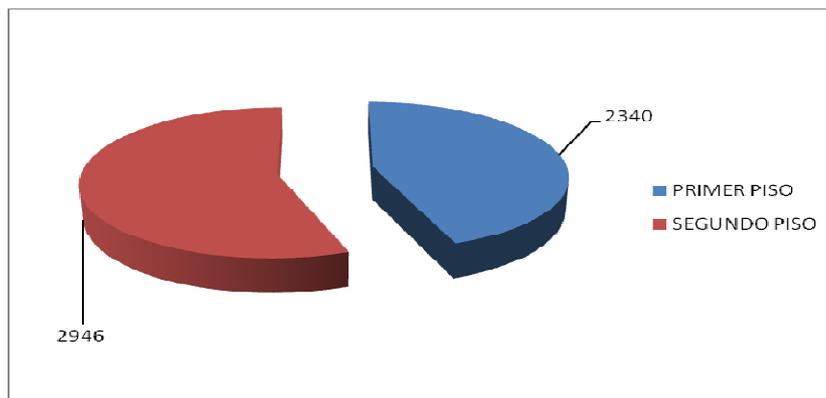


Figura 21. Consumo de potencia (W) edificio rectoría.

Concluyendo así que el mayor consumo de potencia de luminarias de este edificio, se obtiene en el segundo piso y obteniendo una potencia total consumida en el edificio por las luminarias de:

POTENCIA TOTAL RECTORIA (kW)
5.286

d) Edificio Administrativo

Actualmente este edificio, como su nombre lo indica, se establece todo el contorno económico y administrativo de la universidad, de allí que este, recobre de gran importancia para el estudio de iluminación; las oficinas que conforma esta parte de la Universidad Tecnológica de Bolívar, son: Departamento de mercadeo, Admisiones y Registro académico, Cooperativa estudiantil, TIC, Tesorería, Vicerrectora Administrativa, Vicerrectora Académica, Dirección de ser. Administrativos, Servicios informáticos, Departamento de presupuesto y control financiero, Contabilidad, Admisiones, entre otras.

Todas las anteriormente mencionadas contienen labores muy exigentes y que de una u otra forma afectan la salud visual de las personas (salud ocupacional).

La figura 22 muestra el consumo de potencia activa en iluminación, que se tiene actualmente en el edificio, en esta grafica podemos apreciar que los lugares que mas consumen energía en iluminación, esta dado por servicios informático (468W), departamento de mercadeo (390W), Archivos y gestión humana (546W), cooperativa estudiantil y servicio financiero (390W) y Pasillo de entrada (612W).

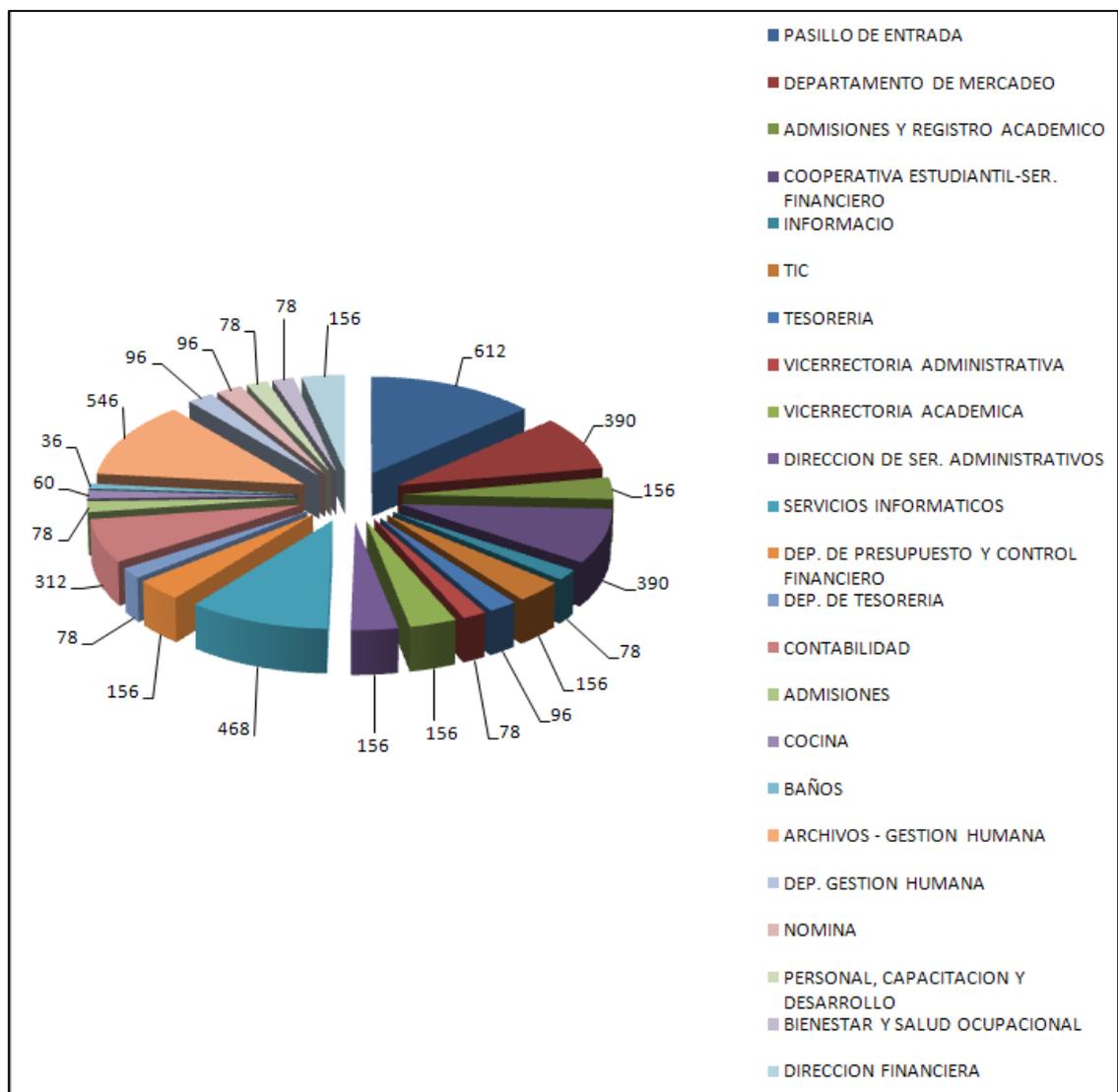


Figura 22. Consumo de potencia (W) edificio administrativo.

Sin lugar a duda como se muestra en la figura 23 los porcentajes en consumo correspondiente a cada área; sorprendentemente, la zona que mas consume energía en iluminación, corresponde a los pasillos de entrada (14%), seguida por archivos y gestión humana (12%), servicios informáticos (10%), siendo estos tres lo de mayor consumo en este edificio.

El elevado consumo en los pasillos, se debe a elevados números de bombillos que se tiene en esta zona y su continua utilización, estamos hablando de prácticamente 10 horas aproximadas de trabajo que se tienen en uso esta luminarias con este tipo de lámparas, esta información la podemos constatar en la tabla 19, donde se muestra el numero de lámparas y bombillos que contiene en este edificio por zona de trabajo.

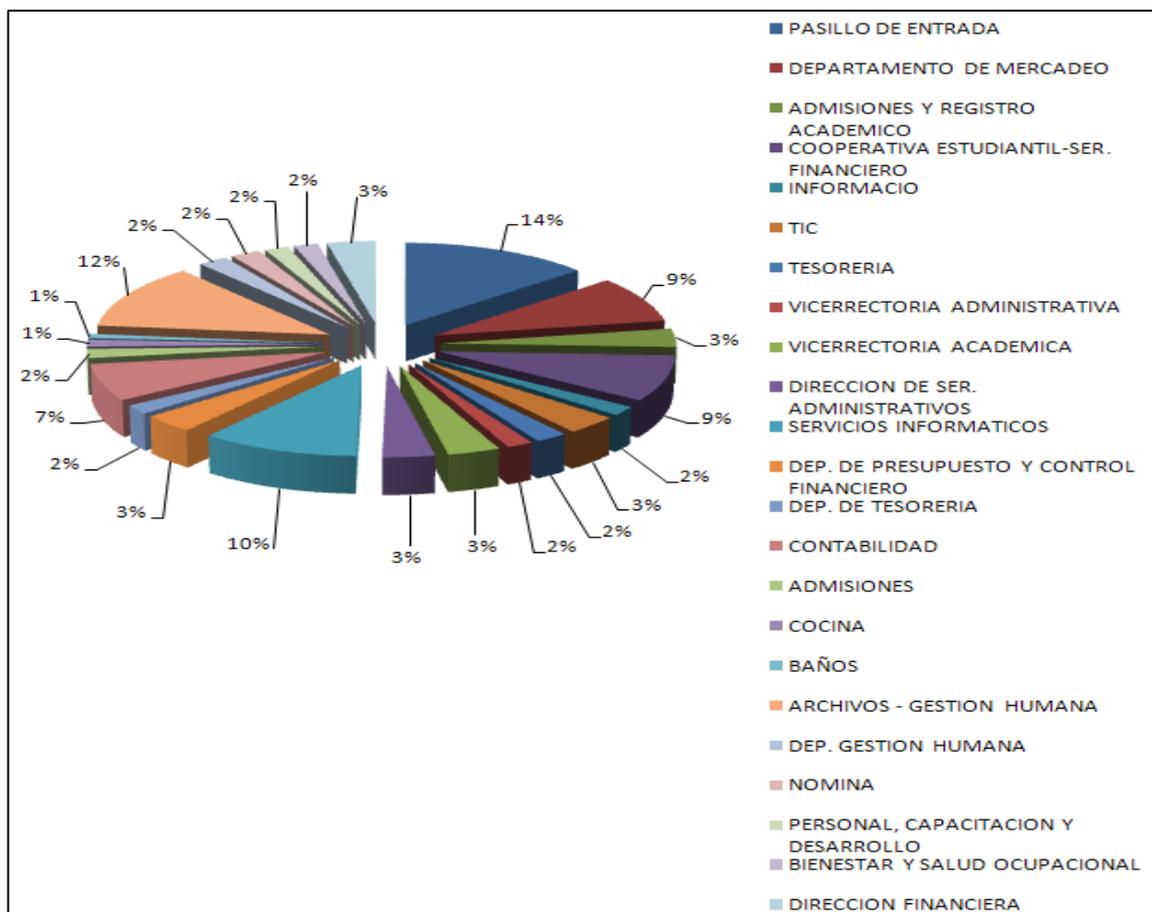


Figura 23. Porcentaje de Consumo de potencia (W) edificio administrativo.

En la figura 24 podemos observar, el porcentaje que tienen las lámparas Sylvania Daylight-T12, que tienen contra los bombillos y las lámpara Dulux, esa mayoría de lámparas, de este tipos Sylvania Daylight F48t12/D son las que predominan, no solamente en este edificio, sino como se pudo ver anteriormente, en la mayor parte de la universidad.

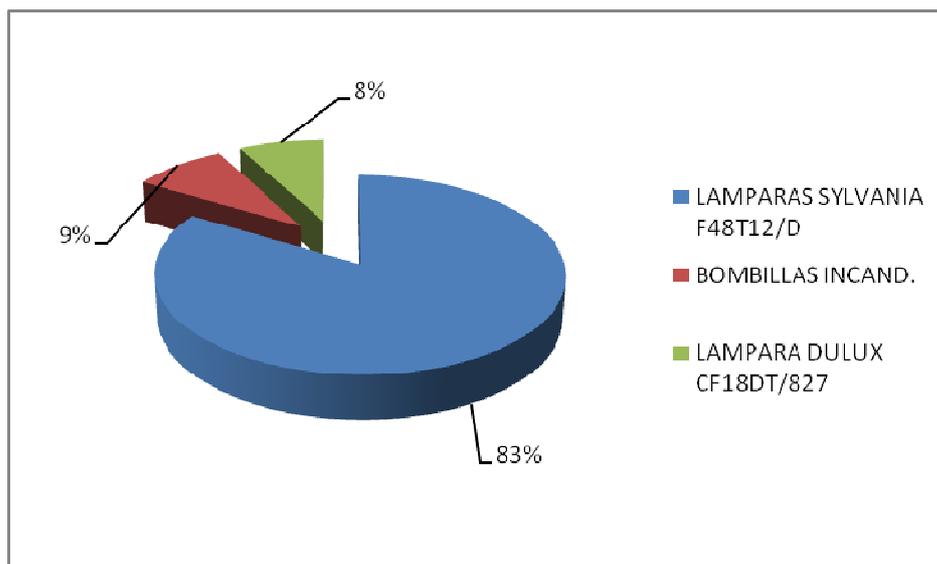


Figura 24. Porcentaje de lámparas, edificio administrativo.

El consumo de potencia activa por parte de la iluminación para este edificio, en comparación con los edificios anteriormente estudiados, este contiene un porcentaje bajo, lo que indica que el número de luminarias instaladas aquí es inferior a los utilizados en los demás edificio analizados. De tal forma que la potencia consumida en las luminarias en el edificio es de:

TOTAL POTENCIA (kW)
4.506

OFICINAS - CIRCULACION	LAMPARAS
PASILLO DE ENTRADA	9 BOMBILLO PHILLIP + 4 LAMPARA DULUX CF18DT/827
DEPARTAMENTO DE MERCADEO	10 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
ADMISIONES Y REGISTRO ACADEMICO	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COOPERATIVA ESTUDIA°NTIL-SER. FINANCIERO	10 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
INFORMACIO	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
TIC	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
TESORERIA	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 LAMPARA DULUX CF18DT/827
VICERRECTORIA ADMINISTRATIVA	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
VICERRECTORIA ACADEMICA	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DIRECCION DE SER. ADMINISTRATIVOS	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SERVICIOS INFORMATICOS	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DEP. DE PRESUPUESTO Y CONTROL FINANCIERO	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DEP. DE TESORERIA	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
CONTABILIDAD	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
ADMISIONES	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
COCINA	1 BOMBILLO PHILLIP
BAÑOS	2 LAMPARA DULUX CF18DT/827
ARCHIVOS - GESTION HUMANA	14 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DEP. GESTION HUMANA	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 LAMPARA DULUX CF18DT/827
NOMINA	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 LAMPARA DULUX CF18DT/827
PERSONAL, CAPACITACION Y DESARROLLO	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
BIENESTAR Y SALUD OCUPACIONAL	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DIRECCION FINANCIERA	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	4506

Tabla 19. Edificio administrativo.

e) Biblioteca

Se considera la biblioteca un área crítica, por la continuidad con que esta es frecuentada y por ser un área de trabajo grupal, sala de estudio, lecturas y actividades que son de gran importancia para los estudiantes, profesores y personas, que utilizan este lugar para realizar cualquier tipo de lectura o investigación. Como su mayor actividad es la lectura, la biblioteca del campus ternera, es el único recinto en la Universidad Tecnológica de Bolívar que se encuentra actualmente con un óptimo sistema de iluminación.

Este sistema de iluminación, es el mas reciente instalado por la Universidad Tecnológica de Bolívar, en una de sus instalaciones, dado a eso, encontramos una amplia gamma de luminarias utilizando el tubo T8, lámparas mas ahorradoras de energía, mas eficaces y mas horas de vida útil; de tal forma que este sistema aplicado nos puede servir como referencia en un posible proceso de cambio de renovación del sistema de iluminación de toda la universidad. La figura 25 muestra claramente como es el consumo de potencia en los diferentes pisos que conforman la biblioteca, el consumo en el primer piso es muy similar al del segundo, esto es debido a que, en estos dos pisos la actividad mas frecuentada es la lectura, por ende se debe tener un lugar con muy buena iluminación causando una sensación visual agradable y sin esforzar la visión, de esta forma se busca mantener la salud visual de las personas en optimas condiciones.

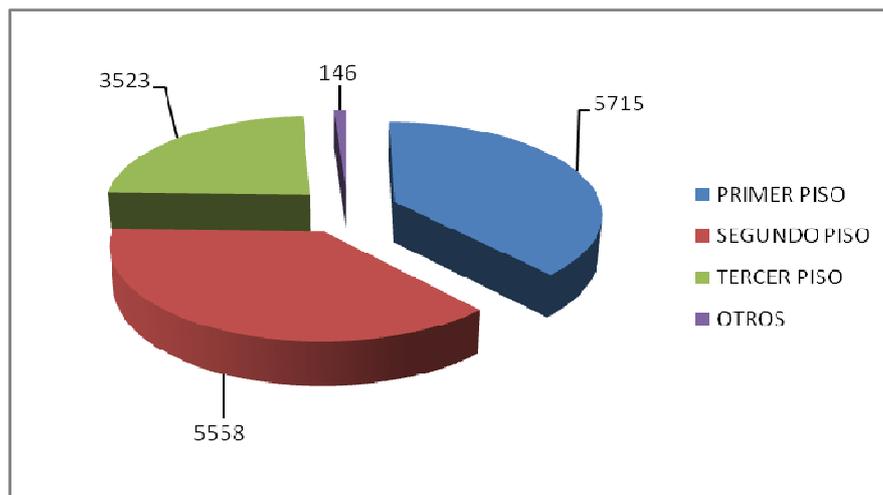


Figura 25. Consumo de potencia (W). Biblioteca.

En la figura 27 se aprecia el gran porcentaje de utilización de lámparas ahorradoras de energía, como son los tubos T8, los cuales son actualmente los que menos consumo energético.

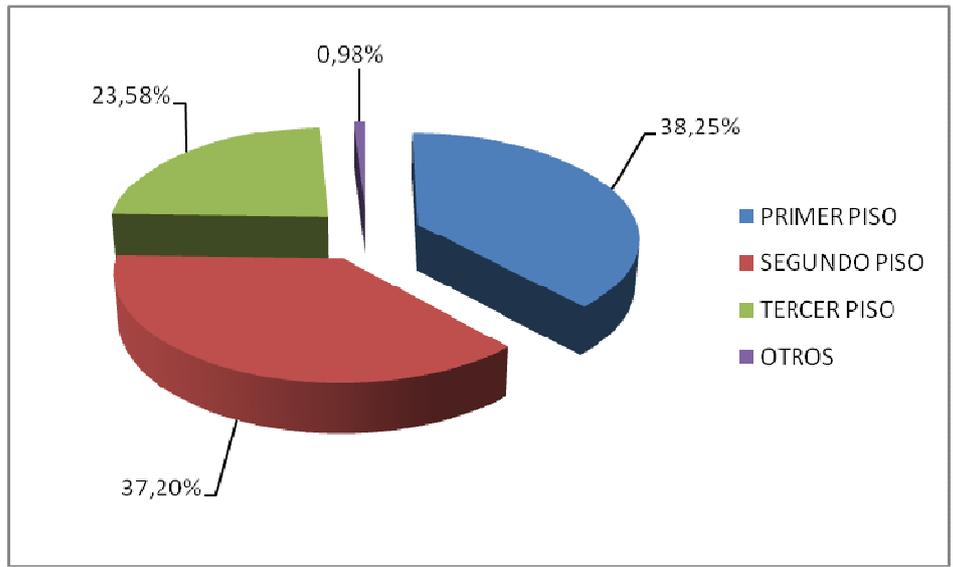


Figura 26. Consumo de potencia (%). Biblioteca.

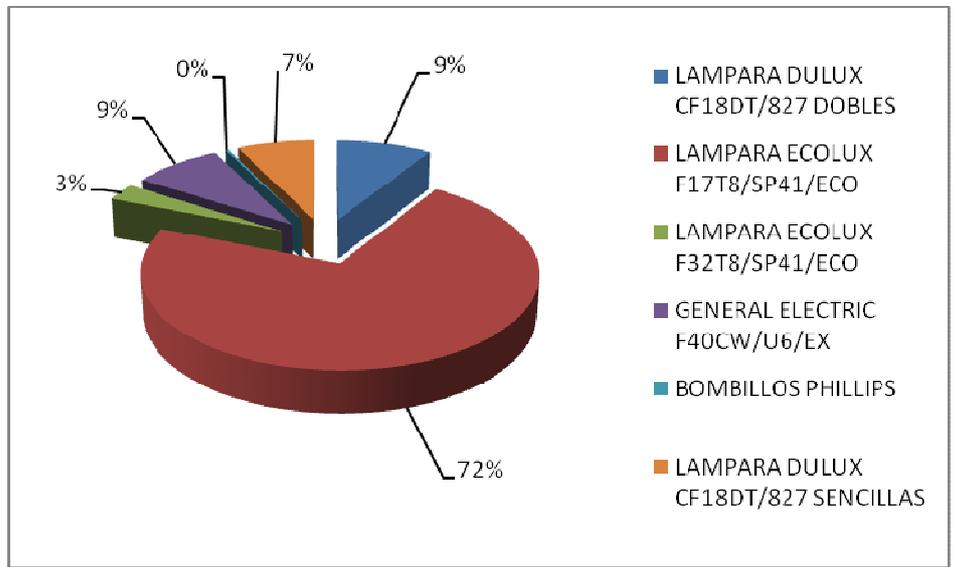


Figura 27. Lámparas comunes en Biblioteca.

En tabla 20, se puede apreciar que en esta biblioteca hay un consumo moderado de potencia, esto es causado por la gran cantidad de lámparas ahorradoras de energía instaladas, como ya se había mencionado anteriormente las conformadas por el grupo T8. Concluyendo así que el consumo de potencia de luminarias de este edificio es mucho más inferior al obtenido en los edificios A1 y A2, este valor corresponde a:

TOTAL POTENCIA (kW)
14.942

INSTALACIONES	LAMPARAS
PRIMER PISO	196 LAMPARA ECOLUX F17T8/SP41/ECO+ 20 LAMPARA ECOLUX F32T8/SP41/ECO+ 32 GENERAL ELECTRIC F40CW/U6/EX TIPO U+ 33 LAMPARA DULUX CF18DT/827 DOBLES+ 20 LAMPARA DULUX CF18DT/827 SENCILLAS
BAÑOS	9 LAMPARA DULUX CF18DT/827 SENCILLAS
SEGUNDO PISO	144 LAMPARA ECOLUX F17T8/SP41/ECO + 26 GENERAL ELECTRIC F40CW/U6/EX TIPO U+ 23 LAMPARA DULUX CF18DT/827 DOBLES
TERCER PISO (SALA DE REUNIONES)	72 LAMPARA ECOLUX F17T8/SP41/ECO
TERCER PISO (INVESTIGADORES)	60 LAMPARA ECOLUX F17T8/SP41/ECO
TERCER PISO (PASILLO)	2 LAMPARA DULUX CF18DT/827 DOBLES+ 18 LAMPARA DULUX CF18DT/827 SENCILLAS
TERCER PISO (DIRECCION)	4 LAMPARA DULUX CF18DT/827 DOBLES
TERCER PISO (JEFE TECNICO)	24 SYLVANIA OCTRON FBO32/741/6/ECO TIPO U+ 1 LAMPARA DULUX CF18DT/827 SENCILLAS
PASILLO 1 Y 2 - 2 Y 3	2 LAMPARA DULUX CF18DT/827 SENCILLAS
PASILLO EXTERIO BIBLIOTECA	2 BOMBILLOS PHILLIPS
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	14942

Tabla 20. Biblioteca.

1.3.2 Análisis Áreas No Críticas

Se consideran áreas no críticas a los lugares donde el trabajo visual no es muy elevado, no obstante también se debe tener en cuenta que existen oficinas de trabajo y que es de suma importancia tener una óptima iluminación para el tipo de actividad que hay se realiza, ya sea estar sentado de frente a un computador o simplemente realizar una lectura de cualquier tipo de documentos. Las consideradas áreas no críticas, hacen referencia a: Bienestar universitario, cafetería y otros lugares a los cuales se le hará referencia en su debido momento.

a) Bienestar Universitario

Este edificio, comúnmente utilizado por los estudiantes para la formación de grupos de estudios, practica de algún deporte y la mayoría de las actividades socio-culturales, esta ubicado dentro de un contorno ambiental, la mayoría de la iluminación que hay se utiliza es la brindada por la luz solar, de tal forma que solamente en el gimnasio, las oficinas (ubicadas la mayor parte en el segundo piso) y los baños, requieren de un óptimo sistema de iluminación. El consumo de potencia es el mas moderado encontrado en toda la universidad, como se muestra en la figura 28, el consumo de energía es mayor, en el primer piso. Esto lo podemos observar en la figura 29, donde se indica de forma porcentual como es la variación del consumo en cada uno de los pisos del edificio bienestar universitario.

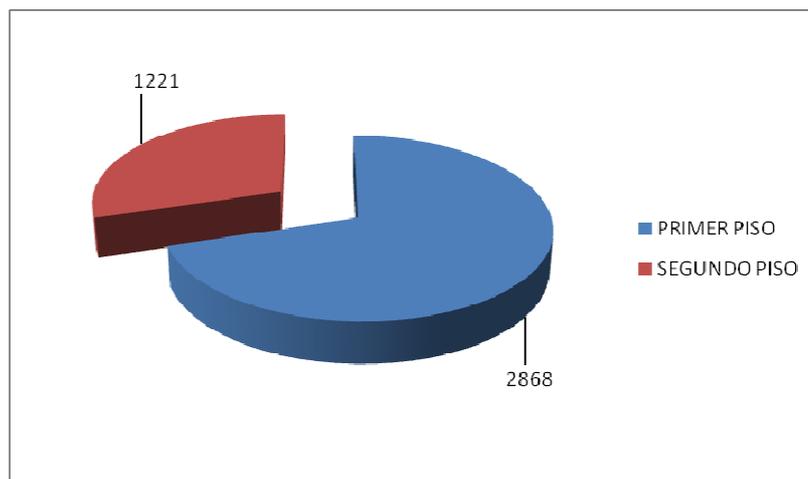


Figura 28. Consumo de potencia (W) Bienestar universitario.

Si queremos observar por que se da una diferencia del 40% entre un piso y otro podemos estudiar las tablas 21 y 22, donde se muestra el tipo de lámparas que en este edificio se utilizan, y si observamos la figura 30, podemos ver que la mayoría de las lámparas que se utilizan son T12.

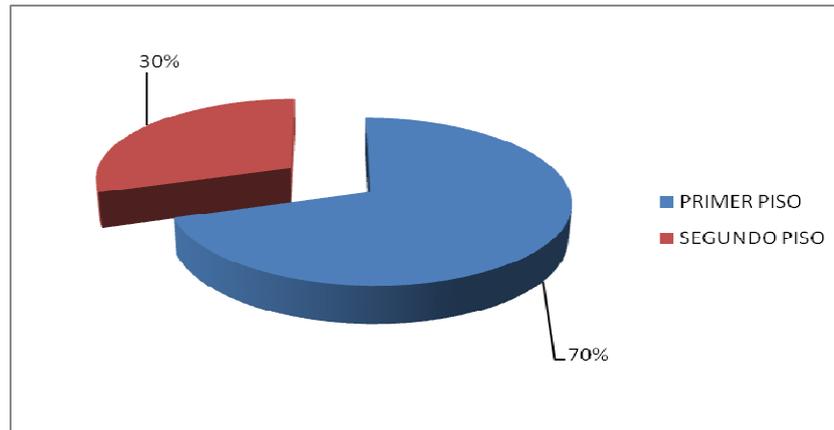


Figura 29. Consumo de potencia (%) Bienestar universitario.

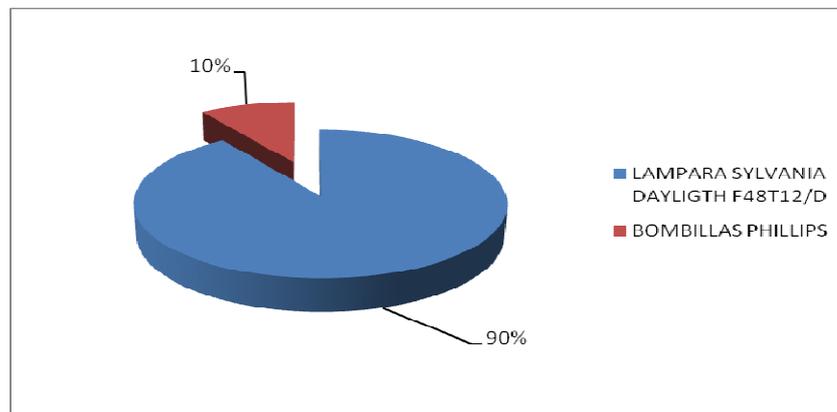


Figura 30. Cantidad de tipos de lámparas (%).

De las tablas 21 y 22, se puede afirmar que el mayor consumo es causado por las oficinas que conforman Bienestar universitario y que se encuentran ubicadas en el segundo piso, de tal forma, que como se puede apreciar el consumo en potencia activa es de 1221W, siendo un valor bastante bajo. En general el comparar la potencia total, con las obtenidas en las áreas críticas, este es relativamente bajo, siendo igual a:

TOTAL POTENCIA (kW)
4.089

INSTALACIONES	LAMPARAS
PASILLO	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 2 BOMBILLAS PHILLIPS
SECRETARIA DE BIENESTAR	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
OFICINA DE DIRECCION	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
OFICINA B.U 202	1 BOMBILLO PHILLIP
OFICINA B.U 203	1 BOMBILLO PHILLIP
OFICINA B.U 204	1 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 BOMBILLO PHILLIP
ALMACEN	1 BOMBILLO PHILLIP
OFICINA B.U 205	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 BOMBILLO PHILLIP
OFICINA B.U 206 (PSICOLOGIA)	2 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 BOMBILLO PHILLIP
	TOTAL POTENCIA (W)
	1221

Tabla 21. Bienestar segundo piso.

INSTALACIONES	LAMPARAS
BAÑOS	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1 BOMBILLO PHILLIP
CENTRO DE SERVICIO DE APRENDIZAJE	6 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
MUSSICA	24 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
GIMNASIO	28 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
	TOTAL POTENCIA (W)
	2868

Tabla 22. Bienestar primer piso.

b) Cafetería y otros Lugares

Esta parte del estudio esta conformado por las oficinas que se encuentran conjuntas al edificio administrativo y al frente de los edificios A1 y A2, este edificio por no tener nombre propio, hemos desarrollado el estudio de forma grupal, de tal forma que integre la cafetería alcatraz y sus alrededores que no se hayan tenido en cuenta en los demás edificios. Esta parte del estudio la conforman oficinas como: POETA, SIRUS, PAPIROS, DIRECCION DE EDUCACION Y DES. DOCENTE, CAPSI, SAVIO, DEPARTAMENTO DE ADQUISICIONES Y LAS OFICINAS DE ADQUISICIONES, entre otras.

En las figura 31, se muestra el consumo actual de potencia activa que se tiene en cada uno de los lugares estudiado para esta parte, sin duda alguna el pasillo que conduce hacia la cafetería alcatraz, consume mas potencia debido al tipo de lámparas que se utilizan en este pasillo, como podemos observar en la tabla 23, donde se muestra el numero de lámparas, este pasillo esta conformado por exactamente 32 bombillos Phillips, los cuales no nos brindan un consumo bajo.

En la figura 32, podemos observar como es el porcentaje en este sector, correspondiente al 21%, mientras que en PAPIROS tenemos un 13 %, de tal forma que se puede ver la diferencia significativa.

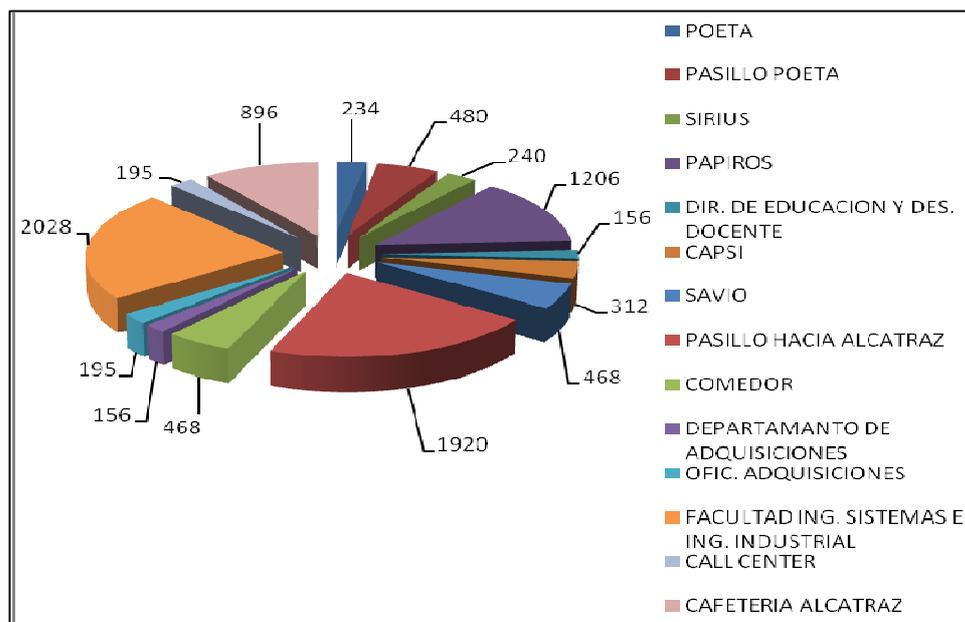


Figura 31. Consumo de potencia (W).

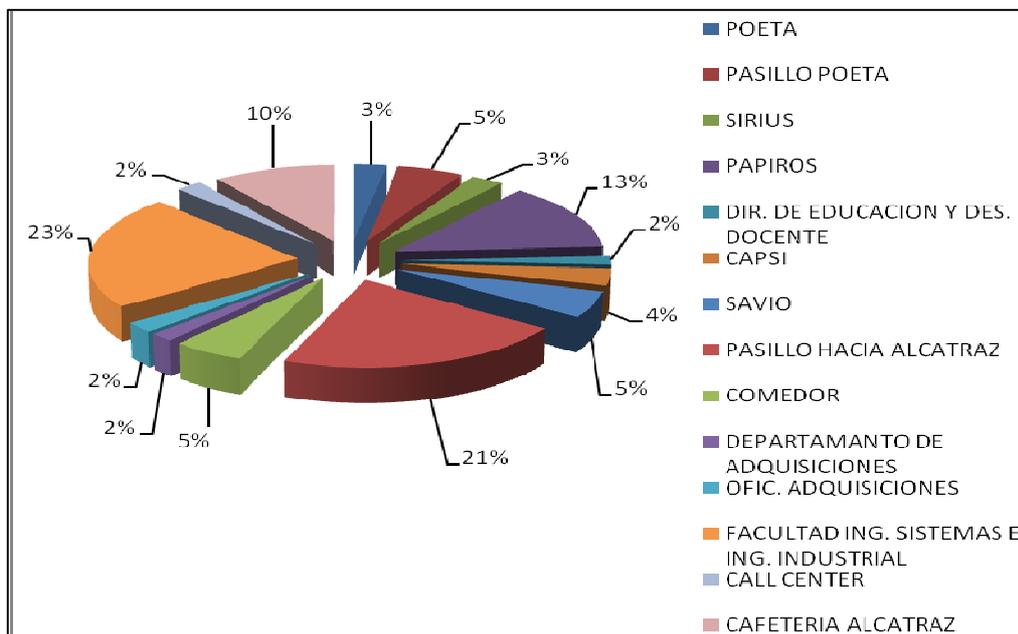


Figura 32. Consumo de potencia (%).

Con base a las tablas 23 y 24. Se muestra la figura 33, donde se indica la variedad de lámparas utilizada en esta parte, sin duda alguna, sigue la predominio de las lámparas con los tubos T12 (46%), seguido de los bombillos Phillip (18%), que no son de gran ayuda para un bajo consumo de potencia y encontramos un bajo porcentaje de los tubos T8, en las lámparas T8 YZ CE (11%), línea económica, este tipo de lámparas las encontramos en PAPIROS, lugar que fue reestructurado por la universidad, de hay que este sistema de iluminación utilizado contenga este tipo de lámparas.

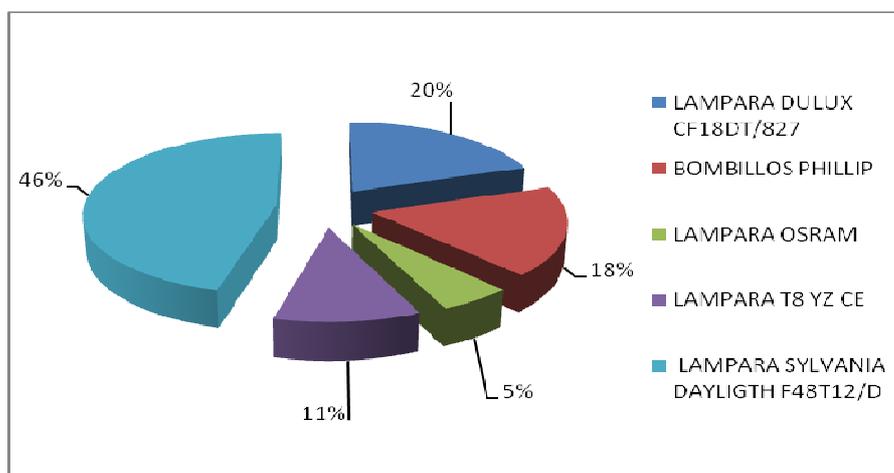


Figura 33. Cantidad de tipos de lámparas (%).

OFICINAS - CIRCULACINES	LAMPARAS
POETA	13 LAMPARA DULUX CF18DT/827
PASILLO POETA	8 BOMBILLOS PHILLIP
SIRIUS	12 LAMPARA OSRAM
PAPIROS	24 LAMPARA T8 YZ CE + 19 LAMPARA DULUX CF18DT/827
DIR. DE EDUCACION Y DES. DOCENTE	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
CAPSI	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
SAVIO	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
PASILLO HACIA ALCATRAZ	32 BOMBILLOSPHILLIPS
COMEDOR	12 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
DEPARTAMENTO DE ADQUISICIONES	4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
OFIC. ADQUISICIONES	5 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
FACULTAD ING. SISTEMAS E ING. INDUSTRIAL	52 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D +12 LAMPARA DULUX CF18DT/827
CALL CENTER	5 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	8058

Tabla 23. Oficinas varias.

CAFETERIA ALCATRAZ	LAMPARAS
CORREDOR	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 4 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH 20W + 1 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH 96W
DISPENSARIO - CAFETERIA	8 LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH F48T12/D + 1LAMPARA SYLVANIA DAYLIGTH 96W
	TOTAL POTENCIA -LAMPARAS (W)
	896

Tabla 24. Cafetería Alcatraz.

La potencia consumida que se muestra en esta parte, que encierra, diferentes oficinas y pasillos de circulación, se tomaría como un global esto evitando mostrarla de forma independizada o según el lugar de trabajo. De tal forma que la potencia obtenida es de:

TOTAL POTENCIA (kW)
8.954

En total la universidad en su sede de Ternera cuenta hoy día con aproximadamente 1783 lámparas distribuidas en las siguientes clases, como se observa a continuación:

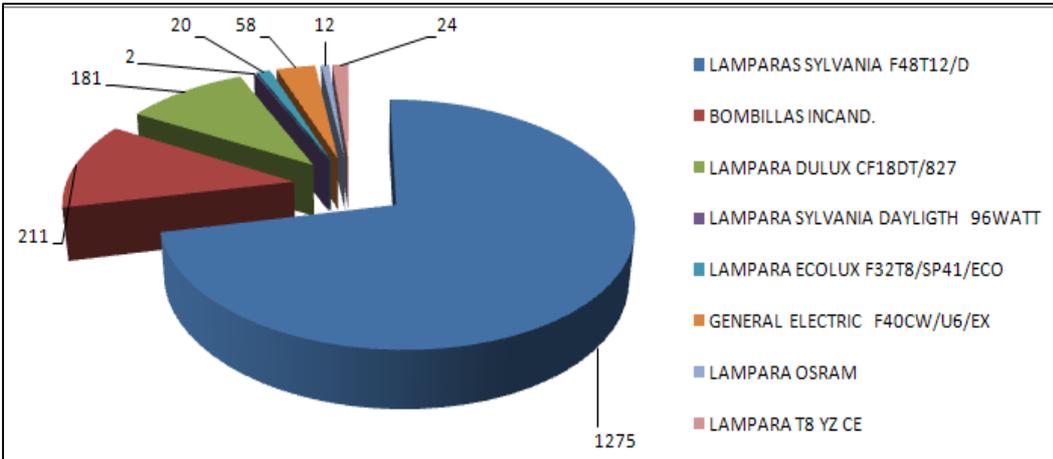


Figura 34. Cantidad y clases de lámparas UTB sede Ternera.

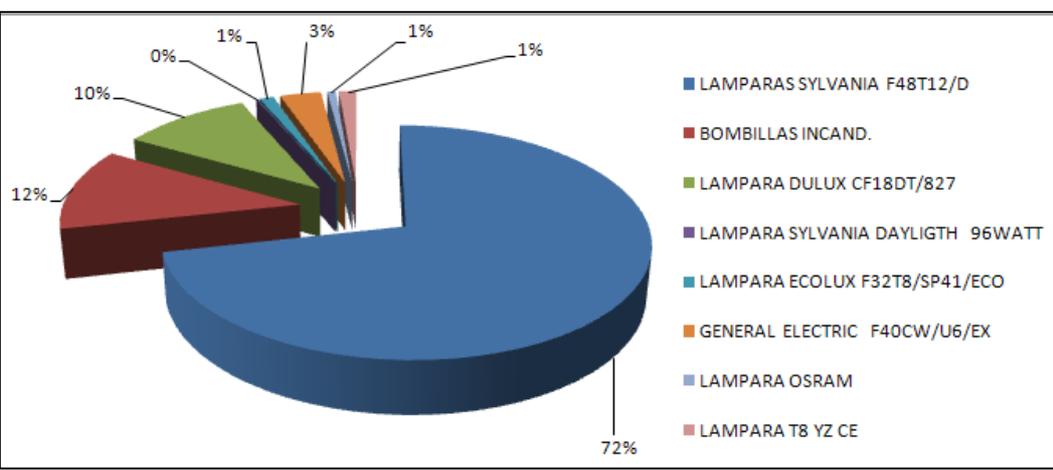


Figura 35. % cantidad y clases de lámparas UTB sede Ternera.

Como se pudo apreciar en las anteriores graficas la universidad utiliza en su mayoría lámparas Sylvania F48t12/D, las cuales representan el 72 % de las lámparas instaladas, ese 72% esta distribuida en distintos lugares, tal como se observa a continuación.

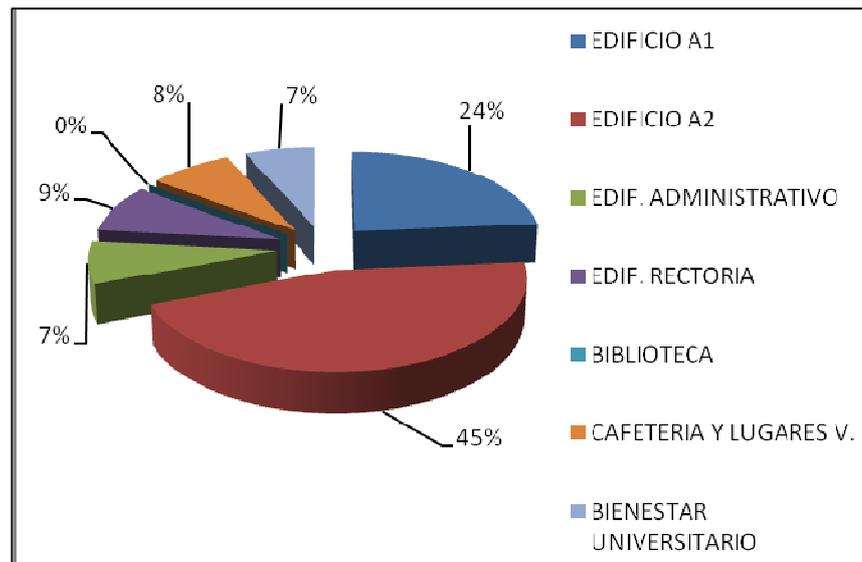


Figura 36. % de distribución lámparas Sylvania F48t12/D.

1.4 Estudio de Intensidad de Iluminación

Es de suma importancia para la propuesta, tener en cuenta los niveles de iluminación existente en los diferentes puestos de trabajo de la Universidad, de esta forma evitamos que las personas trabajen bajo condiciones que puedan causar efectos que conlleven a una baja eficiencia en sus labores y que hacer diario, de esta forma podemos observar que tan importante es tener en cuenta los niveles de iluminación, tomando esto como base a posibles propuestas de cambios en luminarias, en cualquier área de trabajo incluso aulas de clases.

Dentro del estudio se contó con la experiencia y la asistencia técnica de una empresa llamada Salud Ocupacional Sanitas y con la asesora de Liberty A.R.P. los cuales fueron los

encargados de realizar las diferentes mediciones de intensidad luminosa en diferentes áreas consideradas de suma importancia.

El objetivo de este estudio es cuantificar los niveles de iluminación presentes en los diferentes lugares o áreas de trabajo y compararlos con los planteados en el reglamento técnico colombiano para la evaluación y control de iluminación y brillo en los centros y puestos de trabajo. Para cuantificar los niveles de iluminación, se utilizó un monitor portátil marca EXTECH (para saber mas acerca del monitor portátil acuda a la pagina http://www.extech.com/instrument/products/400_450/manuals/407026_UMsp.pdf), cuyo sensor de luz se colocó a la altura del plano de trabajo correspondiente obteniendo por lectura directa los valores en lux; se tomaron de cada puesto de trabajo tres lecturas correspondientes a los niveles máximo, mínimo y promedio, este último se tuvo en cuenta para compararlo con los valores de referencia. Las lecturas se tomaron en luxes.

El luxómetro fue recalibrado electrónicamente al inicio y al final de cada serie de mediciones según lo dispuesto por el fabricante del equipo. Los niveles de referencia corresponden a los "niveles mínimos de intensidad de iluminación medidos en lux de conformidad con la tabla" contenida en la Resolución No.02400 de 1979 del Estatuto de Seguridad Industrial, Artículo 83 del "Ministerio de Trabajo y Seguridad Social" y lo dispuesto por la Comisión Internacional Eklerace (C.I.E.) e Illuminating Engineering Society (I.E.S.) y la Norma ISO 8995 y 9241.

Es importante aclarar que para el grado de cumplimiento se consideraron los siguientes intervalos: bueno, superior a 0.8; regular entre 0.6 - 0.8 y deficiente si la proporción de cumplimiento fue menor a 0.6.

Las mediciones de los niveles de iluminación se realizaron en aulas donde se considera importante mantener un buen nivel de iluminación, oficinas de secretarías, donde existe una exigencia visual, entre otras.

Se midieron 39 puestos de trabajo, cubriendo todo el centro de trabajo, como son los Laboratorios de Electrónica, Circuitos Digitales, Aprendizaje, Física Eléctrica, Psicometría, de Salud Ocupacional y de Fluidos, y en las aulas del edificio A2 y A1, También en el área administrativa como, Dirección de gestión Humana, Dirección Financiera, Información y

Registro Académico, Vicerrectora Administrativa, Dirección de Servicios Administrativos, Dirección de Servicios Informativos, Rectoría, Secretaria de Vicerrectora Académica, Secretaria de Rectoría y Asistente, Secretaria de la Secretaria General y POETA.

De estos puestos de trabajo veinte y uno (21) presentan iluminación insuficiente, representando un 54% de la muestra tomada, seis (6) presentan iluminación regular como son, Laboratorios de Física Eléctrica, Psicometría, de Salud Ocupacional y de Fluidos, Aula A2-406, Secretaria General. Representando un 15% de la muestra seleccionada doce (12) presentan iluminación adecuada como son algunas aulas del edificio A2 y A1, representando un 31% de la muestra seleccionada.

El promedio de Lux de los puestos que presentan regularidad esta en 224 y el promedio en los puestos que presentan una buena iluminación esta en 439 Lux.

Estos resultados dan una idea general, mostrando como se encuentra cada área y si estas deben ser intervenidas de inmediato, dado a que se esta presentando niveles de iluminación bajos principalmente en los centros de trabajos, es necesario colocar una mejor iluminación en el área, si las condiciones arquitectónicas no lo permiten es recomendable colocar en el puesto de trabajo una lámpara auxiliar de mesa, esto para las oficinas.

La figura 37, muestra el comportamiento de las diferentes muestras tomadas.

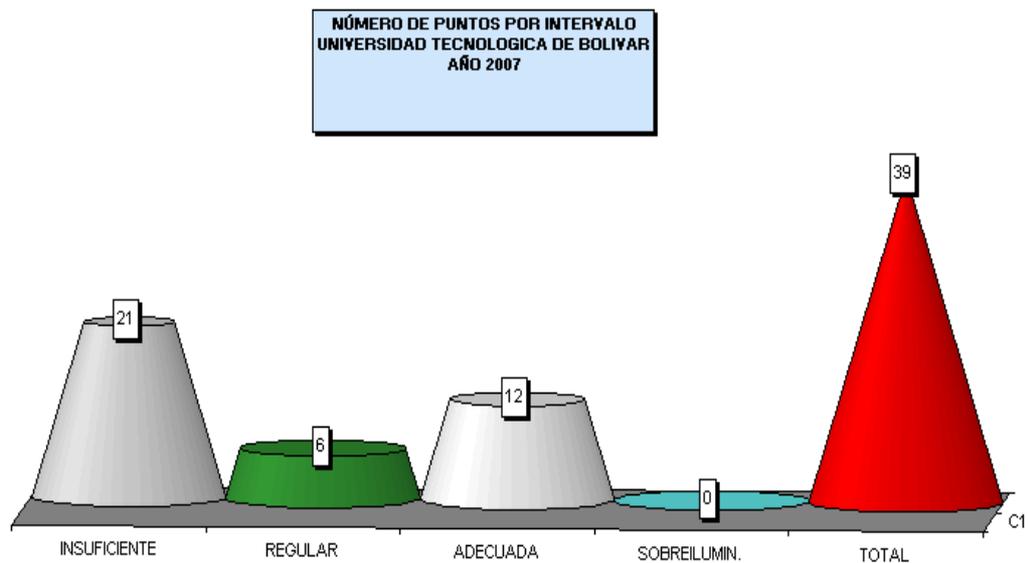


Figura 37. Estado actual de iluminación.

Nuevamente se puede observar lo anteriormente explicado, con las cifras de estadística, donde se observa la insuficiencia del nivel de iluminación.

La figura 38, nos modela un resultado final de la evaluación y muestra cómo se encuentran la distribución de iluminación.

DISTRIBUCION DE EVALUACION DE ILUMINACION

EMPRESA : UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR

PLANO DE TRABAJO

	INSUFICIENTE	REGULAR	ADECUADA	SOBREILUMIN.	TOTAL
No. puntos	21	6	12	0	39
Promedio	144	224	439	0	135
Porcentaje	54%	15%	31%	0%	100%

Figura 38. Distribución de iluminación

1.5 Simulación con DiaLux 4.1

DiaLux es el software para el cálculo luminotécnico que permite obtener resultados foto-realísticos de las instalaciones que con él se proyecten, de forma rápida e intuitiva, la mencionada aplicación ha sido desarrollada por la sociedad DIAL Light building-software, constituida por un amplio grupo de fabricantes entre los que se encuentran: BEGA, LLEDÓ, OSRAM, PHILIPS y ZUMTOBEL STAFF, entre otras; DiaLux, es un programa de planificación del alumbrado, gracias al cual es posible calcular y visualizar instalaciones de alumbrado interior, exterior, vial y de emergencia. Cada fabricante o miembro de la sociedad ha desarrollado un Plugins, donde se contienen datos sobre las características técnicas de las luminarias y de las lámparas que se fabrican y que pueden ser insertadas en el proyecto. Sin duda alguna, esta es una de las grandes ventajas que tiene el empleo de DiaLux, gracias al uso de los Plugins, con una sola aplicación es posible combinar, lámparas y luminarias de diferentes fabricantes en un único proyecto.

Aunque el método de los coeficientes de utilización da habitualmente resultados satisfactorios, tiene como limitación importante el calcular únicamente niveles medios de luz, sin fijarse en la uniformidad de la iluminación. Esto puede significar, aunque no sea frecuente, la aparición de zonas de sombra en la habitación.

En su plataforma o su interfaz simple, encontramos opciones como:

- Alumbrado de emergencia
- Hoja de datos del alumbrado de emergencia
- Representación en colores falsos
- Luminarias con articulaciones
- Disposición de luminarias libre
- Herramientas de disposición
- Superficies de cálculo para tipos de intensidades luminosas diferentes
- Consideración de la geometría de la luminaria en el cálculo
- Memorizar vistas

Para el planteamiento de la simulación con DiaLux 4.1 (software para el cálculo de iluminación), se tuvieron en cuenta que parte de la universidad que estamos a punto de analizar mediante el simulador, deduciendo, que simularemos un aula de clase normal (con sus respectivas dimensiones), nos basamos primero en el planteamiento o las especificaciones mínimas, que se establecen en el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIIE), artículo 16, el cual hace énfasis en el estado mínimo que deben tener en varios lugares de trabajo.

Artículo 16º. ILUMINACIÓN

Una buena iluminación, además de ser un factor de seguridad, productividad y de rendimiento en el trabajo, mejora el confort visual y hace mas agradable y acogedora la vida. Si se tiene en cuenta que por lo menos una quinta parte de la vida del hombre transcurre bajo alumbrado artificial, se comprenderá el interés que hay en establecer los requisitos mínimos para realizar los proyectos de iluminación, los cuales se presentan a continuación.

1. Diseño

Un diseño de iluminaron debe comprender las siguientes condiciones esenciales:

- ~ Suministrar una cantidad de luz suficiente.
- ~ Eliminar todas las causas de deslumbramiento.

- ~ Prever el tipo y cantidad de luminarias apropiadas para cada caso particular teniendo en cuenta su eficiencia.
- ~ Utilizar fuentes luminosas que aseguren una satisfactoria distribución de los colores.

2. Instalación

- ~ Debe existir suministro ininterrumpido de iluminación en sitios y áreas donde la falta de estas pueda originar riesgos para la vida de las personas, como en áreas críticas y en los medios de egreso para evacuación.
- ~ No se permite la utilización de lámparas de descarga con encendido retardado en circuitos de de iluminación de emergencia.
- ~ Los alumbrados de emergencias equipados con grupos de baterías, deben permanecer en funcionamiento un mínimo de 90 minutos después que se interrumpa el servicio eléctrico normal.
- ~ Los residuos de las lámparas deben ser manejados cumpliendo la regulación sobre manejos de desechos, debido a las sustancias toxicas que puedan poseer.
- ~ En lugares accesibles a personas donde se operen maquinas rotativas, la iluminación instalada debe diseñarse para evitar el efecto estroboscopio.

Para efectos del presente reglamento se establecen los siguientes niveles de iluminancia, adoptados de la norma ISO 8995.

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	NIVELES DE ILUMINANCIA(lx)		
	Mín.	Medio	Máx.
Colegios			
Salones de clase			
Iluminación general	300	500	750
Tableros para emplear con tizas	300	500	750
Elaboración de planos	500	750	1000
Salas de conferencias			
Iluminación General	300	500	750
Tableros	500	750	1000
Bancos de demostración	500	750	1000
Laboratorios	300	500	750
Salas de arte	300	500	750
Talleres	300	500	750
Salas de asamblea	150	200	300

Tabla 25. Niveles típicos de iluminancia aceptada para diferentes áreas, tareas o actividades.

Inicialmente, se planteo el artículo 16 del RETIE, y en base a la información hay consignada, se analizaran los resultados obtenidos en el simulador, indicando, si los niveles de iluminancia, se encuentran buenos o si es necesario aplicar un nuevo sistema de iluminación en la universidad. En la simulación se creo un aula de clase, con las medidas reales que estas tienen y la cantidad de lámparas y luminarias más relevantes en la universidad, buscando obtener los resultados los más próximos a los encontrados en las mediciones, de acuerdo con lo anterior se plantea en el simulador un aula de clase con

cuatro luminarias. Utilizaremos el tipo de lámparas que actualmente se tiene en la universidad, Sylvania Dayligh F48T12/D, de tal forma que los resultados que se obtengan se puedan comparar con una posible propuesta, se tiene entonces los siguientes datos Técnicos:

- Tipo: Sylvania Dayligh F48T12/D
- Tipo, referencia en Dialux 4.1: Sylvania 0043270/0045081
- Flujo luminoso de las luminarias: 6700lm
- Potencia de las luminarias: 78W
- Armamento: 2 x 48W

1.5.1 Ubicación de los muebles en el aula de clase

En la figura 39, detallaremos la ubicación de los muebles que se encuentran en el aula de clase, las dimensiones que se demuestran, en esta figura, son tomadas en comparación a un aula real del edificio A2.

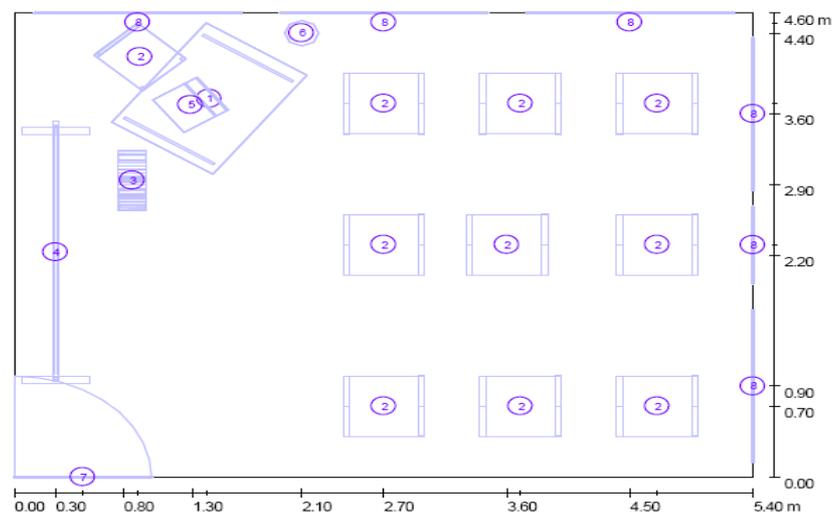


Figura 39. Plano con medidas y ubicación de los muebles

En la tabla 26 se indica cada pieza que conforma el aula de clase, esta misma aula, será utilizada para todo los casos de simulaciones que se efectuaran.

Numero	Pieza	Designación
1	1	Escritorio
2	10	Sillas
3	1	Profesor
4	1	Panel Expositivo
5	1	Laptop
6	1	Papelera
7	1	Puerta
8	6	Ventanas

Tabla 26. Designación de muebles en plano.

1.5.2 Ubicación de las luminarias

En un plano sin todos los componentes o muebles que conforman el aula, se muestran la ubicación de las luminarias, estas están dispuestas de forma simétrica como lo indica la figura 40.

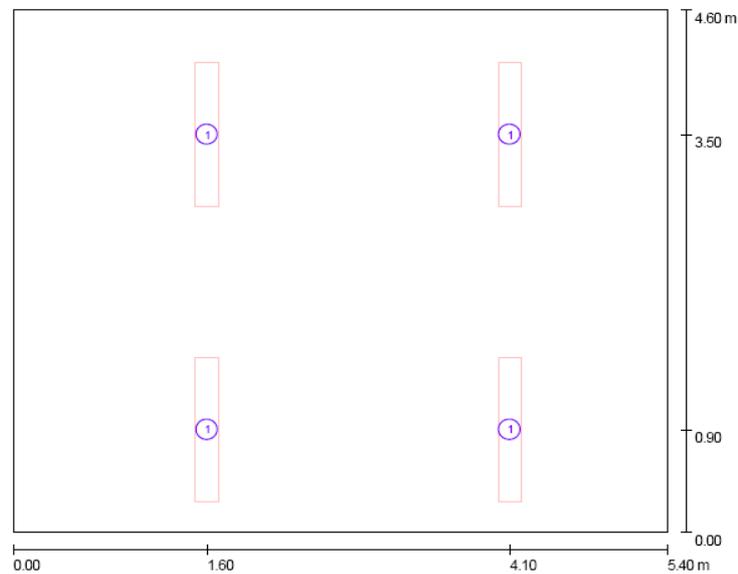


Figura 40. Ubicación de las luminarias.

1.5.3 Diagrama de Densidad Lumínica

Permite evaluar la luminancia de acuerdo con los diferentes ángulos de radiación, este diagrama como objeto de conocimiento se muestra en la figura 41, y es el mismo para el los casos de estudio donde se utiliza la luminaria con el tipo de lámparas que se especifico al principio.

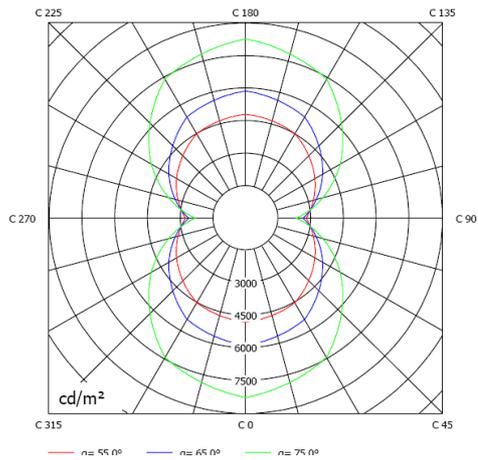


Figura 41. Diagrama de densidad lumínica.

1.5.4 Grafico 3d

Una muestra de cómo se detalla el aula de clase con las cuatro luminarias, se puede apreciar en la figura 42. Se observa claramente la disposición y el impacto del flujo luminoso sobre el aula de estudio.



Figura 42. Grafico en 3D, del aula de clase.

Si embargo este gráfico, aun no entrega un panorama claro de lo que se a obtenido, de tal forma que el análisis de los resultados, calculados con el Simulador, son mostrados de una forma diferente, como son los planos isolineas, plano gamma de grises y gráfico de valores y donde es posible comprender aun mas los resultados obtenidos.

1.5.5 Planos

Comenzando nuestro análisis de iluminación, encontramos tres planos que de una u otra forma nos dan la explicación necesaria para poder dar un resultado final y una conclusión final, es o no es la iluminación apropiada, para basarnos en esto tomamos el artículo 16° del reglamento técnico de instalaciones eléctricas, anteriormente mencionado, de forma que se pueda dar una opinión general que nos conduzca a una conclusión específica.

Del artículo, no encontramos especificación alguna, de tal manera que lo hemos asumido como colegio, mas exactamente salón de clases, donde el nivel mínimo de iluminación en luxes es 300, el nivel medio seria 500 y el máximo de 750.

a) Plano Útil - Isolíneas

En este plano se puede analizar el esparcimiento de la luz en el aula de clase, de tal forma que observamos como la luminancia de las lámparas recubre cada punto de las sillas y del pizarrón considerado la parte más importante en nuestro estudio, en la figura 43, se percibe como es el comportamiento de las lámparas en este caso.

A simple vista, se puede observa que este cumple con las expectativas mínimas que plantea el RETIE, el valor mínimo para la luminancia, se encuentra alrededor de 300lx, de forma sin necesidad de buscar los valores promedio y máximo, aunque no seria lo ideal tener un aula en estas condiciones de servicio, esta se encuentra dentro del mínimo requerido.

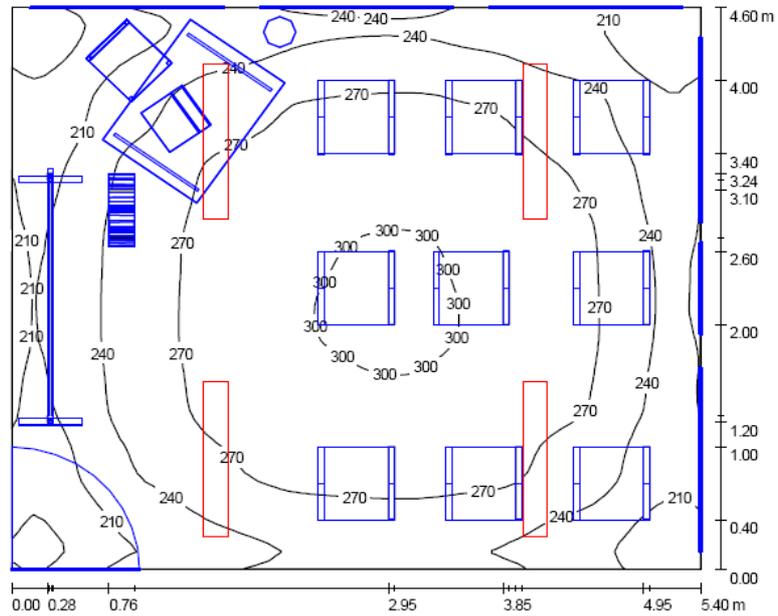


Figura 43. Plano isocintas con dos luminarias.

b) Plano Útil - Gamma de Grises

En este plano se ve más exactamente lo anteriormente deducido en el plano isocintas, se observa en la figura 44, de manera más detallada como se concentra la luminancia en el estudio, de esta forma estamos casi reafirmando, si la utilización de las luminarias es la necesaria para el aula de clase.

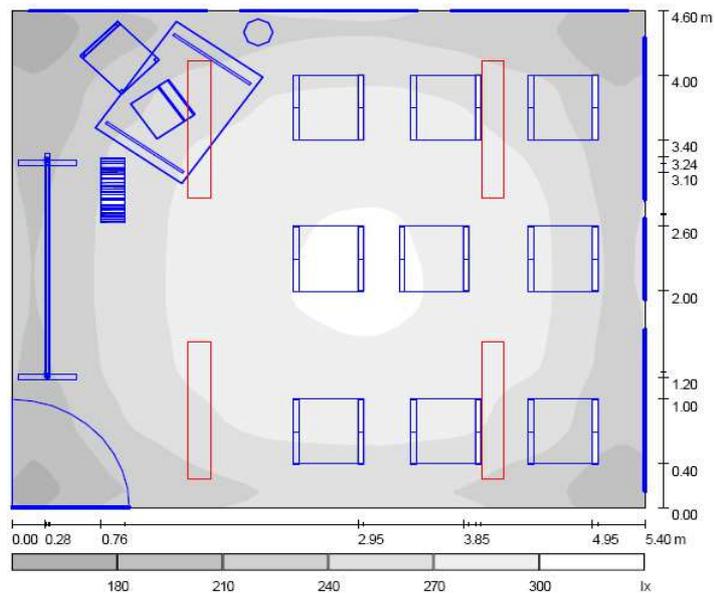


Figura 44. Plano gamma de grises con dos luminarias.

Lo que se observa en la figura 44, es un grafico en gamma de grises en donde hay varios espacio con distintas tonalidades, si observamos detenidamente la parte inferior de la figura, observaremos una barra que nos indica la zona de mayor iluminación, donde se logran percibir intensidades de 210lx en promedio y después podemos observar como se distribuye la intensidad de iluminación por todo el área de clases, dado lo anterior es muy claro decir que con cuatro luminarias tipo Sylvania Daylighth F48T12/D difícilmente se llega a cumplir los objetivos.

c) Plano Útil - Gráfico De Valores

Con este plano obtenemos una conclusión general, de cómo es el comportamiento de tener solamente cuatro luminarias, el plano o grafico de valores, que se muestra en la figura 45, nos brinda la información completa de cómo se encuentra distribuida la iluminación en aula de clase, denotando así que el valor máximo es 303lx, un valor medio de 253lx y el valor mínimo de 158lx, en conclusión, este tipo de luminarias en disposición de cuatro luminarias, para el aula de clase, cumple únicamente con las condiciones mínimas requeridas por el RETIE, de tal forma que si encontramos aulas con este tipo de condición nos encontramos en la obligación de mejorar para corregir efectos futuros en la salud visual de los estudiantes.

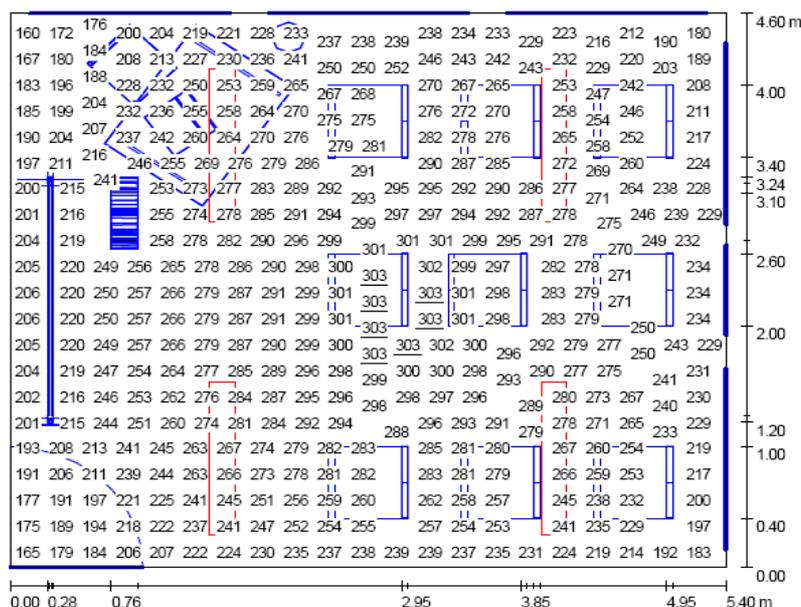


Figura 45. Gráfico de valores con dos luminarias.

Ahora analizaremos mediante el simulador y utilizando las lámparas Ecolux F32T8/SP41/ECO, un aula como propuesta de cambio o renovación del sistema de iluminación en la Universidad, este podría servir como referencia, ya aplica la lámpara anteriormente mencionada y que se basan en un bajo consumo y una mayor eficiencia.

1.5.6 Aulas de Clase Propuesta

En esta parte mostraremos un aula de clase actual de la Universidad Tecnológica de Bolívar, que en su interior contenga únicamente luminarias con lámparas Ecolux F32T8/SP41/ECO, de esta forma, generamos un punto de comparación, entre lo actual y lo posiblemente establecido en una propuesta de cambio de lámparas.

Dispondremos de lámparas, referenciadas en el simulador como: Sylvania 0046451 SYL-LOUVER, debido al no conseguir el tipo especificado, utilizaremos el tipo de lámparas que actualmente se tiene en el simulador y que concuerda en especificaciones técnicas a la planteada.

Datos Técnicos.

Tipo: Ecolux F32T8/SP41/ECO

Tipo, referencia en Dialux 4.1: Sylvania 0046451 SYL-LOUVER

Flujo luminoso de las luminarias: 6700lm

Potencia de las luminarias: 72W

Clasificación luminarias según CIE: 100

Código CIE Flux: 64 94 99 98 60

Armamento: 2 x F 36W (Factor de corrección 1.000).



1.5.7 Ubicación de los Muebles en el Aula de Clase.

En la figura 46, indicaremos, como se muestra la ubicación de los muebles que se encuentran en el aula de clase, las dimensiones que se expresan, son tomadas de un aula real del edificio A2, de igual forma como se hizo en la parte inicial del ejercicio.

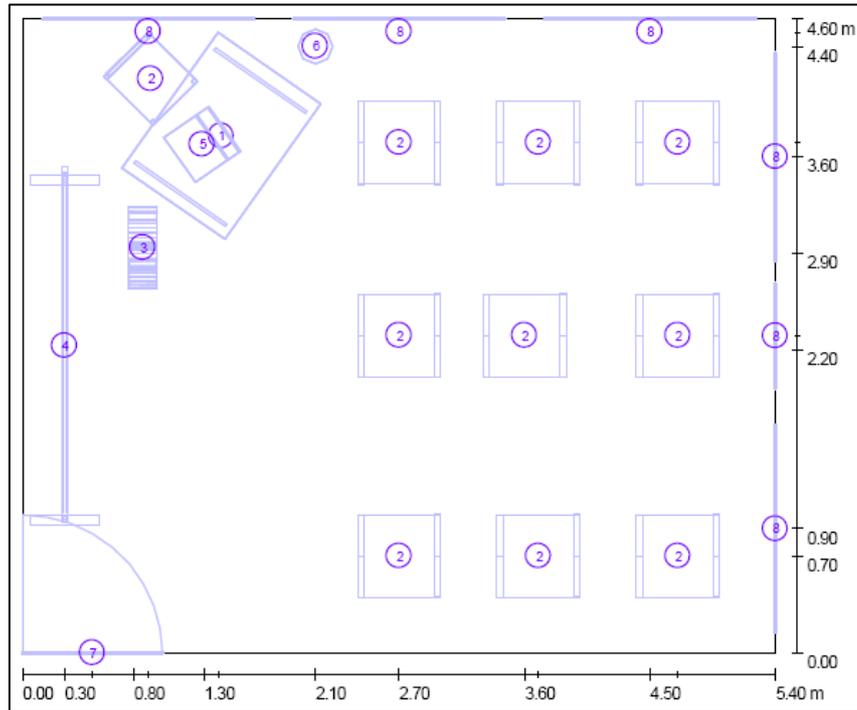


Figura 46. Plano con medidas y ubicación de los muebles.

En la tabla 27. Se indica cada pieza que conforma el aula de clase, esta misma aula, será utilizada para todo los casos de simulaciones que se efectuaran.

Numero	Pieza	Designación
1	1	Escritorio
2	10	Sillas
3	1	Profesor
4	1	Panel Expositivo
5	1	Laptop
6	1	Papelera
7	1	Puerta
8	6	Ventanas

Tabla 27. Designación de muebles en plano.

1.5.8 Ubicación de las Luminarias

La figura 47, muestra un plano, sin todos los elementos o muebles que conforman el aula, se muestran la ubicación de las luminarias.

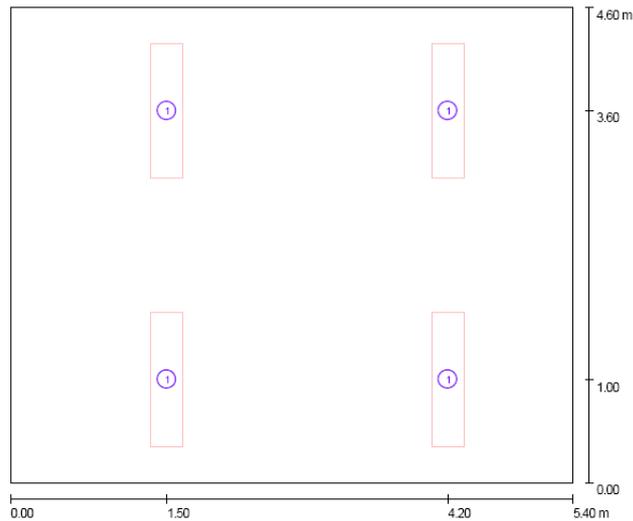


Figura 47. Ubicación de las luminarias, distribuidas

1.5.9 Diagrama de Densidad Lumínica

Permite evaluar la luminancia de acuerdo con los diferentes ángulos de radiación, se muestra, la figura 48, como objeto de conocimiento, y será el mismo para el los casos de estudio donde se utiliza la luminaria con el tipo de lámparas que se especifico al inicio de esta parte.

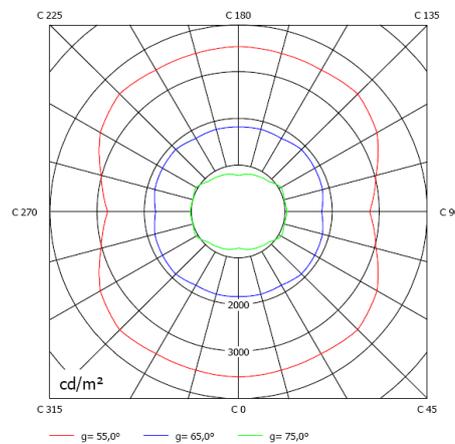


Figura 48. Ubicación de las luminarias, distribuidas

1.5.10 Grafico 3d

Una muestra de cómo se observa el aula de clase con las dos luminarias, nuevamente planteadas, se apreciar en la figura 49. Se observa claramente la disposición y el impacto del flujo luminoso sobre el aula de estudio.



Figura 49. Disposición 3D con cuatro luminarias.

1.5.11 Planos

Anteriormente, se explico el objetivo que tenían estudiar los diferente planos obtenidos en el simulador, a continuación, analizaremos el plano isolineas, obtenido en para este caso y podríamos verificar, si se cumplen las condiciones expuestas por el RETIE

a) Plano Útil - Isolíneas

En este plano se puede analizar el esparcimiento de la luminancia en el aula de clase, de tal forma que observamos, como la luz de las lámparas recubre cada punto de los muebles dispuestos. En la figura 50, se percibe como es el comportamiento de las lámparas en este caso cumple con las expectativas mínimas que plantea el RETIE, se puede observa que el valor máximo para la luminancia, se encuentra alrededor de 400lx, siendo este un valor muy próximo a la medida media que se muestra en el artículo 16° de iluminación del RETIE, de tal forma que se cumple superando el mínimo requisito y superando la simulación con la lámpara Sylvania Daylight F48T12/D.

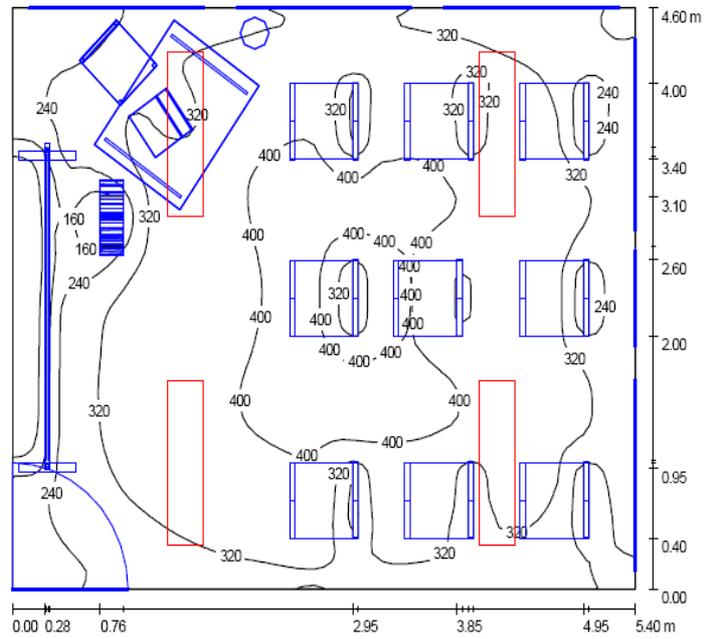


Figura 50. Plano isolneas con cuatro luminarias.

b) Plano Útil - Gamma De Grises

En la figura 51, de una manera más detallada se observa como se centraliza la iluminancia en el aula, de esta forma estamos especificando, que el diseño podría cumplirse, dejando ver lo próximo que estas se acercan a los 500lx.

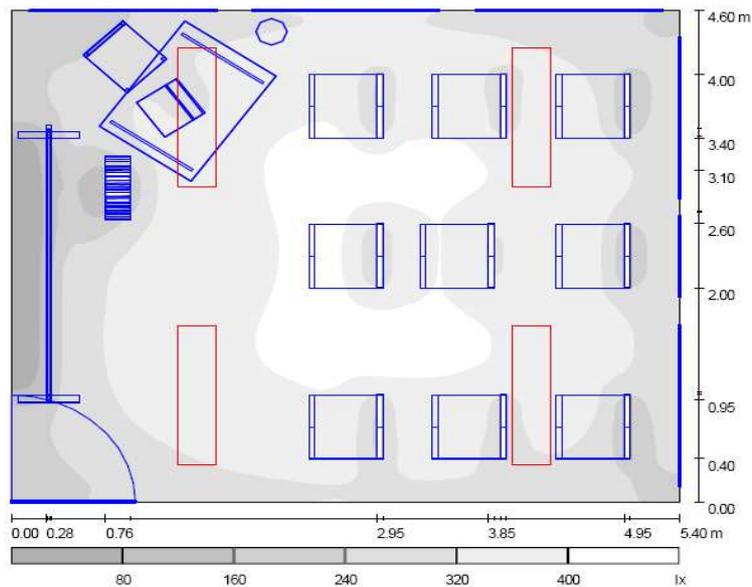


Figura 51. Plano gamma de grises con cuatro luminarias.

c) Plano útil - Gráfico de valores

Con este plano analizamos y concluimos de una forma muy general, el comportamiento que se tiene con las lámparas, el plano o gráfico de valores, que se muestra en la figura 52, nos brinda la información completa de cómo se encuentra distribuida la iluminación en aula de clase, denotando así que el valor máximo de este es 414lx, un valor medio de 323lx y el valor mínimo de 26lx en un área que no tiene mayor importancia como es detrás del pizarrón, de tal forma que los primeros valores tanto el máximo como el mínimo se encuentra dentro de los valores exigidos por el RETIE.

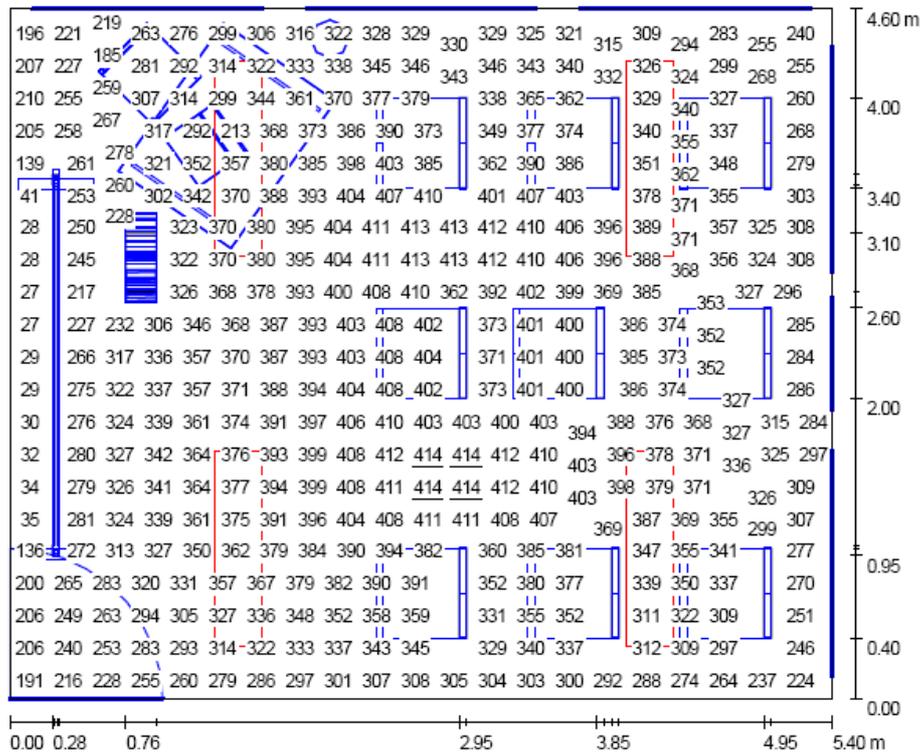


Figura 52. Gráfico de valores con cuatro luminarias.

Hasta el momento solamente se han mostrado simulaciones con cuatro luminarias, en las cuales se observa claramente la superioridad en luxes de las lámparas propuestas ya que estas alcanzan un máximo de 414 luxes. En la Universidad se da el caso que en algunas aulas hay 2 y 3 luminarias, a continuación se observaran las simulaciones en los planos de

gamma de grises en los cuales se podrá comparar la intensidad de luxes en un salón con las lámparas Sylvania Daylighth F48T12/D y las lámparas Ecolux F32T8/Sp41/Eco propuestas.



Figura 53. Plano gamma de grises con dos luminarias Sylvania Daylighth F48T12/D

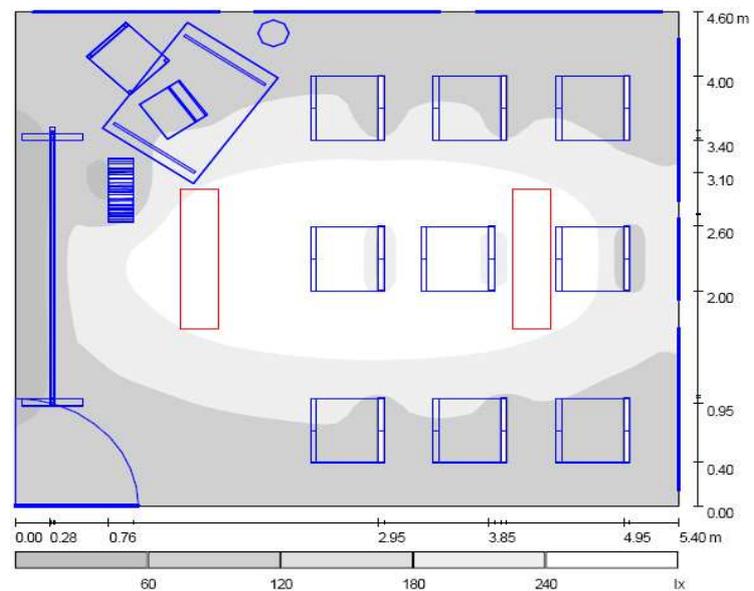


Figura 54. Plano gamma de grises con dos luminarias Ecolux F32T8/Sp41/Eco

En las anteriores graficas se observa que con solo dos luminarias en las aulas, las lámparas Ecolux F32T8/Sp41/Eco propuestas tienen un mejor comportamiento en cuanto a intensidad de iluminación se refiere, teniendo un máximo de 296 lux en comparación con los 175 lux de las lámparas Sylvania Daylight F48T12/D.

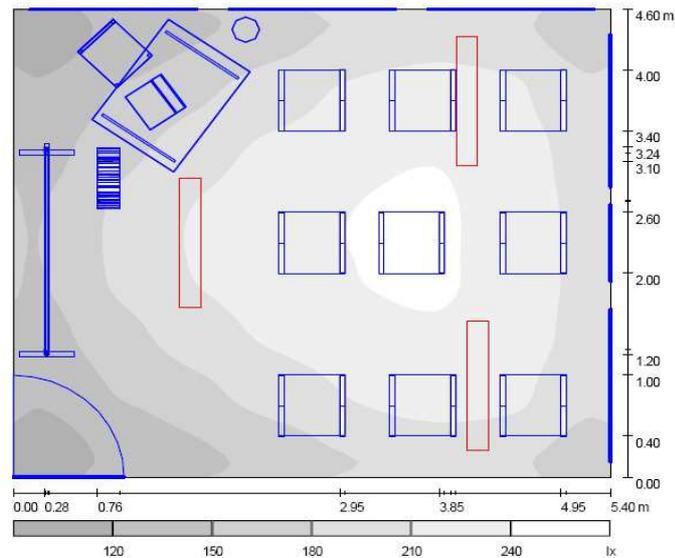


Figura 55. Plano gamma de grises con tres luminarias Daylight F48T12/D

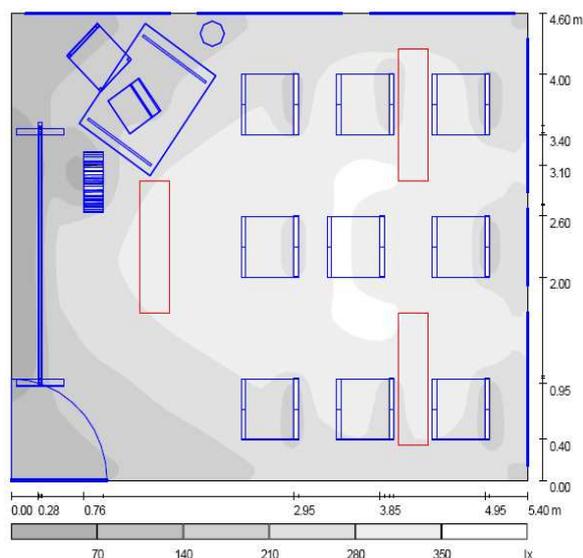


Figura 56. Plano gamma de grises con tres luminarias Ecolux F32T8/Sp41/Eco

Ahora si observamos las graficas de gamma de grises para aulas con 3 luminarias, se puede apreciar que las lámparas Ecolux F32T8/Sp41/Eco propuestas siguen teniendo un mejor comportamiento en cuanto a intensidad de iluminación, teniendo un máximo de 357 lux en comparación con los 245 lux de las lámparas Sylvania Daylight F48T12/D.

A continuación en la tabla 28, se muestra los resultados obtenidos con el simulador para las diferentes condiciones, donde se observa que en gran parte las aulas con las lámparas Sylvania Daylight F48T12/D no cumplen con lo establecido en el art. 16 del RETIE, además se obtienen claras diferencias entre las aulas con lámparas Sylvania Daylight F48T12/D y las aulas con las lámparas Ecolux F32T8/Sp41/Eco propuestas.

Simulaciones	Nivel de Iluminación en Lx					
	Aula Normal			Aula Propuesta		
	Minimo	Medio	Maximo	Minimo	Medio	Maximo
Dos Lámparas	21	125	175	131	178	296
Tres Lámparas	101	192	245	117	250	357
Cuatro Lámparas	158	253	303	17	323	414

Tabla 28. Simulaciones iluminación.

1.6 Propuesta de Renovación

Muchos centros de estudios están reemplazando sus antiguos sistemas de iluminación, basados en lámparas fluorescentes tipos T-12, instaladas en las aulas de clase y oficinas, por otros más avanzados. Con frecuencia, la motivación de realizar una renovación es reducir costos de operación y de energía, además de mejorar la eficiencia en la iluminación.

En base a lo anterior, se plantea la posibilidad de aprovechar las posibilidades del ahorro energético, que brindan algunos productos existentes en el mercado, de tal forma que se consiga una disminución considerable en el costo del consumo energético y se pueda obtener una mayor eficiencia en la iluminación, aplicando así mismo las normas y reglamentos establecidas para dicho propósito.

Para justificar la renovación del sistema de iluminación de la universidad, en el cual se plantea realizar un cambio en las luminarias, lámparas y bombillos que actualmente existen, nos basamos en diferentes hechos físicos, cualitativos y cuantitativos, los cuales dan a mostrar el estado actual del sistema de iluminación, estos hechos hacen referencia a:

1. Recolección de datos. Mediante un estudio anteriormente mostrado, se pudo verificar el gran número de luminarias con lámparas T-12 y balastro magnético, que no llegan a cumplir con las necesidades básicas de un área de estudio, incumpliendo lo establecido en las normas y causando un mayor consumo de energía, de igual forma sucede con los bombillos incandescentes, la utilización de estos hoy en día tiene una tendencia a la baja, sin embargo su utilización en la universidad no deja de ser relevante.
2. Estudio realizado por Liberty A.R.P. En el cual se observa claramente la deficiencia en la iluminación que actualmente se presenta en las aulas con el sistema de iluminación que en la actualidad utiliza la universidad.
3. Simulación. Donde nos basamos en las condiciones actuales, medidas reales de un aula de clases, el tipo de lámparas y luminarias instaladas, y con la ayuda del software Dialux 4.1, se simula el aula y se observan las condiciones que se maneja la universidad en base a iluminación, observamos cómo estos no cumplen con las exigencias mínimas normas establecidas.

Con el planteamiento anterior de los hechos que forzarían a una posible renovación en el sistema de iluminación de la universidad; iniciamos el planteamiento de una propuesta que satisfaga las condiciones mínimas exigidas en las normas (RETIE), y la cual conlleve una mejoría en la iluminación y mantenga un bajo consumo energético.

Partiendo de las ideas anteriormente planteadas, la mejor condición sería una sustitución gradual de luminarias, con lámparas T-8 y balastro electrónico y para el caso de los bombillos incandescentes por uno ahorradores.

Inicialmente se comenzaría por un aula de clase que en su interior contenga cuatro luminarias con lámparas T-12, sugerimos el aula A2-201, de tal forma que se lleve un orden en el proceso de cambio, primeramente las aulas, luego las oficinas y demás lugares de mayor importancia.

El planteamiento de la propuesta lleva una estructura que se podría considerar flexible ante diversas situaciones que se puedan dar, esto se hace con el fin de obtener agilidad en el proceso de renovación y compresión de la propuesta, manteniendo una posible constante que si duda alguna ira entregando resultado a medida que se avanza en ella.

1.6.1 Identificación de las lámparas.

Esta parte lleva consigo el tipo de lámparas y balastro que se escogieron para la renovación, estamos hablando de las lámparas Ecolux F32T8 ó Sylvania Octron FBO32T8, cualquiera de las dos manejan bajos estándares de consumo energético y altos rendimientos, en el caso de los balastos, los electrónicos serian los más adecuados para este tipo de lámparas, es necesario cambiar la base, debido a que la utilizada por las lámparas T-12, son totalmente diferente en la parte de sus conectores lo cual no es posible cambiar la lámpara y el balastro para la misma base de la luminaria.

Las bombillas incandescentes de 60W o 100W utilizadas en diferentes lugares de la universidad, serian reemplazadas por unas ahorradoras de energía, o que consuman menos, eso quiere decir, que podríamos utilizar una bombilla fluorescente de 17W ó de mayores vatios en caso tal sea necesario.

1.6.2 Inicio de la renovación.

Anteriormente se había indicado que se escogería el aula de clase A2-201, de forma tal que se lleve un orden, pero no se ha indicado que se haría con las cuatros lámparas que serán quitadas o reemplazadas.

Para evitar posibles complicaciones en el proceso de renovación, las lámparas que van hacer removidas, deben utilizarse como repuesto de las todavía existentes en el Campus, es

decir, en vez de arrojarlas directamente al canasto de la basura, utilizarlas como sustento a las lámparas del mismo tipo que vayan saliendo de uso en otros lugares de la universidad, de esta forma se evitaría un aglomerado de lámparas, cuya utilización quedaría posiblemente nula.

En el caso de las bombillas incandescentes, podemos realizar el cambio de igual forma que las luminarias, iniciando por las partes de mayor uso o concurrencia, así evitaríamos un alto costo inicial en la obtención de estos, no hay que olvidar que los bombillos ahorradores mantienen elevados precios por los beneficios que estos ofrecen.

1.6.3 Análisis comparativo de consumo

Es de suma importancia realizar un análisis económico a la propuesta de forma tal que enseñe como es comportamiento y los costo que esta propuesta puede acarrear, sin embargo, los análisis económicos manejan variables que dependen de del tiempo, las diferentes tasas, gastos, utilidades y valores presentes, entre otras y que mostrarían una base real y solida, pero sin duda alguna, más que mostrar si es viable o no es viable la propuesta, el objetivo principal a cumplir en esta partes es detallar la magnitud y los beneficios que podemos obtener aplicando una renovación al sistema de iluminación, de ahí que realicemos un análisis comparativo de consumo, donde se muestre más exactamente el ahorro que la universidad puede obtener utilizando un tipo diferente de lámparas y cual serian las posibles ganancias.

Conociendo la aplicación del análisis comparativo, partimos de la idea de que actualmente la universidad maneja una tasa no muy constante de cambio de las lámparas T-12, hablamos de aproximadamente 5 por semana eso indica que mensualmente se realiza un cambio de 30 lámparas de este tipo, esto sin incluir los cambios de balastro que no son muy frecuentados y el cambio de bombillos; con una renovación esta tasa tendera a la baja, ya que la lámparas T-8, maneja mas horas de vida útil y el balastro electrónico reduce posibles corrientes elevadas que podían acarrear daños en las lámparas.

Hoy por hoy las lámpara T-12, manejan un consumo real de 37.5W, y las T-8 de 30.5W, manejando una diferencia del 19% aproximadamente, asimismo, una luminaria usando lámparas T-12 consume 76.56W y usando T-8 con balastro electrónico tenemos que consume 61.46W, dando una diferencia del 19.72%.

Es decir que con la cuatro luminarias usando T-12 la universidad consume en el aula de clase escogida, un total de 306.25W, como se observa en la figura 57, mientras que con las T-8 un total de 245.84W.

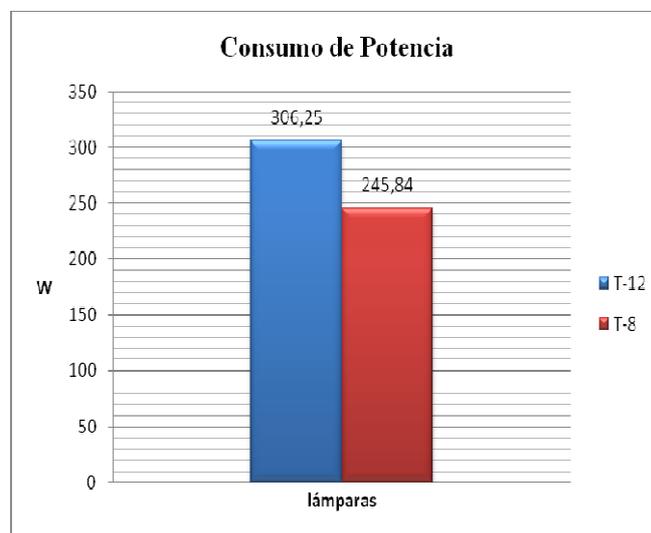


Figura 57. Comparación de consumo con 4 luminarias

Pero cuanto paga la universidad en consumo energético por usar este tipo de lámparas, si el valor del kilowatio-hora (kW.h) es de \$221.88 pesos, luego, teniendo en cuenta que estas lámparas tienen un promedio de 8 horas encendidas al día en esta aula, tenemos que con las T-12, este valor sería de \$544 pesos diario, al mes tendríamos \$10.872 pesos, para el caso de las T-8, obtendríamos, diario un valor de \$436 pesos y al mes de \$ 8.728 pesos, como se logra apreciar en la siguiente figura, donde la tendencia del consumo de energía mensual al realizar la renovación tiende a disminuir y su equivalente en consumo mensual también.

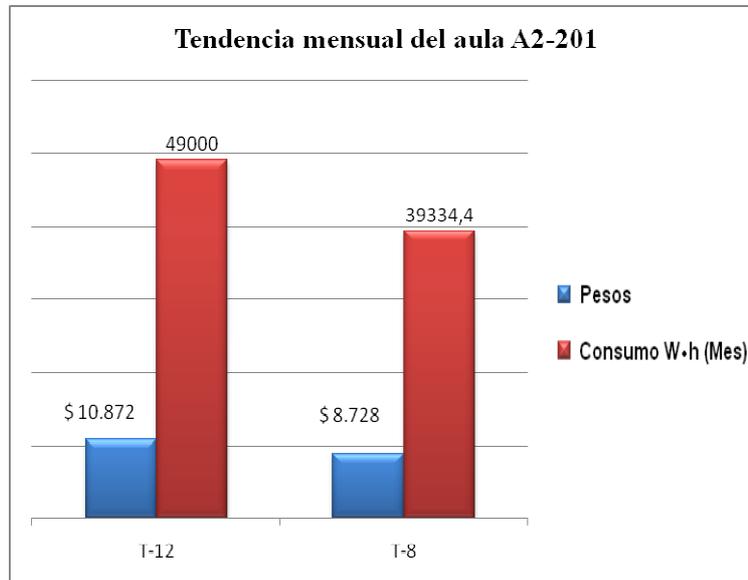


Figura 58. Tendencia mensual consumo - costo.

Lo que indica que al semestre obtendremos un comportamiento en el consumo como lo muestra la siguiente figura, donde se ve mas claro cuanto seria la diferencia obtenida en el aula.

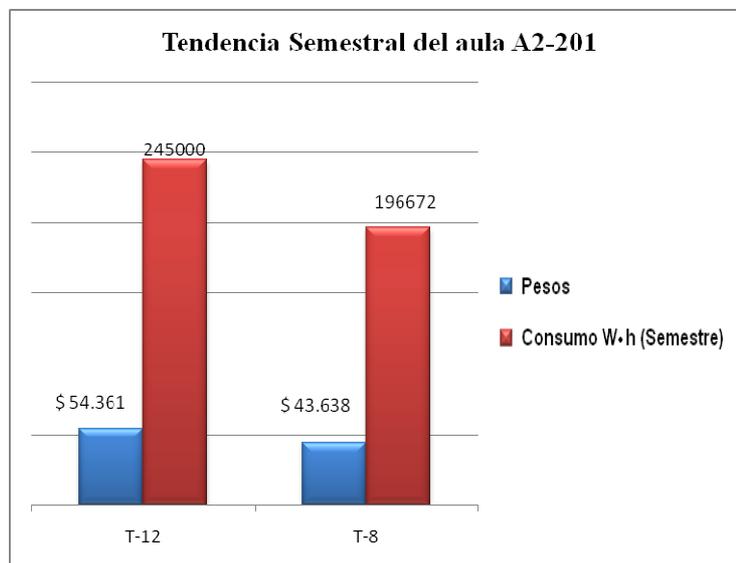


Figura 59. Tendencia semestral consumo - costo.

Manteniendo una diferencia en porcentajes igual a la indicada anteriormente, y obteniendo un ahorro en dinero de \$10.000 pesos, siendo este valor más notable cuando se tengan en todo el sistema de iluminación renovado. Ahora bien, si analizamos esta tendencia en general, asumiendo que se ha realizado el cambio por completo en la universidad y conociendo que esta tiene un total de 1275 lámparas T-12, las cuales manejan un consumo teórico y real como se muestra en la figura en comparación con la T-8.

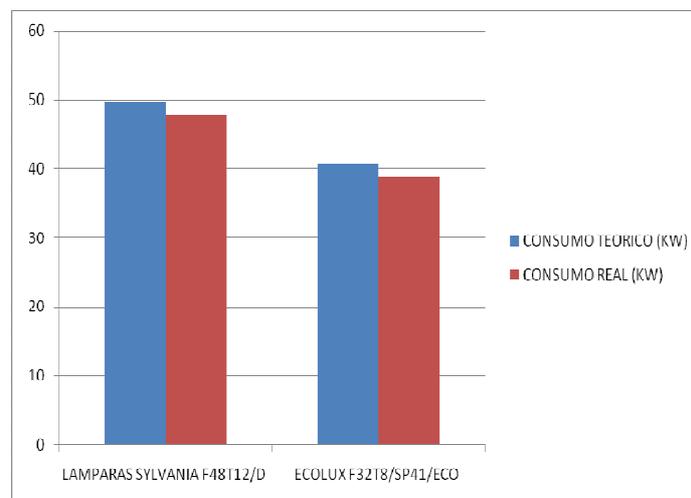


Figura 60. Comparación consumo teórico - real general.

Estaría obteniendo un consumo general 47.8kW con las amparas T-12, mientras que con las lámparas T-8 sería de 38.9kW, logramos apreciar una disminución considerable de consumo, en cuanto al dinero, como la universidad paga un consumo de energía mensual, en la siguiente figura, se muestra el comportamiento general del consumo en las lámparas. En la figura podemos apreciar la tendencia que producen las lámparas T-8 con respecto a las T-12, esta sin duda alguna como se ha venido demostrando consumen más dando como resultado más dinero.

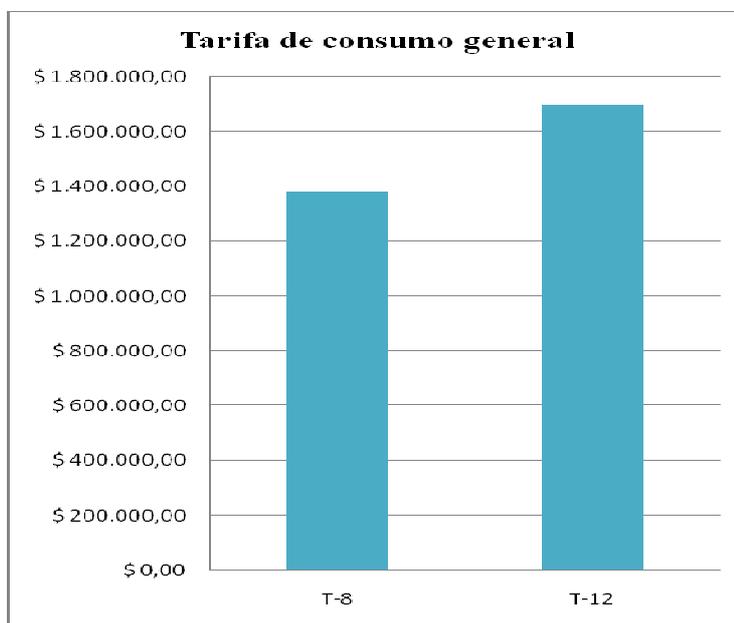


Figura 61. Comparación consumo general T8 vs T12.

No obstante con todo los análisis anteriormente realizados, la utilización de las T-8, no solamente se mejoraría la eficiencia en la iluminación sino que disminuiría el consumo de energía, ahorrando aproximadamente \$350.000 pesos mensuales (Dependiendo del tiempo de encendido), lo cual es de suma importancia para la universidad, en el momento de empezar a disminuir en el pago de energía eléctrica.

II. ANALISIS DE CARGA Y CONSUMO ENERGETICO

La evaluación del consumo energético de la universidad se centrará en ver, como está el consumo de energía en las diferentes áreas que realmente se consideren tengan un consumo significativo de energía eléctrica, esto quiere decir, que se hará una valoración de cómo se encuentra el funcionamiento de estas áreas, mirando cada uno de los ítems a su haber, como son su consumo de energía activa, reactiva, además del factor de potencia de los mismos, de tal forma que se pueda establecer si realmente estamos operando dentro de los parámetros de operación, para un centro de educación.

Además, se hará un estudio a la subestación de la universidad, con el fin de observar el estado actual de las variables como por ejemplo, el factor de potencia, y estudiar las posibilidades de realizar una corrección del mismo, el estado actual de la repartición de carga en cada uno de los transformadores que conforman la subestación.

Haciendo un recorrido en las instalaciones de la Universidad (campus Ternera), se estableció que la universidad centra su mayor consumo energético en aire acondicionado, ya que maquinas eléctricas como tal, no se tienen. Inicialmente y antes de observar los datos recolectados en los diferentes lugares, como son, los edificios A1, A2 entre otros considerados, cargas de gran consumo, se explicará un poco la importancia de mantener un buen factor de potencia, ¿qué es?, cuáles son sus desventajas, y otros aspectos importantes a tener en cuenta, con el objetivo de tener claro las implicaciones que genera tener un bajo factor de potencia, cabe destacar que normalmente debería estar entre 0.9 y 0.95, y se plantearan las diferentes formas de corregir este y varios problemas que se puedan encontrar dentro de análisis de carga.

2.1 Factor de Potencia

El factor de potencia es el nombre dado a la relación de la potencia activa (expresada en kW) usada en un circuito, y la potencia que aparentemente (expresada en kV.A) que se obtiene de las líneas de alimentación.

El factor de potencia también es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, este puede tomar valores entre 0 y 1, y dependiendo de este se dice si es malo, bueno o excelente como lo se observa en la figura 62.



Figura 62. Intervalo factor de potencia

Por ejemplo, si el factor de potencia es 0.95, indica, que el total de la energía abastecida sólo el 95 % de la energía es utilizada por el cliente, mientras que el 5 % restante, es energía desaprovechada. En los artefactos tales como lámparas incandescentes (bombillas), planchas, estufas eléctricas entre otros, toda la energía que se requiere para su funcionamiento se transforma en energía lumínica o energía calórica, en estos casos el factor de potencia toma valor 1 (100 % energía activa). En otros artefactos, por ejemplo motores y transformadores de corriente alterna, equipos de aire acondicionado, ventiladores y todos aquellos que poseen un motor para su funcionamiento, como también los tubos fluorescentes, tiene una propiedad conocida como inductancia y consumen menos potencia activa, una parte de la energía se transforma en energía mecánica, frío, luz o movimiento (energía activa), y la parte restante requiere otro tipo de energía, llamada *energía reactiva*, que es necesaria para su propio funcionamiento. En estos casos, el factor de potencia toma valores menores a 1.

Un apoderado que influye es el hecho de transportar una energía mayor a la que realmente se consume, este impone la necesidad a conductores, transformadores y demás dispositivos que participan en el suministro de esta energía sean más robustos, por lo que se eleva el costo del sistema.

Resumiendo, la energía que se transforma en trabajo, se la denomina *Energía Activa* (P- kW), mientras que la usada por el artefacto eléctrico para su propio funcionamiento, se la llama *Energía Reactiva* (Q - kVAr), la resultante de estas dos da como resultado la energía total *Energía Aparente* (S - kV.A).

Las tres potencias pueden representarse como lo indica la figura 63 y se relacionan a través de la siguiente ecuación:

$$FP = \left(\frac{P}{S}\right) = \cos(\varphi) \quad Ecu[1]$$

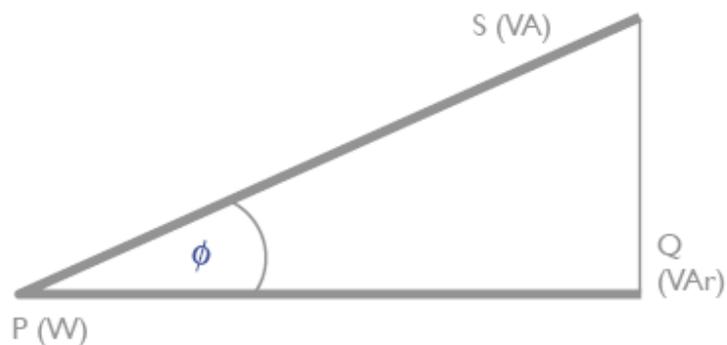


Figura 63. Triangulo de potencia

2.1.1 Causas del bajo factor de potencia

El consumo de energía reactiva varía según los receptores. Las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, son los que originan un bajo factor de potencia en los sistemas, ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica, en este tipo de equipos el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca al final un bajo factor de potencia. Los motores consumen entre el 65 al 75% de energía reactiva (Q) en relación a la energía activa (P).

Los transformadores, consumen entre el 5 al 10% de energía reactiva (Q) en relación a la energía activa (P).

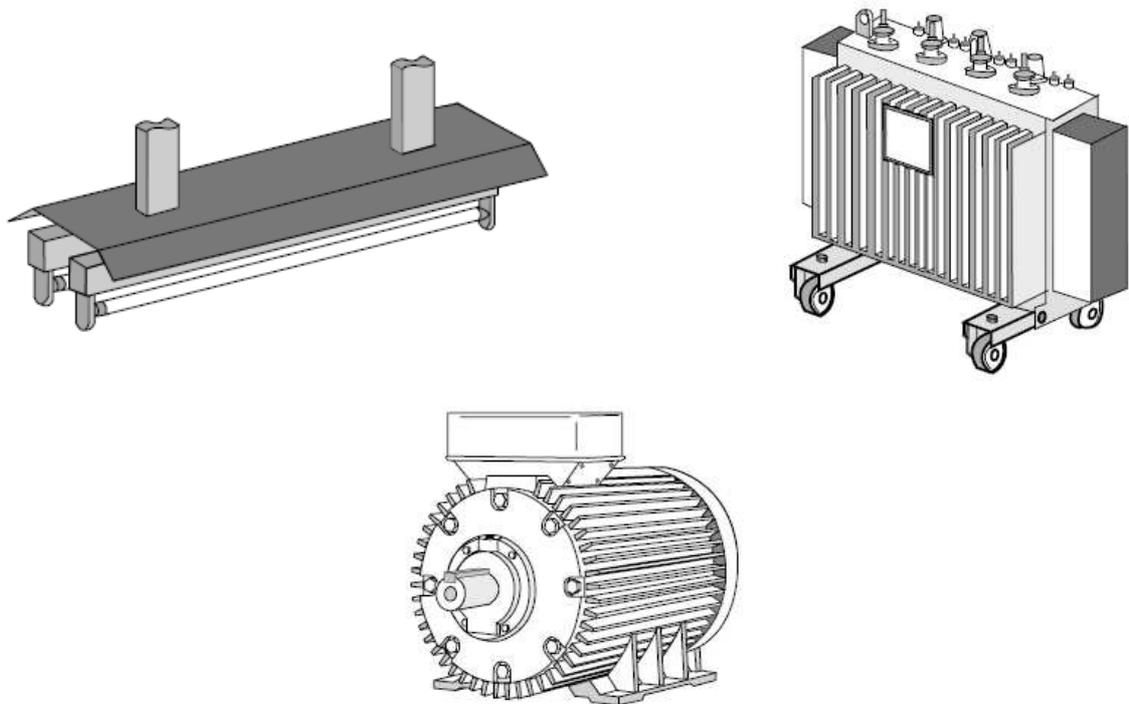


Figura 64. Elementos consumidores de energía reactiva.

2.1.2 Inconvenientes de tener un bajo factor de potencia

Tener un bajo factor de potencia quiere decir, que se tiene una eficiencia eléctrica mala, esto siempre es costoso, ya que el consumo de potencia activa es menor que el producto voltio por amperio. El circuito eléctrico percibe los voltios-amperios, pero la carga eléctrica consume vatios, esto da la indicación de que el sistema está requiriendo corriente extra de las líneas de alimentación, lo que es causa del aumento del voltio-amperio sobre los vatios, lo anterior produce en el sistema lo siguiente:

- ✓ Provoca daños por efecto de sobrecargas, saturándolas. Debido a que un exceso de corriente producida por el bajo factor de potencia, ocasiona que transformadores, líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga, reduciendo su vida útil, ya que

estos equipos se diseñan para un cierto valor de corriente y deben operar sin que éste se rebase, evitando posibles daños.

- ✓ Aumentan las pérdidas por efecto joule: La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión I^2R donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos obtenidas en bobinados de generadores, transformadores, conductores, etc. Estas pérdidas se manifiestan en:
 - Calentamiento de cables
 - Calentamiento de bobinados de los transformadores, disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.
 - Deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que además de reducir la vida útil de los equipos puede producir cortos circuitos.

- ✓ Aumenta la potencia aparente entregada por el transformador para igual potencia activa utilizada.
- ✓ Produce alteraciones en las regulaciones de la calidad técnica del suministro (variaciones de tensión), con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los artefactos y quita capacidad suficiente de respuesta de los controles de seguridad como ser interruptores, fusibles, etc.
- ✓ Aumento de la caída de tensión. La circulación de corriente por los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por los cables, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones de origen y la que llega a los equipos, resultando insuficiente el suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida.
- ✓ Incremento en la facturación eléctrica. El bajo factor de potencia implica pérdidas de energía en la red eléctrica, el generador y distribuidor de la energía se ven en la necesidad de penalizar al usuario haciendo que paguen más en el consumo de su energía eléctrica.

En Colombia, el CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) ha emitido una serie de resoluciones con las que se regula el factor de potencia en el servicio de energía

eléctrica. Particularmente la resolución 047 artículo 25 de 2004 especifica lo siguiente con fines de facturación:

“Artículo 25. Control al factor de potencia en el servicio de energía eléctrica. En la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, se controlará el consumo de energía reactiva de los suscriptores o usuarios finales, y se liquidará y cobrará exclusivamente de la forma establecida en el artículo 11 de la Resolución CREG-082 de 2002.

Parágrafo 1º. El factor de potencia inductiva (coseno phi inductivo) de las instalaciones deberá ser igual o superior a punto noventa (0.90). El operador de Red podrá exigir a aquellas instalaciones cuyo factor de potencia inductivo viole este límite, que instalen equipos apropiados para controlar y medir la energía reactiva.

Parágrafo 2º. Para efectos de lo establecido en el parágrafo anterior, la exigencia podrá hacerse en el momento de aprobar la conexión al servicio, o como consecuencia de una revisión de la instalación del usuario.”.

Por esto y todo lo anterior es importante mantener un factor de potencia alto, esto es mantenerlo dentro de 0.90 a 0.95, lo cual es lo recomendado, ya que esto permite optimizar técnico y económicamente una instalación.

2.1.3 Elementos de corrección del factor de potencia

La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir o aun eliminar el consumo de energía reactiva de la factura de energía eléctrica. Para lograr esto es necesario distribuir las unidades capacitivas, dependiendo de su utilización, en el caso del consumidor. Existen varios métodos para corregir o mejorar el factor de potencia del sistema, entre los que se destacan la instalación de capacitores eléctricos o bien la utilización de motores síncronos que finalmente operan como capacitores. Mejorar el factor de potencia de una instalación consiste en instalar un condensador, fuente de energía reactiva. Esto se llama compensar la instalación. En principio, la compensación ideal es la que permite producir energía reactiva en el lugar mismo donde se consume y en una cantidad que se ajusta a la demanda. Unos criterios técnico-económicos determinan su elección.

La figura 65, ilustra el principio de compensación de la potencia reactiva Q de una instalación a un valor más bajo Q' mediante la instalación de una batería de condensadores de potencia Q_c . Al mismo tiempo, la potencia aparente pasa de S a S' .

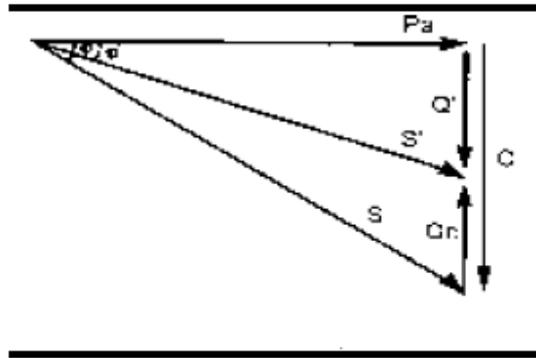


Figura 65. Compensación De Reactivo

a) Condensadores de reactivos

Inicialmente la compensación de reactivos se puede hacer a través de condensadores fijos, estos se utilizan generalmente cuando se desea suministrar una cantidad de reactivo fija, es decir, cuando se sabe que la carga va a estar trabajando constantemente. Estos condensadores son de una potencia unitaria fija y constante.



Figura 66. Ejemplo de condensadores fijos.

La compensación de reactivos también se puede hacer a través de bancos condensadores con regulación automática, estos son los más utilizados, se ponen en práctica cuando la cantidad de reactivos a suministrar debe variar dependiendo a lo requerido (carga).



Figura 67. Ejemplo de condensadores con regulación automática.

b) Compensación con motores síncronos (Condensadores síncronos)

Como se mencionó, los motores síncronos también son utilizados para compensar reactivos, esa es una de las ventajas de estas maquinas, ya que pueden operar con factores de potencia unitario o en adelanto. Esta característica hace que cuando opere con cargas inductivas (factor de potencia en atraso), la potencia reactiva suministrada por el motor síncrono a factor de potencia en adelanto, compense el factor de potencia en atraso de las cargas inductivas, mejorando de esta forma el factor de potencia del sistema.

Esta forma de compensación normalmente se utiliza en instalaciones industriales en donde por el uso de motores trifásicos de inducción, resulta ventajosa su utilización, aun cuando el motor síncrono no accione ninguna carga, para otras instalaciones es más beneficioso utilizar bancos de condensadores, ya que es mucho más barato y no utiliza mucho espacio. Los motores síncronos son muy costosos y sus pérdidas son considerables.

Para realizar la compensación se requiere que el motor opere en vacío y de manera sobreexcitada, esto es que la corriente adelante a la tensión 90° eléctricos, de esta manera

se dice que el motor flota sobre la línea de alimentación al no tener carga mecánica y entonces opera como un capacitor.

2.1.4 Tipos de Compensación

La compensación a través de condensadores se puede hacer en diferentes puntos dentro del sistema, la localización de los condensadores BT en una red eléctrica constituye lo que se denomina el modo de compensación. La compensación de una instalación puede realizarse de distintas maneras.

- Compensación individual en motores
- Compensación por grupo de cargas
- Compensación centralizada

Estas instalaciones se observan en la figura 68:

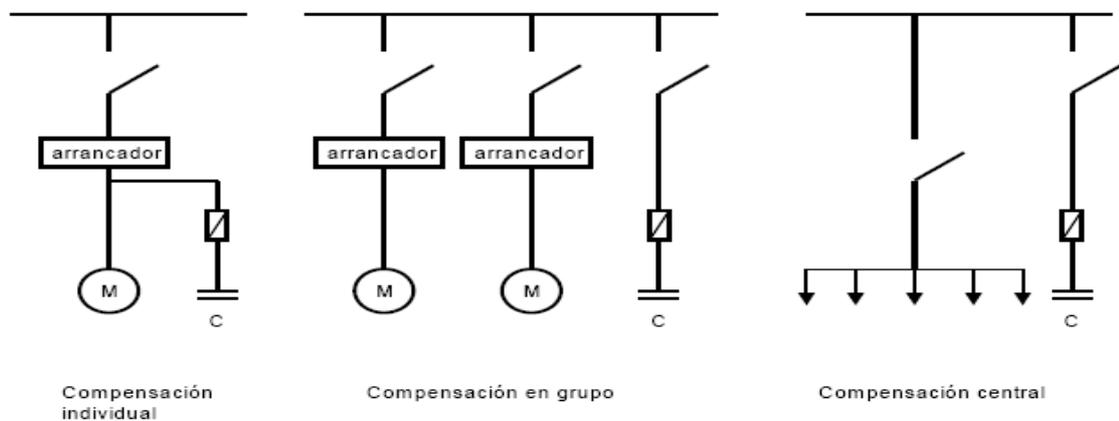


Figura 68. Tipos de instalaciones para corregir el F.P

a) Compensación individual

Este tipo de compensación indica, que cada consumidor de carga inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. Esta técnica es empleada

en equipos que poseen una operación continua y cuyo consumo de energía reactiva es representativo. Esta compensación se puede hacer a través de dos métodos:

i) Compensación individual en motores eléctricos

Este es el método más efectivo, ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, de manera que la potencia reactiva circule únicamente por los conductores cortos entre el motor y el capacitor, esta compensación tiene las siguientes ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.
- El arrancador para el motor también puede servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control del capacitor solo.
- Los capacitores son puestos en servicio solo cuando el motor este trabajando.
- Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva.
- Reduce el dimensionamiento de los cables y las pérdidas por efecto Joule.

Más sin embargo este método también tiene sus desventajas:

- El costo de capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente en el sistema.
- Puede existir subutilización para aquellos capacitores que no se utilizan con frecuencia.

Para no incurrir en una sobre compensación en la carga inductiva que provoque alteraciones en los voltajes que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de capacitores deberá limitarse al 90% de la potencia reactiva del motor en vacío.

En la figura 82, se puede observar un ejemplo de compensación individual, en donde la corriente reactiva ya no está presente en los cables de la instalación.

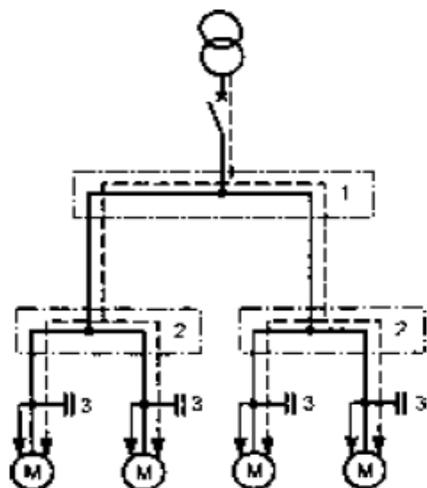


Figura 69. Compensación individual.

ii) Compensación individual en transformadores de distribución

Este método consiste en calcular la potencia reactiva de los capacitores para compensar la potencia reactiva absorbida por el transformador en vacío, la cual es del orden del 5% al 10% de su potencia nominal.

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, con el fin de evitar fenómenos de resonancia y sobre tensión en vacío, la potencia total del banco de capacitores no debe exceder del 10% de la potencia nominal (en V.A) del transformador.

b) Compensación en grupo

Este método es aconsejable cuando hay la necesidad de compensar un grupo de cargas inductivas que se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante o bien cuando se tiene diferentes grupos de cargas situados en puntos distintos, este tipo de compensación es aconsejable cuando la distribución de cargas es muy desequilibrada y de un cuadro de distribución depende una carga importante, esta compensación tiene las siguientes ventajas:

- Se forman grupos de cargas de diferente potencia pero con un tiempo de operación parecido, esto para que la compensación se realice con un banco de capacitores común con su propio interruptor.
- El banco puede ser instalado en el centro de control de motores, este banco solo se utiliza mientras las cargas están en uso.
- Se reducen los costos de inversión para la adquisición de bancos de capacitores, esto con relación al método individual.
- Se descarga de potencia reactiva (menor corriente) a través de las diferentes líneas de distribución.

La principal desventaja de este método se presenta en las líneas de alimentación principal ya que la sobrecarga de potencia reactiva no se reduce, es decir, seguirá circulando energía reactiva desde la unidad de control de motores y los motores.

En la figura 70, se observa un ejemplo de una compensación en grupo, en la cual se optimiza parte de la red ya que la corriente reactiva no circula entre los niveles 1 y 2.

Es importante mencionar que la corriente reactiva está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores, además existe un riesgo de sobre compensación como consecuencia de variaciones de carga importantes (este riesgo se elimina con la compensación automática).

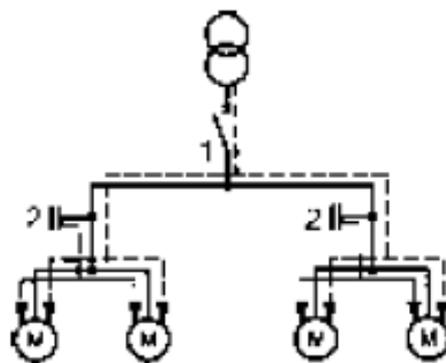


Figura 70. Compensación grupal.

c) Compensación central con banco automático

Esta compensación ofrece una solución general para la corrección del factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales suministran la potencia reactiva demandada por diferentes equipos con diferentes potencias y tiempo de operación.

Cuando la carga es estable y continua, conviene una compensación global o centralizada. La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva que conecta y desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador. Ventajas de la compensación centralizada:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.
- Mejor regulación de tensión en el sistema eléctrico.
- Se suministra la potencia reactiva de acuerdo al requerimiento del momento.
- Es de fácil supervisión.
- Disminuye la potencia aparente (o de aplicación) ajustándola a la necesidad real de kW de la instalación.

Su principal desventaja es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además se requiere de un regulador automático en el banco de capacitores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades de cada momento.

En la figura 71, se observa un ejemplo de una compensación centralizada, en la cual la corriente reactiva está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores. Las pérdidas por efecto Joule en los cables situados desde el nivel 1 y su dimensionamiento no disminuyen.

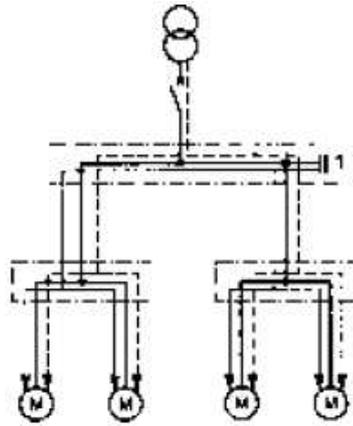


Figura 71. Compensación centralizada o global

2.2 Calculo del Nivel de Compensación en Energía Reactiva

Primero que todo se debe entender en qué consiste la compensación, si seleccionamos la magnitud de la capacitancia en caso de conexión en paralelo entre una capacitancia y una inductancia, es posible disminuir el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente. Esto se logra cuando la corriente reactiva de la inductancia está en atraso 90° eléctricos, con respecto a la tensión y la corriente reactiva de la capacitancia se encuentra 90° eléctricos, adelantada con respecto a la tensión, luego, los 2 vectores (inductancia y capacitancia), estarían entre sí desfasados 180° , lo que significa que están en oposición y que dependiendo de la magnitud de cada uno se lograrían eventualmente anular, reduciendo así el ángulo de desfase a cero, por consiguiente la corriente que fluye por el sector común del circuito tendrá magnitud mínima y estará en fase con la tensión de la red. A esto es a lo que se le denomina compensación de desfase.

¿Hasta dónde es recomendable reducir el ángulo Φ de desfase?, prácticamente y por consideraciones económicas conviene tener un coseno de Φ entre 0.9 – 0.95, es decir no conviene reducir el ángulo Φ hasta cero, ya que de todas maneras, las cargas inductivas necesitan un mínimo de corriente reactiva para su funcionamiento.

Ahora si veamos cómo se calcula la capacidad de los condensadores que hace falta conectar en paralelo a la carga inductiva, para llevar el factor de potencia al valor deseado.

Nosotros podemos calcular el valor de potencia reactiva del capacitor que se necesita conectar en paralelo, Para explicar esto, analicemos la Figura 72:

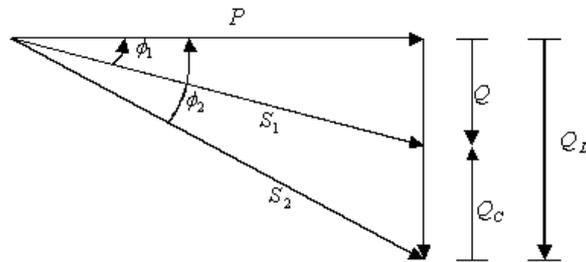


Figura 72. Representación gráfica de la compensación del factor de potencia.

Donde:

- Q_L es la demanda de reactivos de un motor y S_2 la potencia aparente correspondiente.
- Q_C es el suministro de reactivos del capacitor de compensación.
- La compensación de reactivos no afecta el consumo de potencia activa, por lo que P es constante.

Como efecto del empleo de los capacitores, el valor del ángulo ϕ_2 se reduce a ϕ_1 , del mismo modo, la potencia aparente S_2 también disminuye, tomando el valor de S_1 . Finalmente, al disminuir la demanda de reactivos, se incrementa el factor de potencia ($\text{Cos } \phi_1 > \text{Cos } \phi_2$).

La potencia reactiva del capacitor es: $Q_C = Q_L - Q$ *Ecu[2]*

Del triángulo de potencias, $Q = P \text{Tan}(\phi)$ *Ecu[3]*

Sustituyendo en la segunda ecuación: $Q_C = P(\text{Tan}_{\phi_2} - \text{Tan}_{\phi_1})$ *Ecu[4]*

Por facilidad, el término $(\text{Tan}_{\phi_2} - \text{Tan}_{\phi_1})$ se sustituye por un valor “K” la cual puede presentarse en tablas para diferentes valores de factor de potencia (tabla 29) el cual representa el valor que se debe multiplicar para obtener los kVAr a instalar por kW de carga para aumentar el factor de potencia ($\text{cos } \phi$) o la $\text{tan } \phi$ a un valor dado. Por lo que la formula queda de la siguiente manera:

$$Q_c(kVAr) = P(kW) \times K \quad Ecu[5]$$

Factor o constante “K” que sustituye al término $(Tan_{\phi_2} - Tan_{\phi_1})$.

Antes de la compensación		Potencia del condensador en kVAr a instalar por kW de carga para aumentar el factor de potencia (cos ϕ) o la tg ϕ a un valor dado.													
tg ϕ	cos ϕ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0	
tg ϕ	cos ϕ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	
2,29	0,40	1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288	
2,22	0,41	1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225	
2,16	0,42	1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164	
2,10	0,43	1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107	
2,04	0,44	1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041	
1,98	0,45	1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988	
1,93	0,46	1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929	
1,88	0,47	1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881	
1,83	0,48	1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826	
1,78	0,49	1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782	
1,73	0,50	0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732	
1,69	0,51	0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686	
1,64	0,52	0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644	
1,60	0,53	0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600	
1,56	0,54	0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559	
1,52	0,55	0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519	
1,48	0,56	0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480	
1,44	0,57	0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442	
1,40	0,58	0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,078	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405	
1,37	0,59	0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368	
1,33	0,60	0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334	
1,30	0,61	0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299	
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265	
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233	
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200	
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169	
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138	
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108	
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079	
1,05	0,69	0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,901	1,049	
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020	
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992	
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963	
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936	
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909	
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882	
0,86	0,76	0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855	
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829	
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803	
0,78	0,79	0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776	
0,75	0,80	–	0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750	
0,72	0,81	–	0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724	
0,70	0,82	–	0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,898	
0,67	0,83	–	0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672	
0,65	0,84	–	0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645	
0,62	0,85	–	0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620	
0,59	0,86	–	–	0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593	
0,57	0,87	–	–	0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567	
0,54	0,88	–	–	0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538	
0,51	0,89	–	–	0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512	
0,48	0,90	–	–	–	0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484	

Tabla 29. kVAr a instalar por kW para aumentar el factor de potencia.

Si se desea saber cuál es el valor en faradios del banco de capacitores, este se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P}{\omega \times U^2} (Tg\varphi_2 - Tg\varphi_1) \quad Ecu[6]$$

O de la forma

$$C = \frac{P}{\omega \times U^2} (K) \quad Ecu[7]$$

Donde:

$$\omega = 2\pi f$$

U: Tensión

P: Potencia en vatios

C: capacitancia en faradios

Ejemplo:

Determinar la potencia reactiva necesaria para elevar el factor de potencia actual de 0.8 a 0.95 si la potencia promedio de los motores es de 2500 kW a 440 voltios.

- Localice el factor de potencia inicial 0.8
- Localice el factor de potencia deseado 0.95
- Localice el valor K donde se interceptan el factor de potencia inicial y el deseado
- $K = 0.421$
- Determine la potencia reactiva en kVAr

Aplicando la ecuación 5

$$Q_C (kVAr) = 2500 \times 0.421 = 1052.5 \text{ kVAr}$$

Buscar en listas de capacitores comerciales, el número de capacitores con determinadas potencias para que en conjunto, puedan suministrar los 1052.5 kVAr requeridos.

Si queremos obtener la capacitancia en faradios, aplicamos la ecuación 7:

$$C = \frac{2500kW}{2\pi * 60hz * 440V^2} (0.421) = 0.01442 \text{ faradios}$$

2.3 Compensación en los Bornes de un Transformador

La potencia activa disponible en el secundario de un transformador es más elevada cuanto mayor es el factor de potencia de la instalación. Es interesante este fenómeno, puesto que puede darse el caso que para una pequeña ampliación no sea necesario cambiar el transformador, sólo mejorar el factor de potencia.

En la siguiente tabla se observa los valores de potencia de un transformador a plena carga en función de su factor de potencia, y, por lo tanto, por diferencia, el aumento de potencia disponible en caso de modificación del factor de potencia.

Potencia aparente y activa (en función del factor de potencia) de los transformadores usuales en el mercado													
tg φ	cos φ	Potencia aparente nominal del transformador (kVA)											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000
0,00	1	100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000
0,20	0,98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1.225	1.568	1.960
0,29	0,96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1.200	1.536	1.920
0,36	0,94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1.175	1.504	1.880
0,43	0,92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	1.150	1.472	1.840
0,48	0,90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1.125	1.440	1.800
0,54	0,88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1.100	1.408	1.760
0,59	0,86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1.075	1.376	1.720
0,65	0,84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1.050	1.344	1.680
0,70	0,82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1.025	1.312	1.640
0,75	0,80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1.000	1.280	1.600
0,80	0,78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1.248	1.560
0,86	0,76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1.216	1.520
0,91	0,74	74	118	185	233	296	370	466	592	740	925	1.184	1.480
0,96	0,72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1.152	1.440
1,02	0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1.120	1.400

Tabla 30. Potencia activa en kW que puede suministrar un transformador a plena carga en función del factor de potencia.

Ejemplo:

Una instalación es alimentada por un transformador de:

Potencia de 630 kV.A

La potencia activa necesaria por la carga es $P_1 = 450$ kW.

Factor de potencia medio de la carga es de $\cos \Phi = 0,8$.

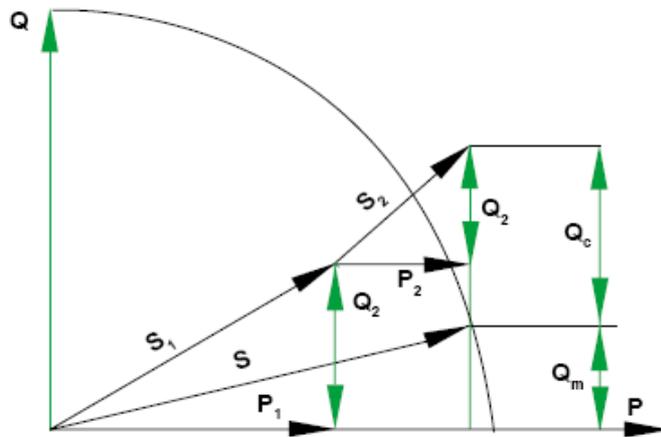


Figura 73. La compensación Q permite la ampliación contemplada S2 sin tener que sustituir el transformador que puede suministrar una potencia superior a S.

La potencia aparente que necesita la carga será: $S_1 = \frac{450}{0.8} = 562.5kV.A$

La potencia reactiva de esta carga será: $Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = 337kVAr$

Una ampliación de la industria necesita una:

Potencia activa de $P_2 = 100$ kW.

Factor de potencia $\cos \Phi = 0,7$.

La potencia aparente de la ampliación será: $S_2 = \frac{100}{0.7} = 143kV.A$

La potencia reactiva de la ampliación será: $Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P_2^2} = 102kVAr$

La potencia aparente instalada y la potencia aparente de la ampliación son:

$$S_T = S_1 + S_2 = 705kV.A$$

La cual es superior a la potencia del transformador, por lo que cualquier persona diría que la solución sería comprar otro transformador de 100kV.A, para suplir la necesidad dando como resultado que: 630kV.A+100kV.A = 730kV.A.

La potencia activa total necesaria será:

$$P_T = P_1 + P_2 = 550kW$$

¿Cuál será la potencia de la batería de condensadores necesaria para que la potencia aparente del transformador pueda suministrar la potencia activa de la instalación actual más la de la ampliación?

Para que con la potencia del transformador pueda suministrar, la potencia activa de la instalación existente más la de la ampliación se ha de limitar la potencia reactiva a un máximo.

El máximo posible será:

$$Q_{max} = \sqrt{S^2 - P_T^2} = 307kVAr$$

La potencia reactiva que necesita la instalación más la ampliación es:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 = 439kVAr$$

Si la que necesita la instalación es de 439 kVAr y la máxima que puede suministrar el transformador es de 307 kVAr, el resto lo debemos suministrar con una batería de condensadores:

$$Q_C = Q_T - Q_{Max} = 132kVAr$$

Tal y como se observa no fue necesario la compra de una nuevo transformador, para poder suministrar esa potencia, solo basto con compensar a través de un banco de capacitores los kVAr necesarios para la ampliación de carga.

2.4 Compensación de la Energía Reactiva de un Transformador

Los transformadores necesitan energía reactiva para su propio funcionamiento. Su valor varía en función de su carga. La energía reactiva que consume un transformador no es despreciable (del orden del 5%), en vacío absorbe energía reactiva para sostener el flujo magnético en el hierro y con carga absorbe energía reactiva para sostener el flujo magnético de dispersión; esta energía reactiva puede ser suministrada por una batería de condensadores.

Dado que el transformador está conectado durante largos períodos de tiempo, el impacto económico de la reactiva no es despreciable.

La tabla 31, muestra la energía reactiva absorbida por un transformador en vacío y a plena carga. La compensación de la energía reactiva se realiza instalando en los bornes del secundario un condensador fijo de potencia adecuado a la de la tabla. Se deberá verificar que la suma de todos los condensadores fijos no supere el 15% de la potencia del transformador.

Potencia kVA	Potencia reactiva a compensar	
	en vacío kVAr	a plena carga kVAr
100	2,5	6,1
160	3,7	9,6
250	5,3	14,7
315	6,3	18,4
400	7,6	22,9
500	9,5	28,7
630	11,3	35,7
800	20	54,5
1000	23,9	72,4
1250	27,4	94,5
1600	31,9	126,2
2000	37,8	176
2500	44,8	230
3150	53,3	303

Tabla 31. Consumo de potencia reactiva para transformadores de distribución de $V_1 = 20$ kV.

2.5 Carga Instalada

En la recolección de datos se obtuvo la carga instalada en lo que se refiere a iluminación, computadores, ventiladores y aires acondicionados por edificios en la Universidad, los cuales representan básicamente la carga instalada que maneja la universidad. Como se puede observar en la figura 75, la mayor carga instalada obedece a la carga de los aires acondicionados ya que ésta representa el 65% de la carga instalada.



Figura 74. Carga instalada por edificios.

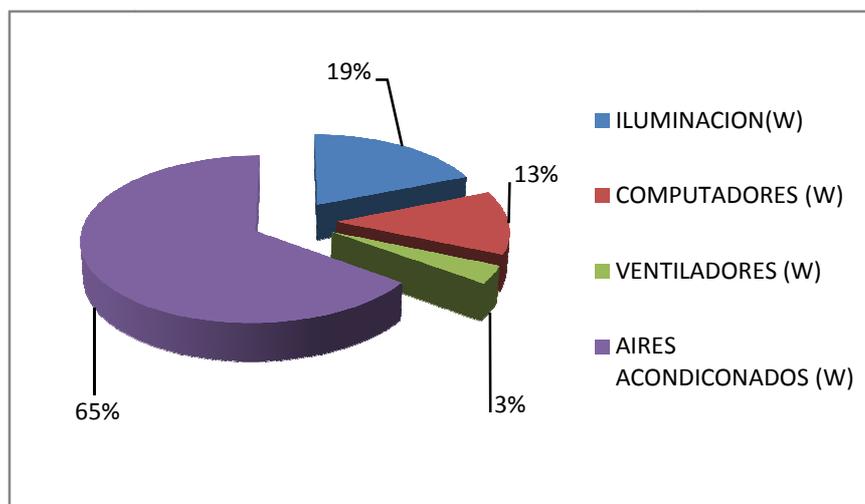


Figura 75. Porcentaje representativo de la carga instalada

	CARGA INSTALADA POR EDIFICIO				
EDIFICIO	ILUMINACION(W)	COMPUTADORES (W)	VENTILADORES (W)	AIRES ACONDICIONADOS (W)	TOTAL CARGA (W)
A1	17073	21642	5850	65663	110228
A2	25848	8110	5700	80458	120116
EDIF. ADMINISTRATIVO	4506	4625	1200	37980	48311
EDIF. RECTORIA	5286	3010	75	26800	35171
BIBLIOTECA	14942	4000	0	35448	54390
CAFETERIA Y LUGARES V.	8954	11456	1425	11525	33360
BIENESTAR U.	4089	1125	1050	20520	26784

Tabla 32. Carga instalada por edificios.

2.6 Análisis de Carga

Analizar el comportamiento de la carga instalada en la universidad, implica realizar una evaluación mediante un estudio técnico de las variables que este la conforman, determinando así, como se encuentra actualmente.

Inicialmente se hará la recolección de datos de los diferentes parámetros (I, V, P, S, Q y F.P), de los diferentes dispositivos que se consideren tengan un consumo de energía activa considerable, cabe destacar que en estas instalaciones no hay presencia de grandes maquinas eléctricas, la universidad basa su mayor consumo de energía en el sistema de aires acondicionados, es por esta razón que se realizarán las mediciones en estos sistemas llámense unidades condensadoras (compresor y motor), posteriormente se hará la recolección de datos de la subestación, se tomaran los diferentes parámetros para cada transformador con sus respectivo diagrama de carga.

La toma de datos se inicio básicamente en las condensadoras, es importante mencionar que están constituidas por un compresor y un motor ventilador. Para realizar las mediciones se utilizo un analizador de redes, cuyas especificaciones se pueden encontrar en la página web (http://www.extech.com/instrument/products/310_399/manuals/382095_UM.pdf). El objetivo es medir los diferentes parámetros tanto del compresor como del motor ventilador y de todo el conjunto para observar el funcionamiento de la maquina.



Figura 76. Mediciones compresor, motor ventilador.

En las anteriores figuras se observa la forma de como se llevaron a cabo las mediciones, en las cuales se medían las tensiones a la entrada y las corrientes, tanto del compresor como del motor ventilador y a través de una pinza amperimetrica.

La toma de datos se inició, en la biblioteca, donde se encuentran 10 unidades condensadoras y 5 manejadoras, tal como se observa en la figura 77.

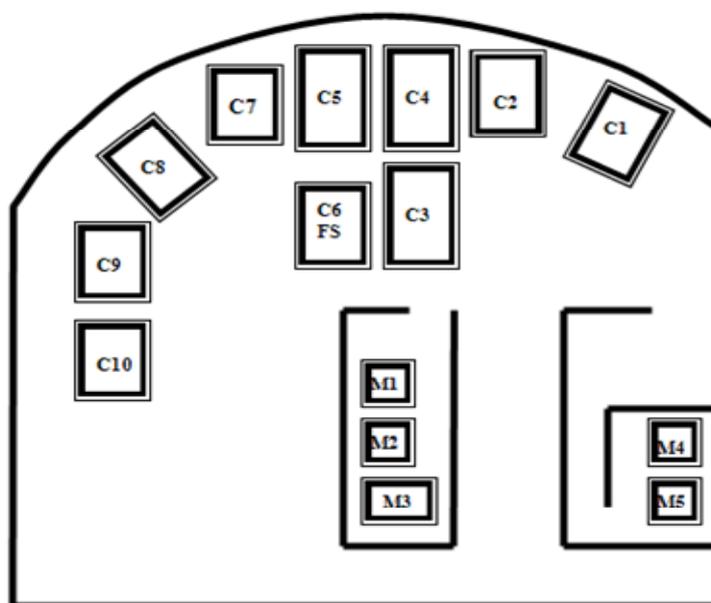


Figura 77. Esquema de ubicación parte de atrás Biblioteca.

A continuación, observamos los datos de placa de la unidad condensadora C1.

DATOS DE PLACA DE LA UNIDAD CONDENSADORA					
GENERAL					
VOLT:	208/230	PH:	1	HZ:	60
RANGO DE VOLT:	MIN	197	MAX	253	
AMPERAJE DE CIRCUITO MIN:	23.3	AMPERAJE MAX DE FUSIBLE:	40		
CARGA DE FABRICA:	85 OZ DE R22				
PRESIÓN DE DISEÑO (PSIG):	BAJA	150	ALTA	300	
COMPRESOR					
AMPERAJE DE CARGA NOMINAL: RLA	17.6	AMPERAJE DE ROTOR BLOQUEADO: LRA	87		
PRESIÓN MAXIMA DE TRABAJO:	400				
MOTOR VENTILADOR					
AMPERAJE A PLENA CARGA: FLA	1.3	HP:	1/6		

Para esta unidad condensadora de 3 toneladas, se recopiló la información mostrada en la tabla 33, cabe destacar que las mediciones se realizaron por separado tanto del compresor como del motor ventilador, pero estas no fueron relevantes, por lo que se optó por mostrar el resultado total de la medición, es decir, mostrar la medición conjunta de los dos.

V1	I1	W_SYS	VA_SYS	VAR_SYS	PF_SYS
213,6	12,98	2,77	2,76	0	1
213,5	12,99	2,77	2,76	0	1
213,5	12,98	2,76	2,76	-0,23	1
213,5	13,08	2,78	2,78	-0,23	1
213,6	13	2,77	2,76	0	1
213,6	13,04	2,78	2,78	0	1
213,7	13,03	2,78	2,78	0	1
213,8	12,98	2,77	2,76	0	1
213,8	12,95	2,76	2,76	0	1
213,4	12,98	2,76	2,76	0	1
213,4	12,97	2,76	2,76	0	1
213,5	12,98	2,76	2,76	-0,23	1
213,3	12,98	2,76	2,76	0	1
213,4	12,97	2,76	2,76	0	1
213,4	12,96	2,76	2,76	0	1
213,2	12,97	2,76	2,76	0	1
213,4	12,96	2,76	2,76	0	1
213,4	12,95	2,76	2,76	0	1
213,4	12,95	2,75	2,75	-0,23	1
213,5	12,98	2,76	2,76	-0,23	1
213,5	12,97	2,76	2,76	0	1
213,5	12,98	2,76	2,76	-0,23	1
213,6	12,94	2,76	2,76	0	1
213,6	12,99	2,77	2,76	0	1
213,6	12,99	2,77	2,76	0	1
213,6	12,98	2,77	2,76	0	1
213,6	13,02	2,77	2,77	-0,23	1
213,6	13,02	2,77	2,77	-0,23	1
213,6	13,03	2,77	2,77	-0,23	1
213,6	13,05	2,78	2,78	0	1
213,5	13,06	2,78	2,78	0	1
213,5	13,06	2,78	2,78	0	1
213,4	13,08	2,78	2,78	-0,23	1
213,3	13,09	2,78	2,78	-0,23	1
213,4	13,15	2,8	2,8	0	1
213,4	13,16	2,8	2,8	0	1

Tabla 33. Datos unidad condensadora C1.

En la anterior tabla se observan los parámetros más relevantes con relación al comportamiento de la maquina (tensión, corriente, potencia activa, aparente y reactiva, factor de potencia), que con relación a los datos de placa, estos no están muy lejos de sus

parámetros de funcionamiento, a demás su factor de potencia es casi ideal, por lo cual esta no consume un valor elevado de reactivos.

No solo se tomaron datos de esta condensadora sino de todas las demás, que se observan en el esquema de ubicación (Figura 77), con el fin de tener un muestreo de cada una de ellas pues cabe la posibilidad de que individualmente la operación de estas no fuese la más adecuada. Como se puede observar las mediciones arrojaron resultados satisfactorios, ya que su consumo está dentro de los parámetros nominales, además se puede observar que su consumo de reactivo es muy pequeño, manteniendo de este modo un factor de potencia muy bueno entre 0.9 – 1.0 aproximadamente. Con lo anterior se buscaba ver como era el funcionamiento de estas maquinas y por los datos medidos podemos observar que están trabajando de una muy buena manera, no necesitan ninguna corrección de reactivos, ni de manera individual ni de manera grupal. No solo se hicieron las mediciones de estas unidades condensadoras sino que además se hicieron mediciones de la gran mayoría de estas unidades que se encuentran en la sede de ternera, arrojando resultados similares a los antes vistos.

De forma paralela a estas mediciones, se realizo la recopilación de datos en la subestación de la universidad, básicamente lo que se hizo fue conectar el analizador de redes en cada uno de los tableros de los transformadores que conforman la subestación por un periodo de dos semanas, para recopilar información de variables como: tensión, corrientes, potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia, que cada transformador suministra, además de esta información, la implementación de un diagrama de cargas en el cual se observará durante un día como es el consumo de potencia para cada transformador.

Estas mediciones se hicieron, con la finalidad de observar principalmente el comportamiento del el factor de potencia, deduciendo así, si es necesario realizar una corrección centralizada, la cual ya fue explicada con anteriormente, además de tener claridad acerca de si es conveniente un aumento en la carga instalada, para esto se analizara si los transformadores pueden suministrar más potencia o si por el contrario se necesita ampliar la subestación para futura ampliación de carga.

Inicialmente es importante saber como esta organizada la subestación actualmente cuenta con 6 transformadores, hay 3 transformadores de 150kV.A, conectados en los tablero 1, (Ver Anexo H), el segundo esta conectado al tablero 2, y el tercero en el tablero 3, además de los anteriores también existe un transformador de 75kV.A, uno de 225kV.A y por ultimo existe otro que se encuentra en el edificio de bienestar estudiantil siendo de este 112kV.A. Esto quiere decir que la universidad cuenta con 862kV.A disponibles para su carga. En el anexo A, se puede observar el consumo de energía activa y energía reactiva medidos por el lado de alta 13.2kV obtenidos mediante el medidor Actaris SL 7000 instalado en la Universidad, es decir, como es el comportamiento durante todo un día en promedio, en el mes de Abril del 2008, allí se observa claramente que la universidad llega a consumir en promedio unos 450kW.

Además de todo lo anterior se quiso realizar estas mediciones, porque en las facturas de cobro energético, se penalizaba a la institución por consumo de energía reactiva, esto quiere decir, que en ciertos momentos del día es posible que el factor de potencia baje de los 0.9.

DETALLE DEL COBRO	
CONCEPTOS FACTURADOS	VALORES
GENERACION	11,141,427
COMERCIALIZACION	586,391
TRANSPORTE NACIONAL	2,592,919
TRANSPORTE REGIONAL	10,660,147
PENALIZACION ENERGIA REACTIVA	24,370
OTROS CARGOS REGULADOS	934,156
PERDIDAS RECONOCIDAS	1,049,665
Amort. Cuotas Conv. Pago	2,645,248
Int. Amort. Cuota Conv. Pago	212,218
Redondeo Facturaciones Anteriores	1
Aproximacion A Decenas Energia	5
Aproximacion A Decenas Cuota Acuer.	4

Figura 78. Recibo energía sede ternera Sep. - 07.

DETALLE DEL COBRO	
CONCEPTOS FACTURADOS	VALORES
GENERACION	11,216,142
COMERCIALIZACION	590,324
TRANSPORTE NACIONAL	2,558,097
TRANSPORTE REGIONAL	10,782,514
PENALIZACION ENERGIA REACTIVA	39,073
OTROS CARGOS REGULADOS	458,176
PERDIDAS RECONOCIDAS	1,052,714
Amort. Cuotas Conv. Pago	2,479,490
Int. Amort. Cuota Conv. Pago	177,976
Redondeo Facturaciones Anteriores	4
Aproximacion A Decenas Energia	-2
Aproximacion A Decenas Cuota Acuer.	4

Figura 79. Recibo energía sede ternera Oct. - 07.

MES	ENERGIA REACTIVA (kVAr/h)	COSTO (PESOS)
JUNIO (07)	43,399	4,907
JULIO (07)	48,155	4,621
AGOSTO (07)	62,983	20,375
SEPTIEMBRE (07)	64,985	24,371
OCTUBRE (07)	66,171	39,073
ENERO (08)	46,632	13,287
FEBRERO (08)	60,983	51,579
MARZO (08)	58,287	20,956
ABRIL (08)	84,879	81,157
MAYO (08)	73,238	48,371
JUNIO (08)	73,238	48,371

Tabla 34. Consumo de energía reactiva junio (07) - junio (08).

Tal como se puede observar en la anterior tabla, aun que los valores de cobros y de consumo no son alarmantes, hay que resaltar que la universidad va en constante ascenso, conjetura que se demuestra en los valores mostrados, indicando así, que en aproximadamente un año esta ha aumentado su consumo de reactiva un 68.75% y por ende lo que paga por penalización, y dentro de este lapso de tiempo solo se han hecho un par de construcciones que fueron el quinto piso del edificio A2 y la facultad de Ing. Industrial y si

se tiene en cuenta que la universidad piensa ampliar la sede, este factor se debe tener en cuenta.



Figura 80. Mediciones Tablero 2.

Iniciaremos nuestro análisis con las diferentes graficas arrojadas al final de las mediciones correspondientes al transformador de 150kV.A del tablero 2 (Ver graficas en Anexo B), en la grafica de tensiones podemos observar que durante el día la tensión se mantiene, no hay grandes caídas de esta y las que se presentan, son debidas al aumento de carga durante el transcurrir del día. Ahora en las graficas de corrientes podemos observar que entre las 9 am y las 5 pm, se mantiene el consumo, las cargas están consumiendo aproximadamente 330A, pero luego entre las 5 pm y las 7 Am del día siguiente baja considerablemente la carga, lo cual es normal ya que durante estas horas se comienzan a apagar la mayoría de equipos consumidores. Con relación a las graficas de potencia, observamos que las horas donde se demanda mayor consumo (9 am – 5 pm) este es aproximadamente de 102.15kW de potencia activa, 33.45kVAr de potencia reactiva y 107.46 kV.A de potencia aparente, lo que genera un factor de potencia promedio entre las horas mencionadas de 0.95 en atraso, ya que la tensión adelanta a la corriente, es decir, que la mayoría de carga que maneja la universidad es de carácter inductivo.



Figura 81. Curva tensión vs corriente tablero 2 - transformador 150kV.A

En la anterior figura se observa la curva corriente vs tensión que nos muestra el analizador, en la cual se observa claramente que la carga es de carácter inductivo, por lo que la tensión adelanta a la corriente.

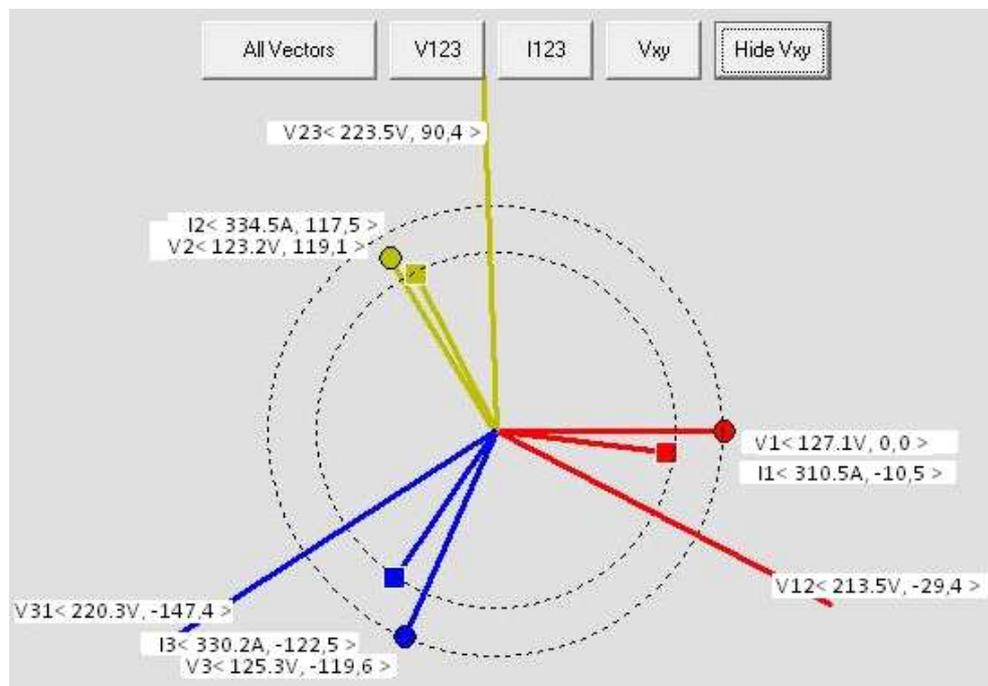


Figura 82. Diagrama fasorial tablero 2 - transformador 150kV.A

En la anterior grafica podemos observar el diagrama fasorial, vemos la secuencia de fases la cual es negativa, además esta figura permite confirmar que la tensión adelanta a la corriente.

Por otra parte, durante las 8 Pm y las 5 Am, se logra ver que la carga se comporta de manera capacitiva, es decir, la corriente adelanta a la tensión generando un factor de potencia en adelanto, esto se debe a que son horas de muy bajo consumo y no hay cargas significativas; además se puede dar la posibilidad de que algunas luminarias en mal estados o que prácticamente no funcionan, se encuentren en estado encendido, causando de esta manera que el capacitor que contienen los balastos, consuman reactivos provocando este comportamiento.

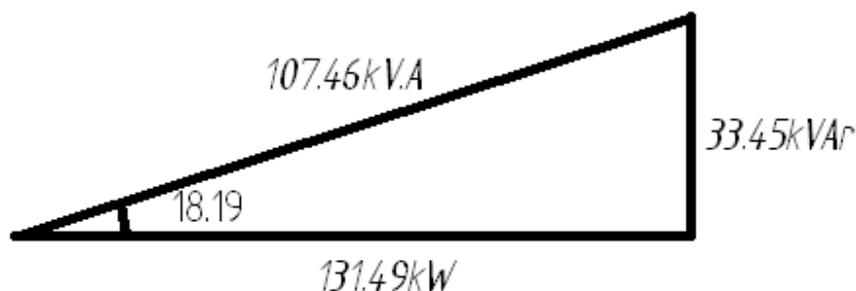


Figura 83. Triangulo de potencia tablero 2 (9 am - 5pm)

En la anterior figura, podemos observar el triangulo de potencia promedio del tablero 2 durante las horas de mayor consumo (9 am – 5 pm), en la cual podemos decir que todo esta dentro de lo normal, ya que el transformador puede suministrar 150kV.A y en realidad esta suministrando un valor de aproximadamente 107.46kV.A, es decir, que este puede incrementar su carga, en un caso de futuro donde se necesite un posible aumento de carga, conjuntamente dentro de este periodo de tiempo el factor de potencia oscila entre 0.9 y 0.96, manteniéndose dentro de lo normal.

Ahora analicemos detalladamente las graficas de factor de potencia, allí observaremos intervalos de tiempo en donde el factor de potencia baja, esto se presenta durante las horas en las que no hay casi cargas que consuman potencia, esto nos puede permite realizar una corrección del factor de potencia por intervalos de tiempo.

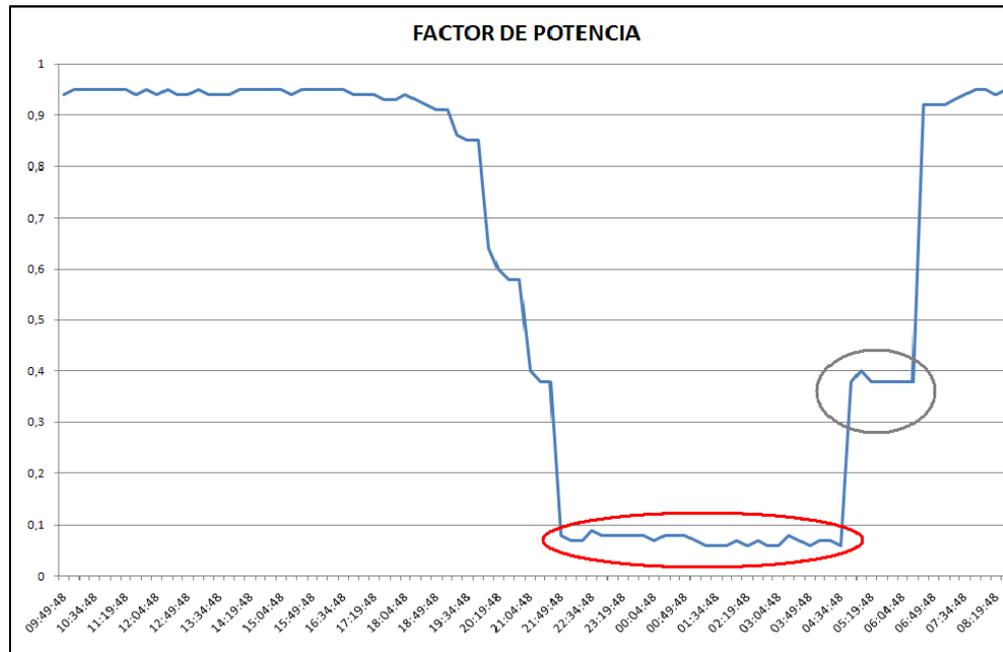


Figura 84. Factor de potencia tab2 transformador 150kV.A

Inicialmente observemos el factor de potencia entre las 22:34 Pm – 04:34 Am, mostrado en la figura 84 dentro de un circulo rojo, para ese periodo de tiempo el factor de potencia promedio es de 0.07 en adelanto, potencia reactiva de -12.048kVAr, potencia aparente de 12.050kV.A y potencia activa de 0.912kW.

Dado lo anterior se puede tratar de corregir el factor de potencia durante este intervalo de tiempo, llevándolo de 0.07 hasta 0.95, esto lo realizamos de la siguiente manera:

Utilizando la tabla 36, referente a los kVAr a instalar por kW para aumentar el factor de potencia, podemos calcular los kVAr que se le tiene que suministrar a la carga en este intervalo de tiempo (se realizara utilizando el procedimiento explicado a través de la tabla 29).

Dado que el valor mas bajo en la tabla 29 es 0.4, tomaremos el valor respectivo de K, por lo tanto tenemos:

$$Q_c = P * K$$

$$Q_c = 0.912kW * 1.959 = 1.786kVAr$$

Aplicando la ecuación 7, tenemos:

$$C = \frac{0.912kW}{2\pi * 60hz * 220V^2} (1.959) = 97.91\mu f$$

El otro periodo a analizar se da entre las 04:49 Am – 06:20 Am, mostrado en la figura 84 dentro de un circulo gris, para ese periodo de tiempo el factor de potencia promedio es de 0.4 en adelanto, potencia reactiva de -8.25 kVAr, potencia aparente de 12.65kV.A y potencia activa de 8.81 kW, por consiguiente seguiremos con los cálculos:

$$Q_c = 8.81kW * 1.959 = 17.25kVAr$$

$$C = \frac{8.81kW}{2\pi * 60hz * 220V^2} (1.959) = 945.87\mu f$$

Ahora seguimos nuestro análisis con las diferentes graficas que se obtuvieron al final de las mediciones correspondientes al tablero 1 del transformador de 150kV.A (ver graficas en Anexo C). De esas graficas referentes al tablero 1 observamos las graficas de tensiones y podemos observar que durante el día la tensión se mantiene, y no se dan grandes caídas.



Figura 85. Tablero 1 transformador de 150kV.A

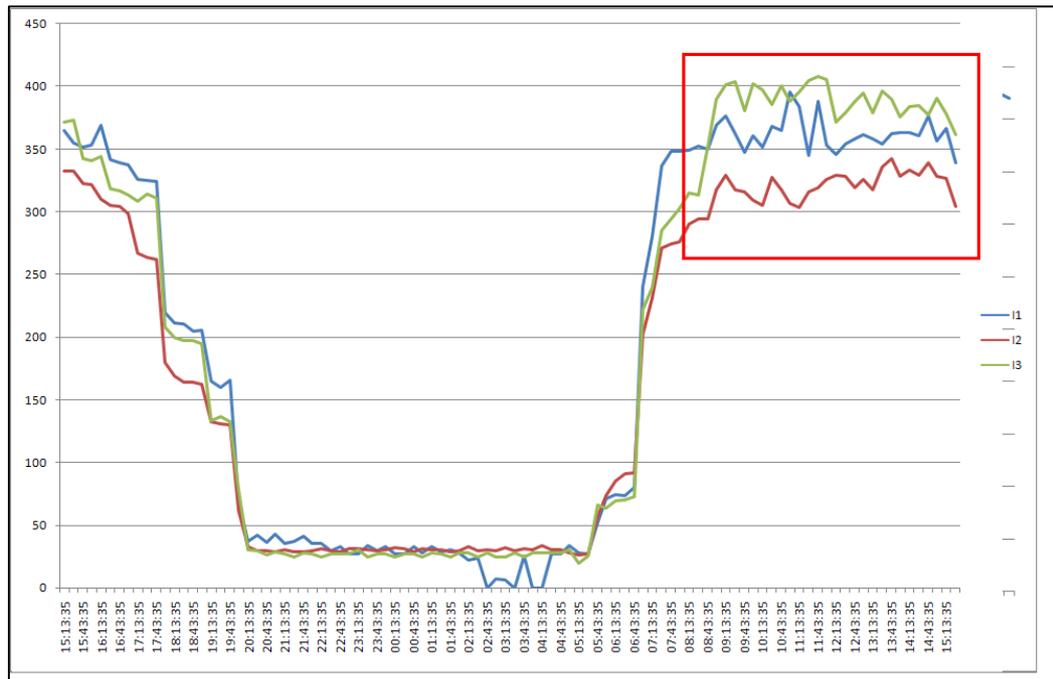


Figura 86. Corrientes tablero 1 transformador 150kV.A

Ahora si observamos las graficas de las corrientes podemos observar que entre las 9 am y las 4 pm se mantiene un consumo, las cargas están consumiendo aproximadamente 390A, luego entre las 6 pm y las 7Pm, y nuevamente a las 6 Am del día siguiente baja considerablemente la carga, lo cual es normal, ya que durante estas horas se comienzan a apagar la mayoría de elementos consumidores.

Algo que si se tiene que tener en cuenta, en la figura 86, es que la corriente I2 no tiene la misma compensación que tienen las otras dos fases, es decir, las cargas están mal distribuidas, ya que las corriente de líneas I1 e I3 se encuentran recargadas, por lo tanto esto trae como consecuencia que la vida útil de los cables por los que circula las corrientes I1 e I3 disminuye.

Para ser un poco más conciso se puede decir, que durante este intervalo de tiempo, llega a haber una descompensación en promedio para la corriente I1 equivalente a 367A e I2 con un valor de 318A, mientras que I3 posee un valor de 400A aproximadamente, lo que significa que I2 esta por debajo de I3 en un 20.5%.

Con relación a las graficas de potencia observamos que el consumo promedio entre las horas donde se demanda mayor consumo (8am – 5pm) es de aproximadamente de 131.49kW de potencia activa, 49.1kVAr de potencia reactiva y 140.3kV.A de potencia aparente, lo que genera un factor de potencia promedio de 0.93 en atraso, ya que la tensión adelanta a la corriente, indica, que la mayoría de la carga que maneja la universidad en este tablero es de carácter inductivo.

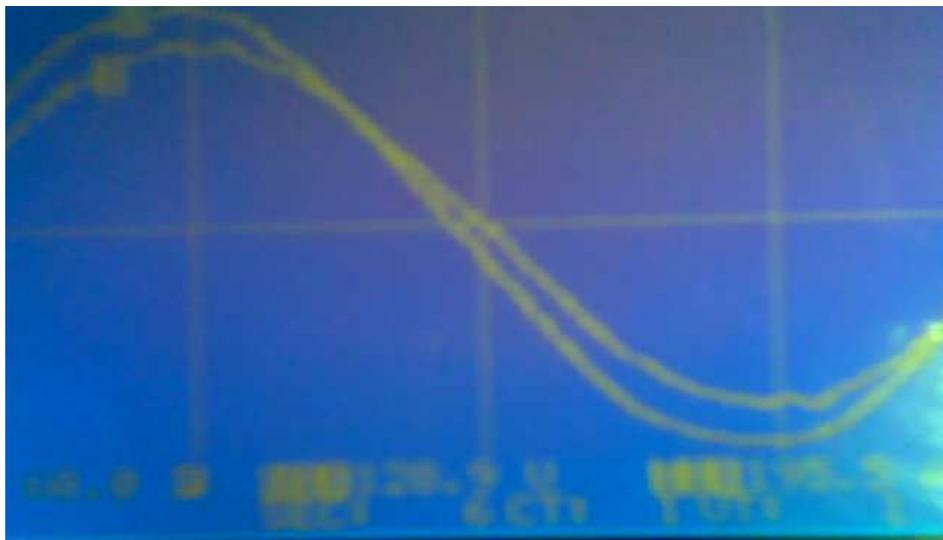


Figura 87. Curva tensión vs corriente tab1 transformador 150kV.A

En la figura 87 se observa la grafica corriente vs tensión que nos muestra el analizador, en la cual se observa claramente que la carga es de carácter inductivo, por lo que la tensión adelanta a la corriente.

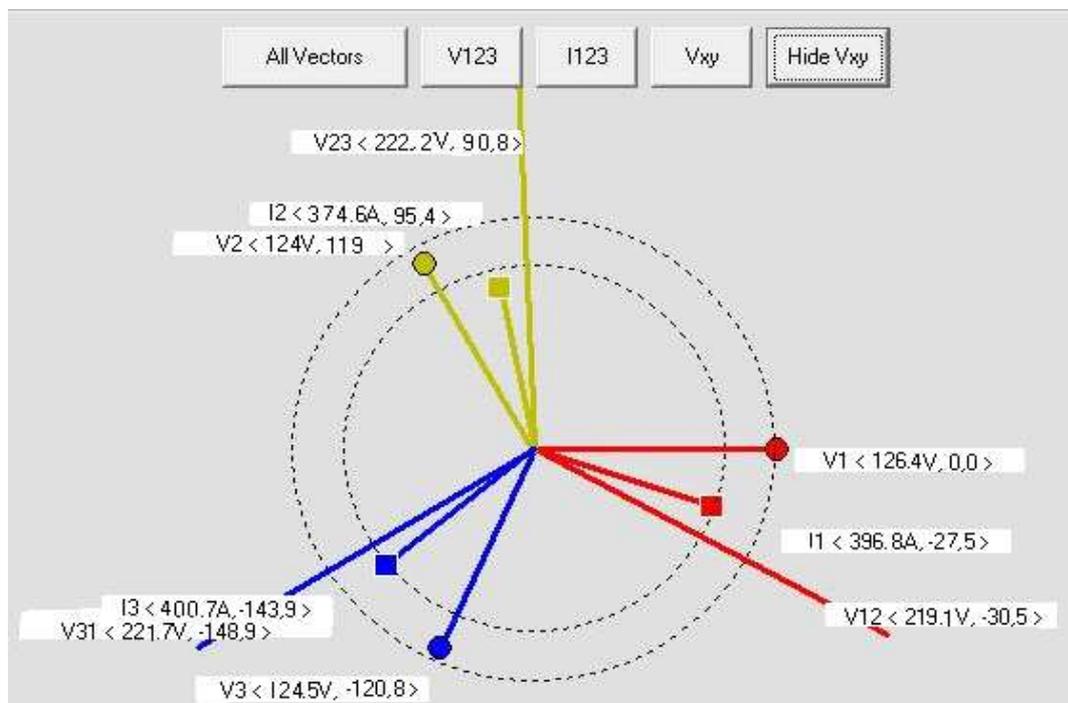


Figura 88. Diagrama fasorial tablero 1 transformador 150kV.A

En la anterior grafica podemos observar el diagrama fasorial, vemos la secuencia de fases la cual es negativa ó acb (R-T-S), además que efectivamente la tensión adelanta a la corriente confirmando así que la carga es de carácter inductiva.

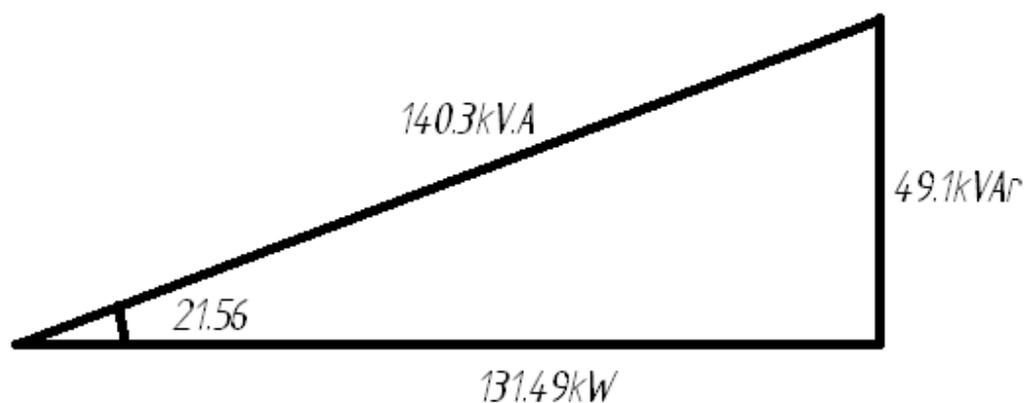


Figura 89. Triangulo de potencia tablero 1 (8 am - 5pm).

En la figura 89, podemos observar el triangulo de potencia promedio del tablero 1 durante las horas de mayor consumo (8 am – 5 pm), podemos decir, que todo esta dentro de lo normal, ya que el transformador puede suministrar 150kV.A y esta suministrando un valor de aproximadamente 140.3kV.A, generando así un factor de potencia oscilante entre 0.91 y 0.94, lo cual es muy bueno.

Ahora analicemos detalladamente las graficas de factor de potencia, en estas observamos intervalos de tiempo en donde el factor de potencia disminuye, esto se presenta durante las horas en las que no hay casi cargas que consuman potencia, para este transformador solo se presenta un bajo factor de potencia entre las 19:13 Pm – 7Am, como se muestra a continuación.

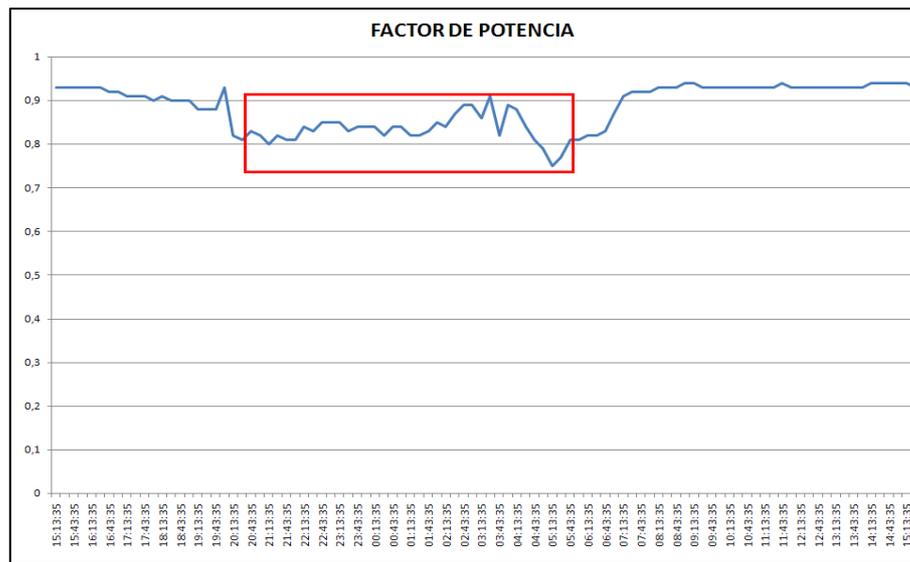


Figura 90. Factor de potencia tablero 1 transformador 150kV.A

Durante este periodo de tiempo el factor de potencia promedio es de 0.83 en atraso, potencia reactiva de 9.12kVAr, potencia aparente de 17.38kV.A y potencia activa de 14.81kW. Dado lo anterior se puede tratar de corregir el factor de potencia durante este intervalo de tiempo, llevándolo de 0.83 hasta 0.95, así:

$$Q_C = 14.81kW * 0.343 = 5.08kVAr$$

$$C = \frac{14.81kW}{2\pi * 60hz * 220V^2} (0.343) = 278.4\mu$$

Continuamos ahora con el análisis para las diferentes graficas que se obtuvieron para el transformador de 150kV.A, indicado en la figura 91, correspondiente al tablero 3 (ver graficas en Anexo D). De las graficas de tensiones podemos observar que durante el día la tensión se mantiene, no hay grandes caídas de tensión.



Figura 91. Tablero 3.

Gracias a las graficas de factor de potencia, podemos decir, que no hay ningún problema, ya que en las horas en donde se encienden la mayoría de los equipos consumidores. No hay problemas de factor de potencia, ni siquiera en las horas de bajo consumo, no hay caídas de tensión significativas, y hay un buen reparto de cargas, a demás este transformador no trabaja al límite de su carga, esto se da en las horas de máximo consumo.



Figura 92. Triangulo de potencia - Tablero 3 desde las 11:30Am hasta 4 PM.

En la figura anterior, podemos observar el triangulo de potencia del transformador 150kV.A para el tablero, donde la potencia activa es de 81.76kW, la potencia aparente es de 85.81kV.A y la potencia reactiva es de 26.20kVAr, con un factor de potencia de 0.95 en atraso.

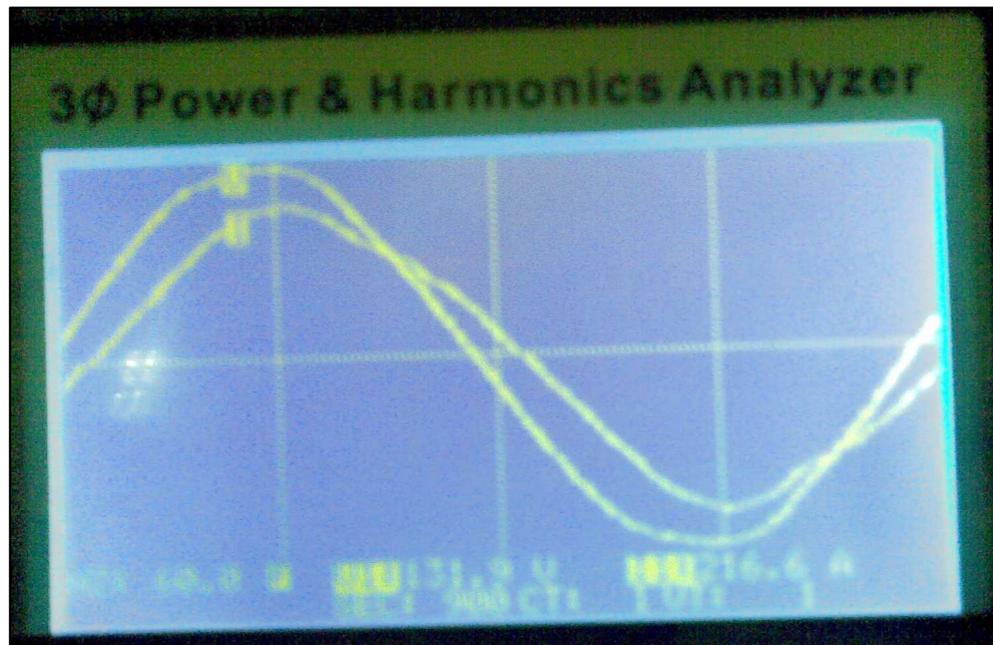


Figura 93. Corriente vs tensión tablero 3 transformador 150kV.A

En la anterior figura se observa la grafica corriente vs tensión que nos muestra el analizador, en la cual se ve claramente que la carga es de carácter inductivo, por lo que la tensión adelanta a la corriente.

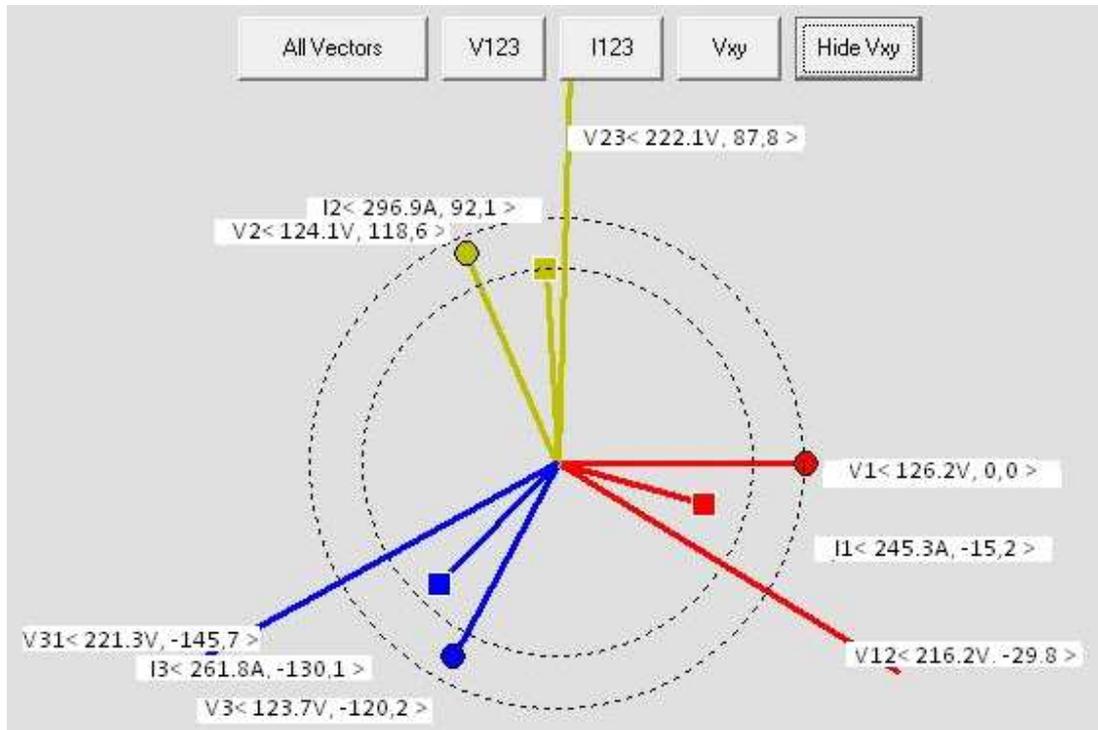


Figura 94. Diagrama fasorial tablero 3 transformador 150kV.A

En la anterior grafica podemos observar el diagrama fasorial, observamos que la secuencia de fases es negativa ó acb (R-T-S), además se logra visualizar que efectivamente la tensión adelanta a la corriente, confirmando así que la carga es de carácter inductiva.

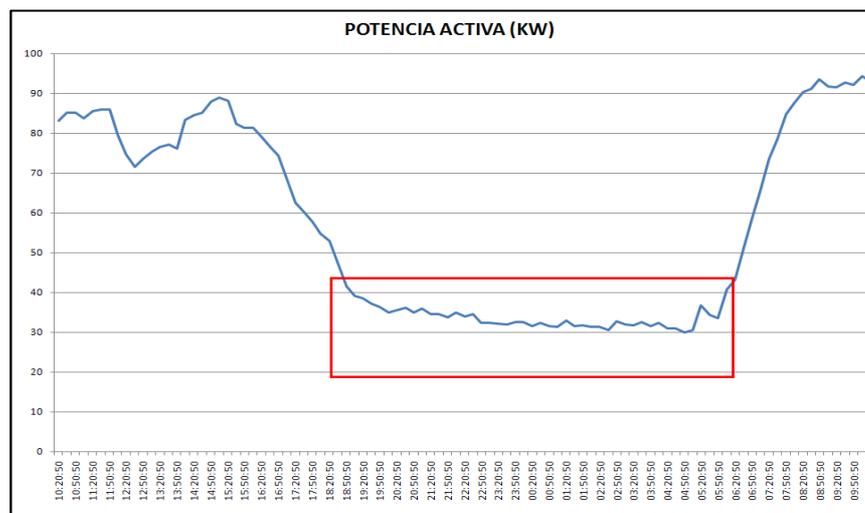


Figura 95. Potencia activa tablero 3 transformador 150kV.A

Un aspecto que llama mucho la atención, fue que durante las horas en donde se supone que la mayoría de los equipos consumidores están apagados (7 Pm – 5:00 Am), se da un elevado consumo de potencia, tal y como se logra observar en la figura anteriormente mostrada (figura 95), durante este intervalo de tiempo se consume en promedio 34kW lo cual parece excesivo, teniendo en cuenta que los demás tableros a estas horas tienen cargas que consumen menos que este, por ejemplo; el transformador de 150kV.A del tablero 2, consume aproximadamente 1kW y el transformador de 150kV.A del tablero 1, suministra aproximadamente 8kW. Si observamos el diagrama unifilar de la subestación con sus cargas (Anexo H), observamos que lo que más consume energía son los aires pero a estas horas estos deberían estar apagados, algo que probablemente no se este dando.

Con relación a las graficas de corrientes, podemos observar que durante todo el accionar del día existe una descompensación entre las fases, ya que se sobrecargan unas más que otras.

Para ser un poco más conciso se puede decir que durante el máximo intervalo de consumo llega a haber una descompensación tal, que en promedio la corriente I1 es equivalente a 223.4A, I2 equivale a 292.7A, mientras que I3 posee un valor de 250.9A aproximadamente, lo que significa que I3 llega a estar por debajo de I2 un 14.2% mientras que I1 lo llega a estar en un 23.67%.

Para el transformador de 75kV.A del tablero 3 (ver graficas en Anexo E), tenemos las graficas de tensiones, en las cuales podemos observar que durante el día, la tensión se mantiene, la que indica que no se presentan grandes caídas de tensión.

Ahora si observamos las graficas de las corrientes podemos observar que entre las 9 am y las 5 pm se mantiene un consumo, las cargas están consumiendo aproximadamente 175A, pero luego entre las 5 pm y las 7 Am del día siguiente baja considerablemente la carga, lo cual es normal, ya que durante estas horas se comienzan a apagar la mayoría de los equipos consumidores. Con relación a las graficas de potencia observamos que el consumo promedio entre las horas donde se demanda mayor consumo (9am – 5pm) es de aproximadamente de 58kW de potencia activa, 24kVAr de potencia reactiva y 64kV.A de potencia aparente, generando un factor de potencia promedio de 0.92 en atraso, ya que la

tensión adelanta a la corriente, esto también quiere decir que la mayoría de carga que maneja el transformador es de carácter inductivo.

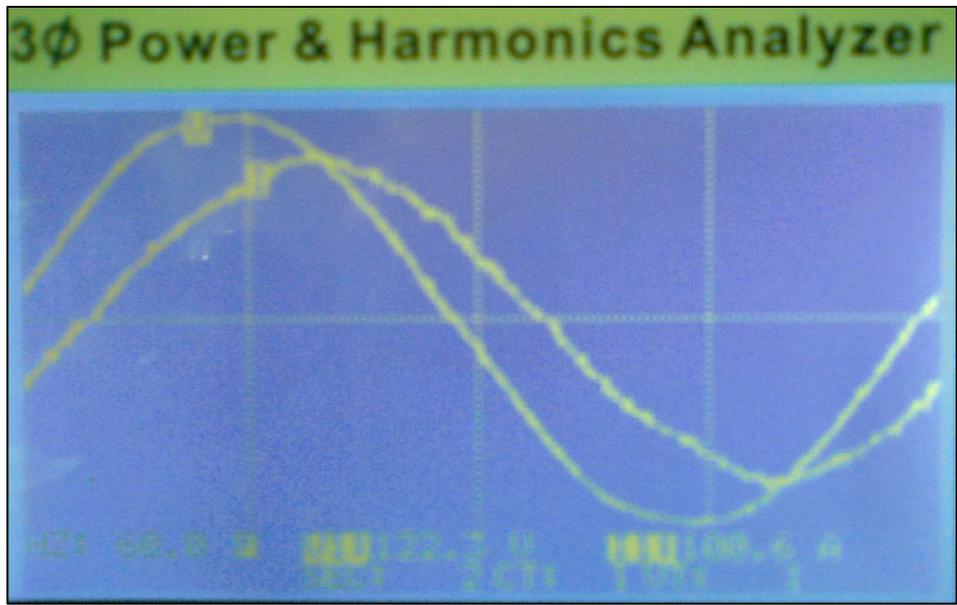


Figura 96. Corriente vs tensión tablero 3 transformador de 75kV.A

En las figuras 96 y 97, se observa el comportamiento corriente vs tensión que nos muestra el analizador, en la cual se ve claramente que la carga es de carácter inductivo, por lo que la tensión adelanta a la corriente.

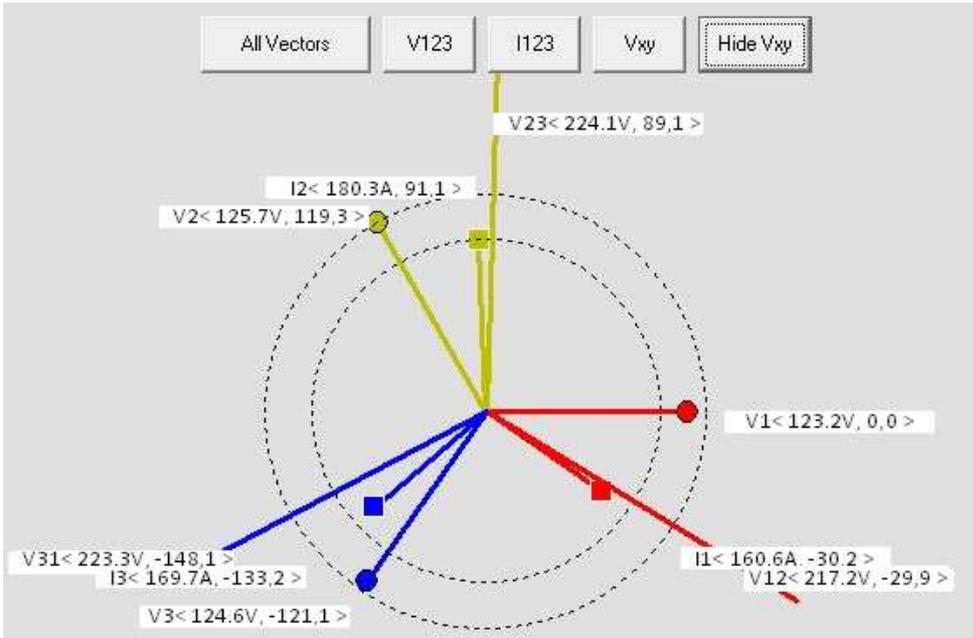


Figura 97. Diagrama fasorial tablero 3 transformador de 75 kV.A

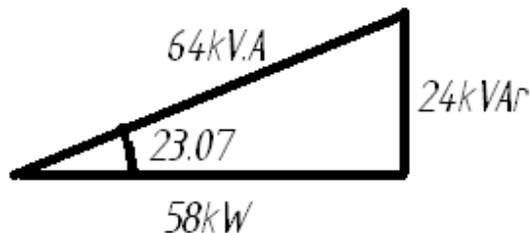


Figura 98. Triangulo de potencia transformador 75 kV.A (9Am - 5Pm).

En la figura anterior, podemos observar el triangulo de potencia del tablero 3. Gracias a las graficas de factor de potencia (Anexo E) podemos decir, que no hay ningún problema, ya que en las horas en donde se encienden la mayoría de los equipos consumidores, el sistema se comporta de una muy buena manera, sin embargo existen momentos de irregularidad por cortos periodos de tiempo, pero en general el factor de potencia se mantiene.

Ahora si observamos las graficas de las corrientes podemos observar que entre las 9 am y las 4 pm el consumo se mantiene, las cargas están consumiendo aproximadamente 175A, luego entre las 6 pm y las 6 Am del día siguiente, la carga disminuye considerablemente, lo cual es normal, ya que durante estas horas se comienzan a apagar la mayoría de equipos consumidores. Algo que hay que tener en cuenta, se da en las graficas de corrientes (Anexo E), en esta, la corriente I2 no tiene la misma compensación que tienen las otras dos fases, es decir, las cargas están mal distribuidas, recargándose las líneas de corriente I2 e I3, por lo tanto esto trae como consecuencia que la vida útil de los cables disminuya.

Para ser un poco más conciso se puede decir que durante este intervalo de tiempo llega a haber un desbalance, obteniendo así en promedio un valor para la corriente I1 de 150A, en I2 de 180A, y por ultimo I3 que posee un valor de 163A aproximadamente, lo que significa que I1 está por debajo de I2 en un 16.6% durante todo el día de máxima carga.

Con relación al transformador de 112kV.A, en las graficas obtenidas para este (Anexo F) podemos decir, que no presenta problema, ya que en las horas en donde se encienden la mayoría de los equipos consumidores de energía, el sistema no presenta caídas de tensión significativas, a demás este transformador, no trabajan al límite de su potencia nominal y mantiene un buen factor de potencia, esto en los intervalos de máximo consumo dado entre

las 8 Am – 7 Pm, porque en horas de bajo consumo se presentan bajo factor de potencia y disparidad en el reparto de cargas.

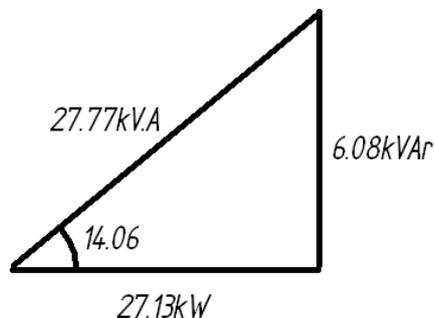


Figura 99. Triangulo de potencia – Trafo 112kV.A desde las 10:00Am hasta 7

Con relación a las graficas de potencia, y en base al triangulo de potencia de la figura anterior, observamos que el consumo promedio entre las horas donde se demanda mayor consumo es de aproximadamente de 27.13kW de potencia activa, 6.08kVAR de potencia reactiva y 27.77kV.A de potencia aparente, lo que genera un factor de potencia de 0.97 en atraso, ya que la tensión adelanta a la corriente, esto también quiere decir que la mayoría de carga que maneja este transformador es de carácter inductivo.



Figura 100. Corriente vs tensión transformador 112kV.A

En las figuras 100 y 101, se observa la grafica corriente vs tensión que nos muestra el analizador, en la cual se ve ligeramente que la carga es de carácter inductivo, por lo que la tensión adelanta a la corriente.

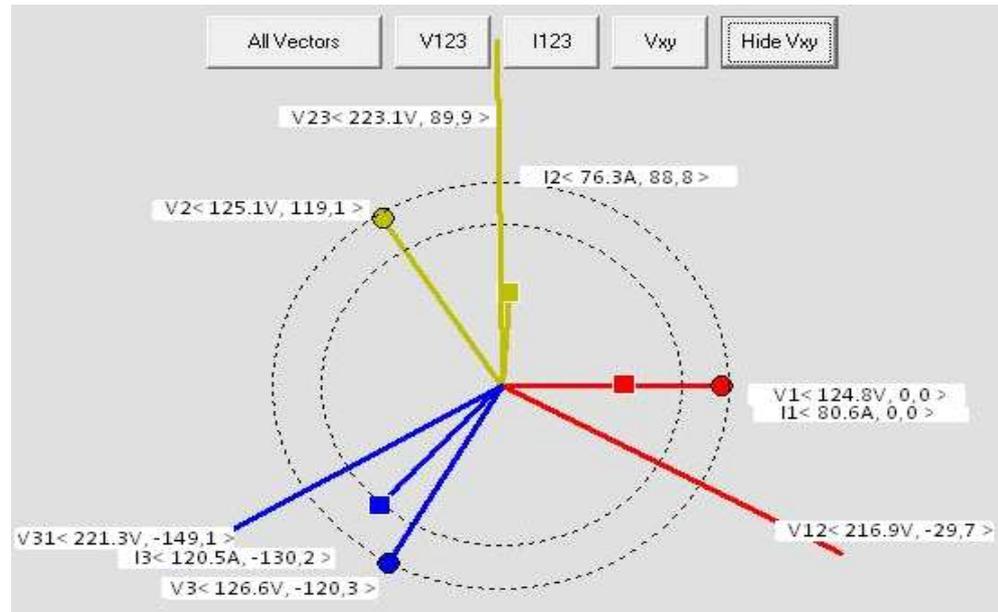


Figura 101. Diagrama fasorial transformador 112kV.A

En cuanto a la corrección de potencia dado en las horas de bajo consumo, no es viable realizarlo para este transformador, debido a que el consumo de potencia activa es muy bajo (ver Anexo F), por lo tanto el factor de potencia disminuye, porque el transformador se encuentra casi en vacío.

Ahora referimos el análisis al transformador de 225kV.A correspondiente al tablero 4 (ver graficas en Anexo G), podemos observar que las graficas de las corrientes entre las 9 am y las 4 pm, mantiene un consumo aproximadamente de 350A, luego entre las 6 pm y las 7 Am del día siguiente baja considerablemente la carga conectada y por ende el consumo producida por estas, una situación que es normal. Con relación a las graficas de potencia observamos que el consumo promedio entre las horas donde se demanda mayor consumo (9 am – 4 pm) es de aproximadamente de 112.68kW de potencia activa, 61kVAr de potencia reactiva y 128.15kV.A de potencia aparente, lo que genera un factor de potencia promedio

entre las horas mencionadas de 0.87 en atraso, la figura 102, muestra el triangulo de potencia para esta parte.

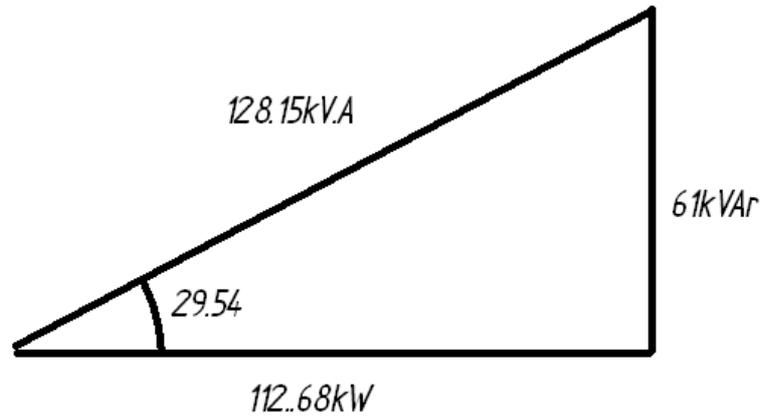


Figura 102. Triangulo de potencia transformador 225kV.A

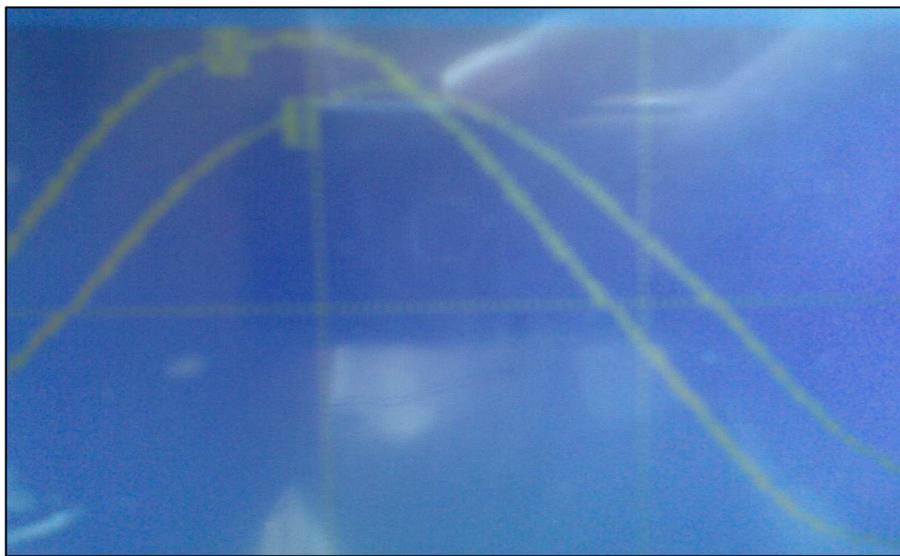


Figura 103. Corriente vs tensión transformador 225kV.A

En las figuras 103 y 104, se observa la grafica corriente vs tensión se ve claramente que la carga es de carácter inductivo, por lo que la tensión adelanta a la corriente.

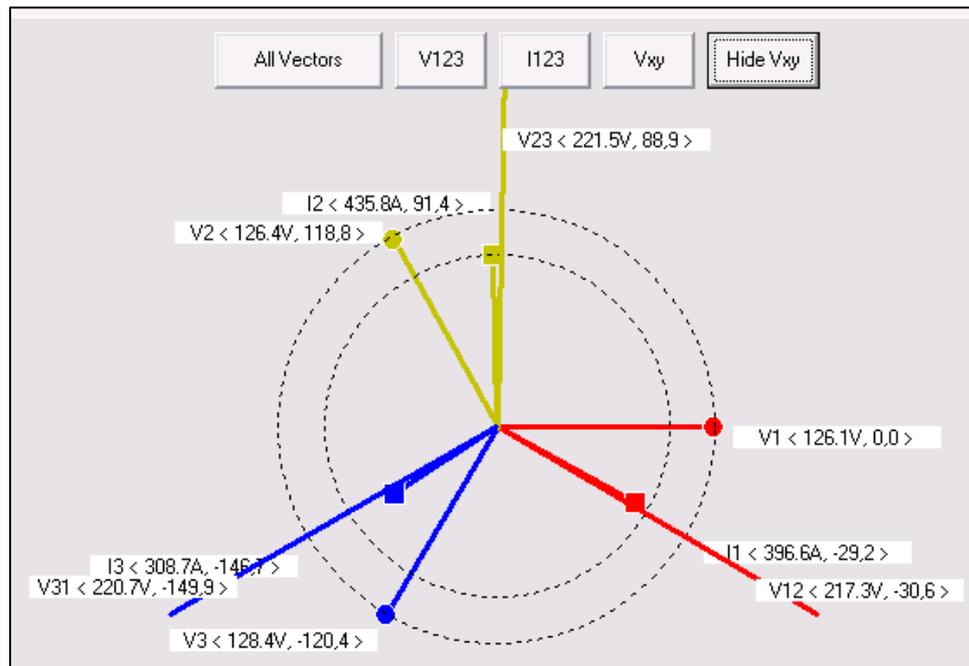


Figura 104. Diagrama de fasores transformador 225kV.A

Ahora analicemos detalladamente las graficas de factor de potencia, mostrado en la figura 105, donde observaremos los intervalos de tiempo, donde el factor de potencia tiende a bajar, esto se presenta durante las horas en las que no hay casi cargas que consuman potencia, en este caso no es viable realizar el cálculo de mejoramiento del factor de potencia para este transformador, dado que el consumo de potencia activa dado en el es muy bajo (Anexo G), por lo tanto las causas del bajo factor de potencia, se dan porque el transformador tiene un comportamiento parecido al estado en vacío, sin embargo durante el tiempo de máximo consumo el transformador trabaja con un valor de 0.87 en promedio por lo tanto se puede hacer la corrección y llevarlo a 0.95 de la siguiente forma:

$$Q_c = 112.68kW * 0.238 = 26.81kVar$$

$$C = \frac{112.68kW}{2\pi * 60hz * 220V^2} (0.238) = 1469.76\mu f$$

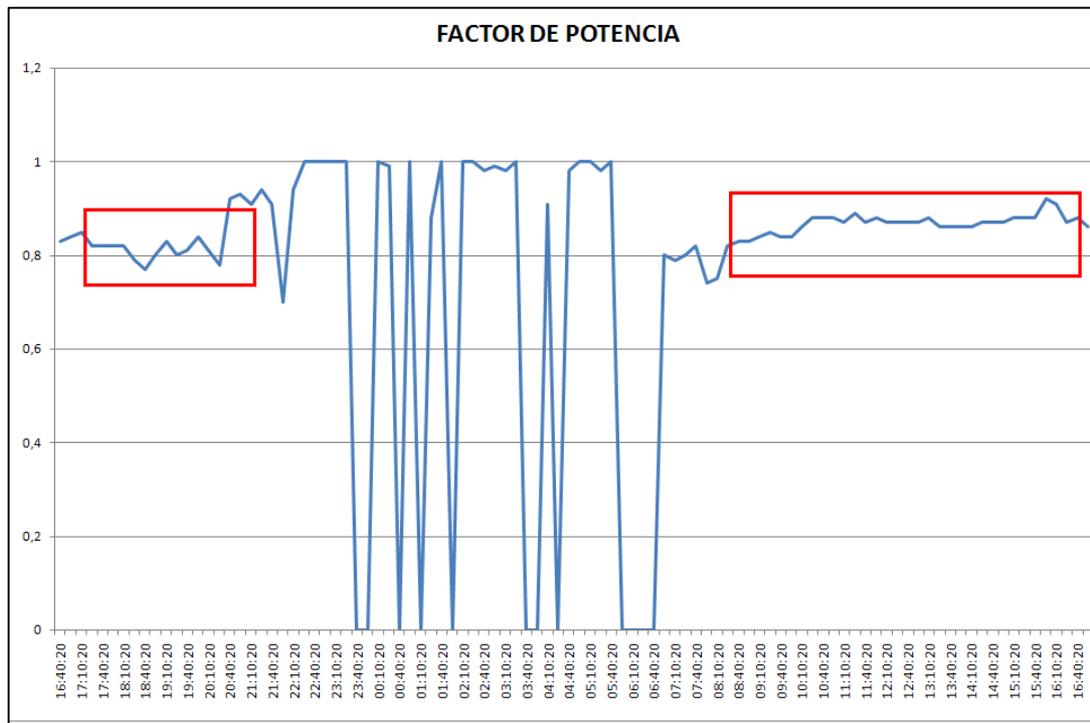


Figura 105. Factor de potencia transformador de 225kV.A

Hasta el momento hemos realizado un análisis de los transformadores en la Universidad en su campus Ternera, en la cual hemos encontrado varias falencias, de tal forma que se han podido identificar donde está el consumo mayor consumo de potencia reactiva, que está causando penalizaciones y produciendo un bajo factor de potencia, uno de los transformadores que presenta este problema es el transformador de 150kV.A del tablero 2, donde podemos observar, que durante las 22:34 Pm – 04:34 Am se consume en promedio 12.048kVAr de potencia reactiva con un factor de potencia de 0.1 en adelanto, aun que no se consume mucha potencia reactiva, hay que tener esto en cuenta, en ese mismo transformador existe otro intervalo de tiempo en el que se consume 8.25kVAr con un factor de potencia de 0.4 en adelanto.

Para el transformador de 150kV.A del tablero 1, se observó que durante las 19:13 Pm – 7Am se consume aproximadamente 9.12kVAr con un factor de potencia de 0.83 en atraso. Con respecto al transformador de 150kV.A del tablero 3 se puede decir con certeza que no posee problemas de bajo factor de potencia, lo mismo se puede decir del transformador de

75kV.A, aun que existen momentos de irregularidad que se dan por cortos periodos de tiempo, en general el factor de potencia se mantiene. En cuanto al transformador de 112kV.A, contiene un bajo consumo de potencia reactiva el cual tiende a ser casi insignificante.

Con relación al transformador de 225kV.A, el cual genera el mayor consumo de potencia reactiva, podemos decir que este ha elevado el consumo de potencia reactiva en la facturación de energía en los últimos meses.

En conclusión los transformadores donde es viable realizar la corrección serian los transformadores de 225kV.A, el transformador de 150kV.A del tablero 2 y el transformador de 150kV.A correspondiente al tablero 1.

2.7 Panorama de Aumento de Carga

Al realizar este panorama, lo que se quiere es dar una vista amplia a través de datos medidos, de cuáles son las posibilidades reales que tiene la sede de ternera respecto a una ampliación de cargas en el futuro.



Figura 106. Transformadores subestación UTB Ternera.

Comencemos mirando hacia el tablero 2, el cual tiene un transformador de 150kV.A. De acuerdo con las graficas de potencia de este transformador (ver anexo B) el punto máximo lo registra con un valor de 117.1kV.A (pico Max), en este punto el promedio de corrientes de fases es de 320.7A y una caída tensión en promedio de 210.96V (esto se puede observar en las graficas de este transformador) y lo registra alrededor de las 10:20 Am, el cual representa el peor de los casos, por lo cual podemos decir que este transformador llega a trabajar en un 78.12% de su capacidad, cabe destacar que este es solo un pico lo cual quiere decir que normalmente el no trabaja en este rango. Trabajando sobre estos valores tanto de caída de tensión como los valores de corriente se puede decir que a este transformador se le puede aumentar la carga un 21.87% lo que representa unos 32.9kV.A, mas sin embargo para efectos de aumento de carga, trabajaremos con el valor ideal de 220V, por lo cual se aumentaría unos 27.79kV.A representados en unos 72.94A llegando a trabajar el transformador al 96.6% de su capacidad, ahora, si se tiene en cuenta que las cargas no son constantes, es decir que este solo es un pico que no dura mucho

tiempo, se puede aumentar un poco mas la carga antes mencionada ya que los transformadores pueden trabajar un porcentaje por encima de su valor nominal pero no de forma constante, pero por seguridad es mejor aumentar esta cantidad de carga ya que si este pico tiene mucho tiempo el transformador puede trabajar sobrecargado y puede traer consecuencias. Mas sin embargo algo muy importante, es que si bien es cierto el transformador en su punto máximo llega a tener en promedio una corriente de 320.7A, cabe destacar la descompensación de las fases, ya que una de ellas llega a tener una corriente de 334.5A.

El siguiente tablero a analizar es el tablero 1, el cual también tiene un transformador de 150kV.A. De acuerdo con las graficas de potencia de este transformador (ver anexo C) el punto máximo lo registra con un valor de 145kV.A (pico Max) , en este punto el promedio de corrientes de fases es de 371.73A y una caída tensión en promedio de 225.83V y lo registra alrededor de las 11: 45 Am ,el cual representa el peor de los casos, por lo cual podemos decir que este transformador llega a trabajar en un 96.6% de su capacidad, si trabajando sobre estos valores tanto de caída de tensión como los valores de corriente se puede decir que a este transformador se le puede aumentar la carga un 3.4%, cabe destacar que este es solo un pico lo cual quiere decir que normalmente el no trabaja en este rango, mas sin embargo se debe decir que este transformador llega a trabajar casi a su 100% por lo que no es recomendable aumentar su carga, a demás normalmente este transformador trabaja en 140 a 142kV.A tal y como se puede apreciar en las graficas de potencia de este transformador.

El siguiente tablero a analizar es el tablero 3, el cual tiene un transformador de 150kV.A y otro transformador de 75kV.A, iniciemos el análisis con el transformador de 150kV.A. De acuerdo con las graficas de potencia de este transformador el punto máximo lo registra con un valor de 98.8kV.A (pico Max), en este punto el promedio de corrientes de fases es de 268A y una caída tensión en promedio de 213.7V y lo registra alrededor de las 10: 05 Am, el cual representa el peor de los casos, por lo cual podemos decir que este transformador llega a trabajar en un 65.86% de su capacidad, cabe destacar que este es solo un pico lo cual quiere decir que normalmente el no trabaja en este rango. Trabajando sobre estos valores

tanto de caída de tensión como los valores de corriente se puede decir que a este transformador se le puede aumentar la carga un 34.13% lo que representa unos 51.2kV.A, mas sin embargo para efectos de aumento de carga, trabajaremos con el valor ideal de 220V, por lo cual se aumentaría unos 47.87kV.A representados en unos 125.64A llegando a trabajar el transformador al 97.78% de su capacidad, ahora si se tiene en cuenta que las cargas no son constantes, es decir que este solo es un pico que no dura mucho tiempo, se puede aumentar un poco mas la carga pero no de forma constante, pero por seguridad es mejor aumentar esta cantidad de carga ya que si este pico tiene mucho tiempo el transformador puede trabajar sobrecargado y puede traer consecuencias. Mas sin embargo algo muy importante, es que si bien es cierto el transformador en su punto máximo llega a tener en promedio una corriente de 268A, cabe destacar la descompensación de las fases, ya que una de ellas llega a tener una corriente de 296.9A.

Seguimos ahora con el mismo tablero pero con el transformador de 75kV.A, de acuerdo con las graficas de potencia de este transformador el punto máximo lo registra con un valor de 63.9kV.A (pico Max), en este punto el promedio de corrientes de fases es de 168A y una caída tensión en promedio de 220.6V y lo registra alrededor de las 13: 21 Pm, el cual representa el peor de los casos, por lo cual podemos decir que este transformador llega a trabajar en un 85.2% de su capacidad, cabe destacar que este es solo un pico lo cual quiere decir que normalmente el no trabaja en este rango. Trabajando sobre estos valores tanto de caída de tensión como los valores de corriente se puede decir que a este transformador se le puede aumentar la carga un 14.8% lo que representa unos 11.1kV.A, mas sin embargo para efectos de aumento de carga, trabajaremos con el valor ideal de 220V, por lo cual se aumentaría unos 10.98kV.A representados en unos 28.82A llegando a trabajar el transformador a casi su 100% de capacidad, ahora si se tiene en cuenta que las cargas no son constantes el solo llegara a trabajar a su máximo potencial en su pico máximo.

El siguiente tablero a analizar es el tablero 4 (Bienestar estudiantil), el cual tiene un transformador de 112kV.A. De acuerdo con las graficas de potencia de este transformador el punto máximo lo registra con un valor de 43.5kV.A (pico Max), en este punto el promedio de corrientes de fases es de 122A y una caída tensión en promedio de 208.66V y

lo registra alrededor de las 14: 30 Pm, el cual representa el peor de los casos, por lo cual podemos decir que este transformador llega a trabajar en un 38.83% de su capacidad, cabe destacar que este es solo un pico lo cual quiere decir que normalmente el no trabaja en este rango. Trabajando sobre estos valores tanto de caída de tensión como los valores de corriente se puede decir que a este transformador se le puede aumentar la carga un 61.16% lo que representa unos 68.5kV.A, mas sin embargo para efectos de aumento de carga, trabajaremos con el valor ideal de 220V, por lo cual se aumentaría unos 65.51kV.A representados en unos 171.92A llegando a trabajar el transformador a casi su 97.3% de capacidad, ahora si se tiene en cuenta que las cargas no son constantes el solo llegara a trabajar a este potencial en su pico máximo. A continuación seguimos con el transformador de 225kV.A, de acuerdo con las graficas de potencia de este transformador el punto máximo lo registra con un valor de 142.7kV.A (pico Max), en este punto el promedio de corrientes de fases es de 375.5A y una caída tensión en promedio de 219.73V y lo registra alrededor de las 12:25 Pm, el cual representa el peor de los casos, por lo cual podemos decir que este transformador llega a trabajar en un 63.42% de su capacidad, cabe destacar que este es solo un pico lo cual quiere decir que normalmente el no trabaja en este rango. Trabajando sobre estos valores tanto de caída de tensión como los valores de corriente se puede decir que a este transformador se le puede aumentar la carga un 36.57% lo que representa unos 82.3kV.A, mas sin embargo para efectos de aumento de carga, trabajaremos con el valor ideal de 220V, por lo cual se aumentaría unos 81.91kV.A representados en unos 214.97A llegando a trabajar el transformador a casi su 99.82% de capacidad como se observa en la tabla 38, ahora si se tiene en cuenta que las cargas no son constantes el solo llegara a trabajar a este potencial en su pico máximo.

TRANSFORMADORES	CARGA ACTUAL (A)	CARGA A AUMENTAR EN (A)
TRAFO 150 kV.A TAB 1	371,73	0
TRAFO 150 kV.A TAB 2	320,7	72,94
TRAFO 150 kV.A TAB 3	268	125,64
TRAFO 75 kV.A TAB 3	168	28,82
TRAFO 112 kV.A BIENESTAR U.	122	171,92
TRAFO 225 kV.A	375,5	214,97

Tabla 35. Datos de consumo de carga de transformadores.

III. ANÁLISIS DE ARMÓNICO

Los sistemas eléctricos cuentan actualmente con una gran cantidad de elementos llamados no lineales, los cuales generan a partir de formas de onda sinusoidales y con la frecuencia de la red, otras ondas de diferentes frecuencias ocasionando el fenómeno conocido como armónicos. Los armónicos son un fenómeno que generan problemas tanto para los usuarios como para la entidad encargada de la prestación del servicio de energía eléctrica ocasionando diversos efectos nocivos en los equipos de la red.

Hoy en día, es bastante difícil predecir problemas de armónicos sin realizar mediciones dado que el flujo y las respuestas del sistema pueden variar sustancialmente de un sistema a otro con pequeñas desviaciones tales como tolerancias de los equipos, desbalances, etc. La solución de problemas existentes debidos a la sensibilidad de equipos, altas pérdidas, distorsiones grandes etc., manifestados como disparos persistentes, quema de fusibles, errores en la medida de Kw-h y destrucción de equipos pueden ser afrontados con un estudio de flujo de armónicos fundamentado en medidas.

Muchos problemas de armónicos pueden ser fácilmente resueltos reubicando equipos, instalando filtros, o limitando algunos pasos de la compensación del factor de potencia. Sin embargo, antes de llegar a una solución viable se deben identificar plenamente las distorsiones armónicas y sus fuentes, lo cual puede hacerse con base en modelos de flujo de armónicos o midiendo directamente en la instalación.

3.1 Definición de Armónicos

Para definir este concepto es importante definir primero la calidad de la onda de tensión la cual debe tener amplitud y frecuencia constantes al igual que una forma sinusoidal, la Figura 107, es una onda que caracteriza a una señal eléctrica, para efectos de estudios se ha semejado a la onda sinusoidal pura o ideal, con una frecuencia constante de 60Hz y una amplitud constante.

Cuando una onda periódica no tiene esta forma sinusoidal se dice que tiene contenido armónico, lo cual puede alterar su valor pico y valor RMS causando alteraciones en el funcionamiento normal de los equipos que estén sometido a esta tensión. La frecuencia de

la onda periódica se denomina frecuencia fundamental y los armónicos son señales cuya frecuencia es un múltiplo entero de esta frecuencia.

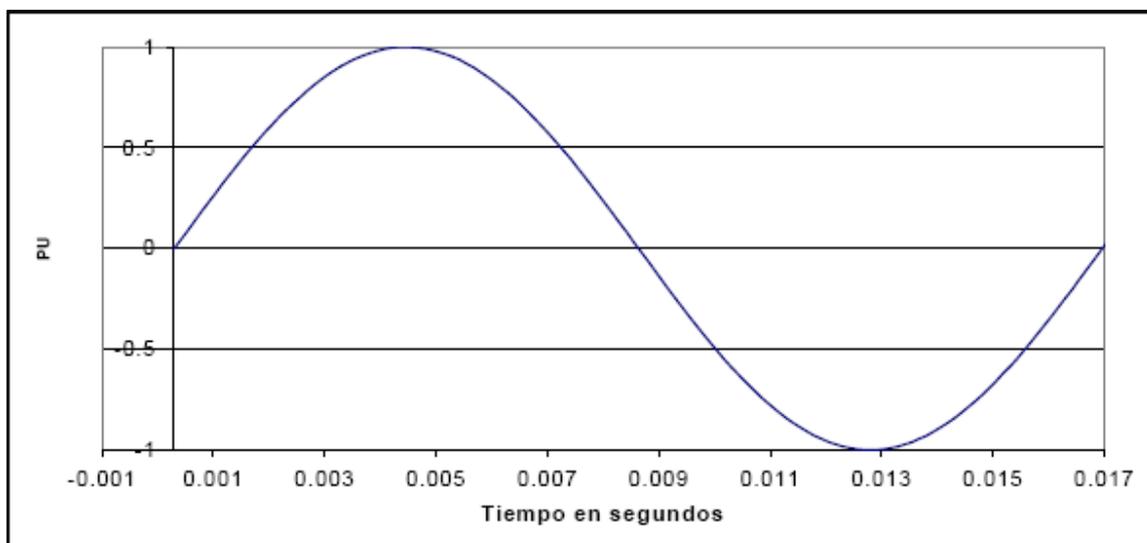


Figura 107. Forma de onda sinusoidal.

En sistemas eléctricos se denomina armónicos a las ondas de tensión voltaje o corriente cuya frecuencia es mayor a la frecuencia fundamental de la red (en nuestro caso 60Hz).

Generalmente se presentan varias ondas de diferentes órdenes de armónicos a la vez, constituyendo un espectro y dando como resultado una onda totalmente distorsionada. Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, estos son:

Su amplitud: Hace referencia al valor de la tensión o de la intensidad del armónico, la amplitud de un armónico generalmente es un pequeño porcentaje de la fundamental.

Su orden: Hace referencia al valor de su frecuencia referida a la fundamental. Así un armónico de orden 3 tiene una frecuencia tres veces superior a la fundamental, es decir en nuestro caso $3 \times 60\text{Hz}$ es igual a 180Hz. El espectro es la distribución de la amplitud de varios armónicos como una función del número del armónico, como se observa en la siguiente figura, donde se muestra un histograma, a menudo utilizado para mostrar el orden y la amplitud del armónico.

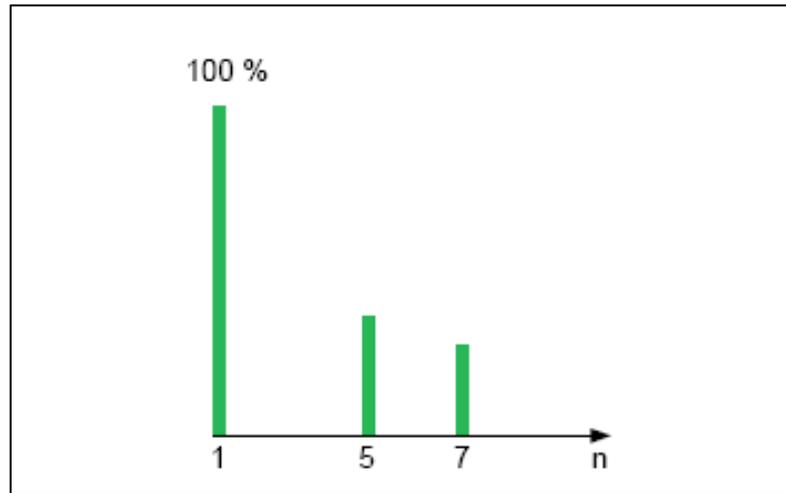


Figura 108. Amplitud de armónicos con respecto al fundamental.

La siguiente figura, muestra en el cuadro (a), una distorsión, la cual aparece en un ciclo de vez en cuando, causada posiblemente por la conmutación de condensadores utilizados en la corrección de factor de potencia en un sistema eléctrico, esto no es distorsión armónica. No obstante las distorsiones demostradas en el cuadro (b) y (c) son formas de distorsión armónica, dando efectos plano-rematados con efectos en el tiempo y que hacen muescas en respectivamente.

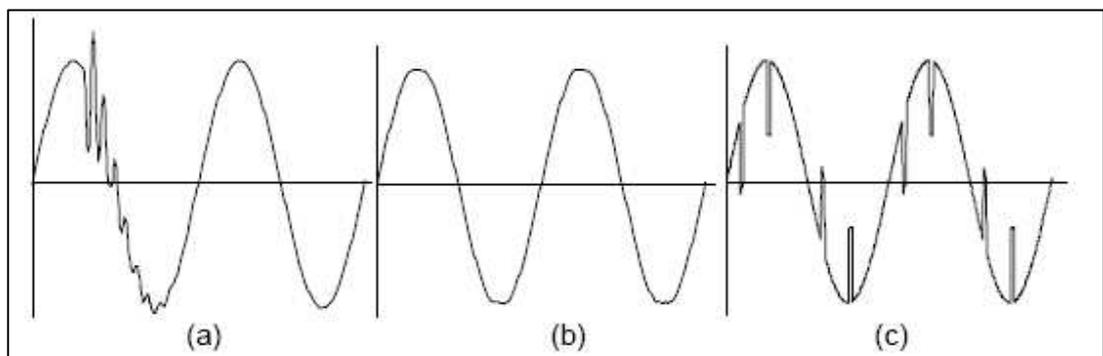


Figura 109. Distorsiones armónicas.

3.2 Ecuaciones de Fourier para el Cálculo de Armónicos.

El teorema de Fourier dice que toda onda periódica no sinusoidal puede ser descompuesta como la suma de ondas sinusoidales, mediante la aplicación de una serie de Fourier, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Que la integral a lo largo de un periodo de la función sea un valor finito.
- Que la función posea un número finito de discontinuidades en un periodo.
- Que la función posea un número finito de máximos y mínimos en un periodo.

Cualquier función $F(x)$ con periodo 2π o periódica puede ser descompuesta en una suma de senos y cósenos de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Y = F(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \sin(nx) + B_n \cos(nx)] \quad [Ecu. 8]$$

Donde:

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(x) dx \quad [Ecu. 9]$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \sin(nx) dx \quad [Ecu. 10]$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \cos(nx) dx \quad [Ecu. 11]$$

Con $n=1, 2, 3, 4, \dots$

Luego como es una función periódica quedaría expresada en el tiempo para las corrientes y tensiones de la forma:

$$i(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1} (A_n \cos(n\omega_0 t) + B_n \sin(n\omega_0 t)) \quad [Ecu. 12]$$

Donde:

$$\omega_0 = \frac{T}{2\pi} \quad [Ecu. 13]$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad [Ecu. 14]$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad [Ecu. 15]$$

De igual forma se tiene en cuenta las anteriores ecuaciones para el cálculo de la tensión

3.3 Fuentes de Armónicos

En general, no existen propiamente generadores de armónicos pero si máquinas eléctricas y en especial los equipos de electrónica de potencia que son los que producen propiamente los armónicos estos equipos son cargas no lineales que a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal absorben una intensidad no sinusoidal. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuente de intensidad que inyectan armónicos en la red. Las principales fuentes de armónicos son:

- Hornos de arco y otros elementos de descarga de arco, tales como lámparas fluorescentes. Los hornos de arco se consideran más como generadores de armónicos de voltaje que de corriente, apareciendo típicamente todos los armónicos (2°, 3°, 4°, 5°, ...) pero predominando los impares con valores típicos con respecto a la fundamental de:
 - ✓ 20% del 3er armónico
 - ✓ 10% del 5°
 - ✓ 6% del 7°
 - ✓ 3% del 9°

- Núcleos magnéticos en transformadores y máquinas rotativas que requieren corriente de tercer armónico para excitar el hierro.
- Saturación de transformadores.
- Corrientes de energización de transformadores.
- La corriente Inrush de los transformadores produce segundo y cuarto armónico.
- Controladores de velocidad ajustables usados en ventiladores, bombas y controladores de procesos.
- Interruptores en estado sólido que modulan corrientes de control, intensidad de luz, calor, etc.
- Fuentes controladas utilizadas para equipos electrónicos.
- Rectificadores basados en diodos o tiristores para equipos de soldadura, cargadores de baterías, etc.
- Compensadores estáticos de potencia reactiva.
- Estaciones en DC de transmisión en alto voltaje.
- Convertidores de AC a DC (inversores).

A continuación en la siguiente tabla un resumen de los tipos de cargas y los problemas más comunes.

tipo de carga	armónicos generados	comentarios
transformador	orden par e impar	componentes en CC ó CD
motor asincrónico	orden impar	ínter y subarmónicos
lámpara descarga	3° + impares	puede llegar al 30% de la fundamental
soldadura de arco	espectro variable	no lineal asimétrico
hornos de arco CA	espectro variable inestable	no lineal-asimétrico
rectificadores con filtro inductivo	$h = K \times P \pm 1$ $I_h = I_1/h$	SAI – variadores V
rectificadores con filtro capacitivo	$h = K \times P \pm 1$ $I_h = I_1/h$	alimentación equipos electrónicos
cicloconvertidores	variables	variadores V
reguladores PWM	variables	SAI (sistema de alimentación ininterrumpida) -convertidor CC-CA

Tabla 36. Tipos de cargas y problemas mas comunes.

Existe un conjunto de criterios que dividen los armónicos en importados y exportados; los primeros provienen de la fuente de tensión; por tanto en general de la propia acometida y se

tratará de armónicos de tensión. Por lo general la magnitud de estos armónicos no es importante, y si se dispone de un transformador propio, será difícil que en baja tensión aparezcan armónicos de valor apreciable. De todas formas la primera cuestión es identificar las fuentes de los armónicos ya que en la mayoría de instalaciones aparecen armónicos importados y exportados.

En cuanto a los armónicos exportados, que son generalmente los de mayor importancia, estos corresponden a armónicos de corriente generados por receptores como los convertidores antes tratados. Para los armónicos importados la fuente se comporta como un generador de tensión, con la impedancia del transformador en serie, en el supuesto de despreciar la impedancia de entrada, teniendo un circuito en el que la fuente tiene en serie las impedancias del Transformador y la línea. Análogamente para los armónicos exportados, se obtendría un circuito donde la fuente es de corriente y tiene en paralelo las impedancias de transformador y de línea.

3.4 Efectos de los Armónicos

3.4.1 Efectos sobre los cables

La distribución de la corriente a través de la sección transversal de un conductor solo es uniforme cuando se trata de corriente directa. En corriente alterna, a medida que la frecuencia aumenta, la no uniformidad de la distribución de corriente es más pronunciada. En conductores circulares la densidad de corriente aumenta del centro a la superficie. Las capas externas son menos ligadas por el flujo magnético que las internas, es decir, con corriente alterna es inducida más tensión longitudinalmente en el interior del conductor que en la superficie, por lo tanto la densidad de corriente va en aumento del interior, a las capas externas del conductor, este fenómeno es denominado *efecto skin*.

3.4.2 Efectos sobre los transformadores

La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de

carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil. Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas I^2R , pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro. De manera individual, el efecto de los armónicos en estas pérdidas se explica a continuación:

- Pérdidas sin carga o de núcleo: son producidas por el voltaje de excitación en el núcleo, aunque la corriente de magnetización consiste de armónicos, éstos son muy pequeños comparados con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.
- Pérdidas I^2R : si la corriente de carga contiene armónicos, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.
- Pérdidas por corrientes de Eddy: estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no sinusoidal (y por lo tanto también en su temperatura).
- Pérdidas adicionales: estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, se considera que varían con el cuadrado de la corriente y la frecuencia.

3.4.3 Efectos sobre los capacitores

Cuando en un sistema de potencia se tienen capacitores instalados existe la posibilidad de encontrar resonancia entre estos y el sistema, este efecto produce voltajes y corrientes de magnitud considerablemente más alta que en el caso de no haber resonancia. Dado que la reactancia de los capacitores decrece con el aumento de la frecuencia, este se comportará como un “sumidero” para corrientes con alta frecuencia armónica. Este efecto incrementa el esfuerzo dieléctrico y el calentamiento dentro del capacitor; el calentamiento

no es ningún problema debido a que existen capacitores diseñados con películas y laminillas que reducen considerablemente las pérdidas, por otro lado el esfuerzo dieléctrico es importante tenerlo en cuenta ya que los voltajes en los capacitores son aditivos al pico de voltaje de la fundamental. A pesar de que el diseño laminado del dieléctrico de los capacitores permite altos voltajes, estos producen disminución en su vida útil y fatigan el dieléctrico cuando es sometido a sobretensiones por largos periodos de tiempo.

3.4.4 Efectos sobre los motores

El mayor efecto que tienen los armónicos de tensión en las máquinas rotativas sincrónicas y en los motores de inducción es el incremento de calor debido a las pérdidas en el hierro y en el cobre a altas frecuencias, por lo tanto, los armónicos afectarán tanto la eficiencia de la máquina como el torque desarrollado.

Los armónicos de corriente en motores pueden aumentar la emisión de ruidos audibles comparado con la excitación sinusoidal, también pueden producir reparticiones de flujo resultante las cuales pueden causar o aumentar el fenómeno llamado “cogging” (la negativa al arranque suave) o el llamado “crawling” (alto deslizamiento) en los motores de inducción.

Los armónicos de corriente en pareja tales como el quinto y el séptimo tienen el potencial de producir oscilaciones mecánicas en la combinación turbina – generador o en sistemas motor carga. Estas resultan cuando el torque oscila y es causado por una interacción entre las corrientes armónicas y el campo magnético de frecuencia fundamental. Por ejemplo, el quinto y el séptimo armónico pueden combinarse para producir una torsión en el rotor del generador a la frecuencia del sexto armónico. Si existe una resonancia mecánica de frecuencia cercana a la eléctrica, altas fuerzas mecánicas pueden ser desarrolladas en algunas partes del motor.

Debido a que las corrientes armónicas se combinan y afectan el flujo giratorio de la máquina es necesaria más corriente para producir el mismo trabajo, por lo tanto la eficiencia disminuye.

3.5.5 Efectos Sobre Otros Equipos

Los equipos electrónicos sensitivos son susceptibles a operación incorrecta a causa de los armónicos. En algunos casos estos equipos dependen de la determinación precisa del cruce por cero del voltaje u otros aspectos de la forma de onda del mismo, por lo que condiciones de distorsión pueden afectar su operación adecuada.

En lo que respecta a equipos de medición e instrumentación, estos son afectados por las componentes armónicas, principalmente si se tienen condiciones de resonancia que causen altos voltajes armónicos en los circuitos.

Para el caso de medidores se pueden tener errores positivos o negativos, dependiendo del tipo de medidor y de las armónicas involucradas. La siguiente tabla presenta un resume de las causas y consecuencias que traen los efectos de los armónicos.

Efectos de los armónicos	Causas	Consecuencias
Sobre los conductores	Las intensidades armónicas provocan el aumento de la IRMS, el efecto pelicular reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia.	Disparo intempestivos de las protecciones Sobrecalentamiento de los conductores
Sobre el conductor de neutro	Cuando existe una carga trifásica + neutro equilibrada que genera armónicos impares múltiplos de 3	Cierre de los armónicos homopolares sobre el neutro que provoca calentamientos y sobre intensidades.
Sobre los transformadores	Aumento de la IRMS, las pérdidas de Foucault son proporcionales al cuadrado de la frecuencia, las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia.	Aumento de los calentamientos por efecto Joule en los devanados Aumento de las pérdidas en el hierro
Sobre los motores	Análogas a las de los transformadores y generación de un campo adicional al principal	Análogas a las de los transformadores más pérdidas de rendimiento
Sobre los condensadores	Disminución de la impedancia del condensador con el aumento de la frecuencia.	Envejecimiento prematuro por amplificación de los armónicos existentes.

Tabla 37. Resumen efectos de los armónicos.

3.5 Máximos Niveles de Distorsión de Acuerdo al Estad. IEEE-519

Los límites de distorsión que los armónicos pueden producir se miden en la frontera entre la empresa suministradora de energía y el usuario (point of common coupling - PCC). La distorsión que el usuario produce a la empresa de energía depende de las corrientes armónicas que le inyecte y de la respuesta de impedancia del sistema a estas frecuencias.

En ese sentido se ha establecido que los límites de distorsión armónica permitidos a los usuarios se midan en corrientes. La distorsión que la empresa de energía le produce al usuario se mide en la forma de onda de la tensión en el punto de frontera entre ambos. Aunque existen varios índices para establecer el grado de contaminación armónica en un punto de frontera, los índices más usados son la distorsión armónica individual y la distorsión armónica total tanto en tensión como en corriente.

3.5.1 Límites aplicables al usuario

En general el usuario debe verificar que:

- No existan sobrecargas en capacitores dentro de la planta.
- No ocurran resonancias series o paralelo a las frecuencias generadas.
- El nivel de armónico en el punto de frontera con la empresa de energía no sobrepase los límites establecidos.

La filosofía de establecer límites de distorsión armónica al usuario, busca:

- Limitar la inyección de armónicos de cada usuario individual para que no produzca distorsiones inaceptables de la tensión en funcionamiento normal.
- Evitar que el efecto producido por dicha inyección se refleje en otros usuarios a través de una onda de tensión distorsionada.
- Evitar que entre todos los usuarios se vaya presentando un efecto acumulativo de distorsión de la forma de onda de tensión inaceptable.

Los límites de distorsión total armónica máxima son iguales para usuarios como para suministradores y se muestran en la Tabla 38.

Tensión en la frontera	Distorsión individual de tensión en %	Distorsión armónica de tensión THD (%)
69kV o menos	3.0	5.0
69 a 161kV	1.5	2.5
Más de 161kV	1.0	1.5

Tabla 38. Límites de distorsión armónica total

También establece los límites para los niveles de distorsión de corriente que puede ser "inyectada", por parte de los usuarios. Estos límites se establecen para cada una de las armónicas individuales así como para la distorsión de demanda total (TDD) y están en función del nivel de corto circuito (MVAcc) en el punto de suministro (punto de acoplamiento común) y del valor RMS de la corriente fundamental correspondiente a la demanda máxima promedio de los últimos doce meses (I_L)

Los límites de distorsión para la corriente se presentan en la siguiente tabla.

Icc/I _L	Armónicos Individuales (%)					TDD
	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	
<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

Tabla 39. Límites de distorsión de corriente.

Las ecuaciones para el cálculo de la corriente de cortocircuito y la distorsión de demanda total son:

$$I_{CC} = \frac{MVA_{CC}}{\sqrt{3}[kV_{LL}]} \quad [Ecu. 16]$$

$$TDD_h(\%) = 100 \left[\frac{I_h}{I_L} \right] \quad [Ecu. 17]$$

Sin embargo no se tendrán en cuenta debido a que los estudios realizados a las distorsiones armónicas, demuestran que la distorsión armónica de tensión es la más importante y la causante de la mayoría de los daños en equipos causando mal funcionamiento de estos por elevados pico de voltaje.

3.5.2 Límites aplicables a la empresa suministradora

La calidad de la tensión que suministra la empresa de energía con respecto a los armónicos, se mide en términos de la pureza de la onda sinusoidal, por lo que el índice que la define es el THD de voltaje y los índices de distorsión armónica individual de tensión.

3.6 Soluciones para el Problema de los Armónicos

Cuando se tiene un problema de armónicos no se recomienda exponer soluciones que arriesgue el sistema eléctrico y los equipos conectados a él, los costos de los equipos involucrados hacen que ésta metodología no sea aceptable. Además, una recomendación mal analizada puede agravar más el problema. Las soluciones que se pueden implementar son las siguientes:

- Introducción de reactancias y/o bobinas de choque en la línea.
- Elementos absorbentes de armónicos (filtros pasivos, Bancos de condensadores con filtros anti-armónicos)
- Phase Multiplication (transformadores defasadores, sistemas rectificadores de 12 y 18 pulsos)

Cada uno de estos métodos es aplicable y son objeto de estudio más amplio de ahí que en este documento no se muestre el procedimiento de cálculo utilizado en ellos.

3.7 Índices para la Medición de Armónicos

Para analizar los efectos producidos por los armónicos se utilizan generalmente unos índices que cuantifican el nivel de contaminación armónica de las ondas. Para el análisis los índices son comparados con valores límites dados por las normas o con valores de soporte que contienen los equipos. A continuación se presentan las definiciones de los índices más utilizados.

- Índices para armónicos de corriente

Para corriente se tienen dos tipos de índices, los de distorsión armónica individual y los de distorsión armónica total. El índice de distorsión armónica individual se define mediante la siguiente ecuación:

$$D_i = \frac{I_i}{I_n} \times 100\% \quad [Ecu. 18]$$

Donde:

D_i : Distorsión armónica individual de corriente.

I_i : Corriente de cada armónico.

I_n : Corriente nominal del alimentador.

Los índices de distorsión armónica total se definen como:

$$THD_i = \frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (I_i)^2} \times 100\% \quad [Ecu. 19]$$

Lo que es igual a:

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \times 100\% \quad [Ecu. 20]$$

- Índices para armónicos de tensión

El índice de distorsión armónica individual de tensión se define mediante la siguiente ecuación:

$$D_v = \frac{V_i}{V_n} \times 100\% \quad [Ecu. 21]$$

Donde:

D_v : Distorsión armónica individual de tensión.

V_i : Tensión de cada armónico.

V_n : Tensión nominal del alimentador.

El índice de distorsión armónica total de tensión se define como:

$$THD_v = \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (V_i)^2} \times 100\% \quad [Ecu. 22]$$

Lo que es igual a:

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2 + V_3 + V_4 + \dots}}{V_1} \times 100\% \quad [Ecu. 23]$$

3.8 Medición de Armónicos en el Campus Ternera

Las mediciones de tensión y corrientes armónicas son esenciales para la segura distribución de la energía eléctrica y el buen comportamiento de los sistemas eléctricos.

Las técnicas usadas para las mediciones de los armónicos son diferentes de aquellas usadas para la medición de los sistemas de potencia ordinarios. Para la universidad manejar un estudio que muestre como se encuentran los niveles de armónicos en su sistema eléctrico es de suma vitalidad, dado que se pueden indicar, que tanto de distorsión armónica existe, que porcentajes maneja y como esto puede afectar a la Universidad; si actualmente se están cumpliendo con las normas estándar establecidas y en caso contrario cual sería la mejor alternativa para hacer que se cumplan dichas normas. Con base a esto hemos decidido realizar una serie de mediciones en las salidas (Secundario) de los transformadores que conforman la subestación de la universidad con el equipo analizador de redes, el cual entrega un histograma con los valores de los magnitudes de los armónicos y el orden correspondiente, de tal forma que se pueda mostrar el comportamiento de la corriente y voltaje, y los valores de la distorsión armónica obtenidas con el equipo.

3.7.1 Transformador de 150kVA Tablero 1

Actualmente este transformador maneja una carga de 145kVA aproximadamente, y alimenta las zonas correspondientes a los aires acondicionado de las oficinas de rectoría, iluminación de parqueaderos, jefe de compras y el edificio de aulas A1, de tal forma que al realizar las mediciones en la fase correspondiente a la corriente de línea I3 y tensión V3, se encuentra la mayor cantidad de armónicos en este transformador, de modo que el analizador, arrojó los datos mostrados en la figura 110 y 111, correspondiente a tensión y

corriente respectivamente, siendo la primera franja el valor correspondiente al fundamental y las siguientes barras a los diferentes valores y orden del armónico respectivo.

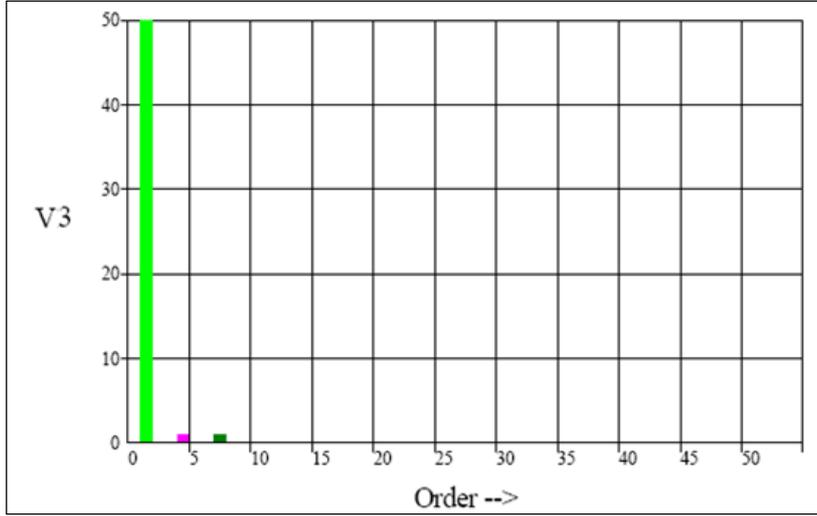


Figura 110. Armónicos de tensión transformador de 150kVA - Tab 1

De igual forma en la tabla 40, se puede observar los valores correspondientes para el histograma de tensión y corriente, observando los valores picos, negativos y positivos, RMS y THD, para cada una de las mediciones.

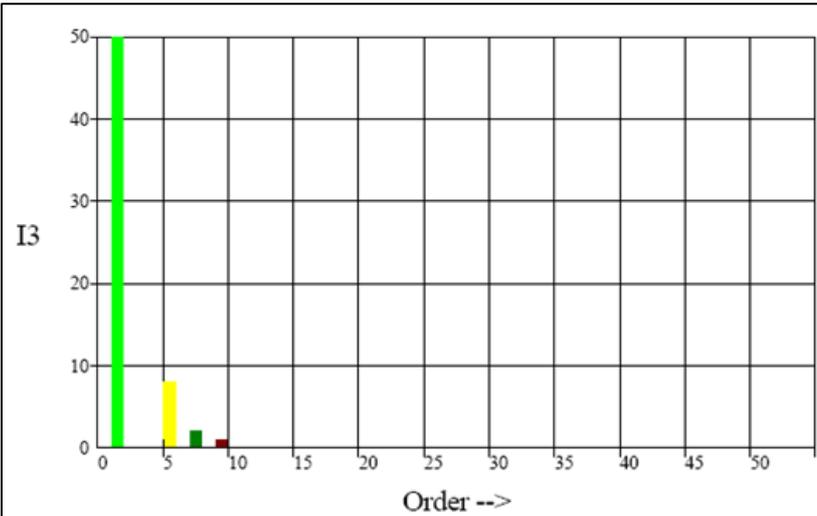


Figura 111. Armónicos de corriente transformador de 150kVA-Tab 1

Corriente					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
386.3A	588.5A	-599.2A	1.52	8,40%	60
Tensión					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
141.1V	195.8V	-200.2V	1.39	2,10%	60

Tabla 40. Valores obtenidos para el transformador de 150kVA-Tab 1

A continuación se muestran las figuras 112 y 113, donde se logra evaluar el comportamiento de las ondas de tensión y corriente respectivamente de tal forma que podemos observar como las diferentes ondas se distorsionan por causa de la presencia de armónicos, como este edificio maneja una gran cantidad de Pc's, podemos afirmar que las fuentes de estos, producen la mayor parte de armónicos para este transformador, no obstante si nos referimos a la tabla 41, donde se detallan los limites de THD para tensión, encontramos que esta se encuentran dentro del rango establecido de tensión.

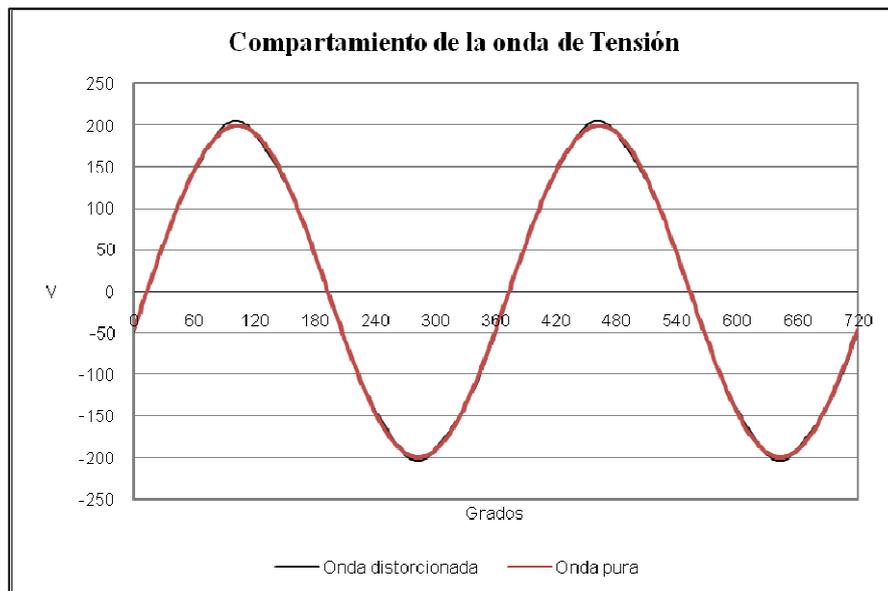


Figura 112. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada-Tab 1

Especificamos la diferencia de entre la onda de tensión y corriente, esta ultima se ve mas distorsionada debido al alto porcentaje que de distorcion sin duda alguna causando algunos de los efectos mencionado en los efectos de los armonicos.

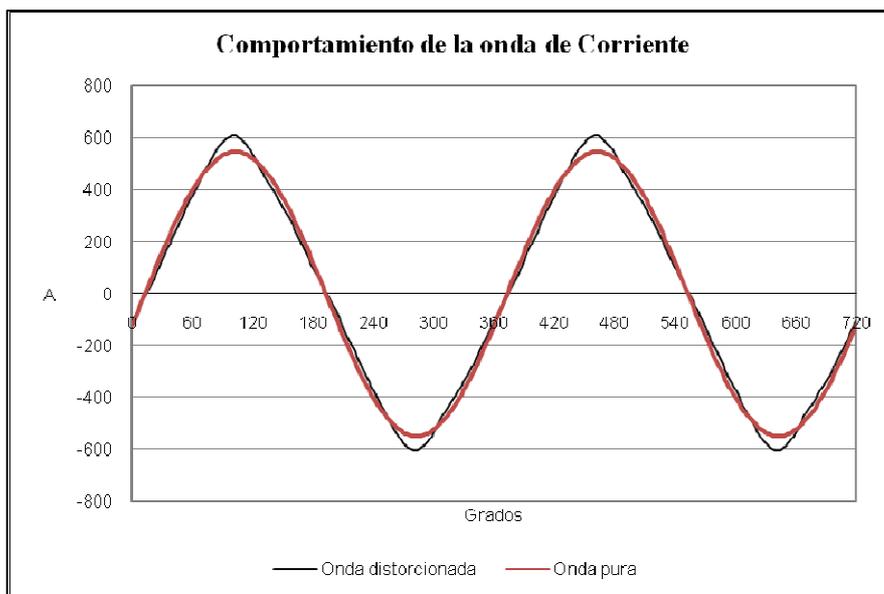


Figura 113. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada-Tab 1

3.7.2 Transformador de 150kV.A Tablero 2

Para este transformador tenemos que opera a una carga aproximada de 117.1kVA y la fase más sobre cargada hace referencia a la corriente I1 y V1, este transformador maneja principalmente los aires acondicionado del edificio de administración y algunos laboratorios de ingenierías eléctrica, industrial y mecánica, talleres y Call Center como sus cargas más relevantes. Las formas de armónicos para este transformador se muestran en la figura 114 y 115, correspondiente a tensión y corriente respectivamente, y la tabla 41 muestra los resultados obtenidos con el analizador.

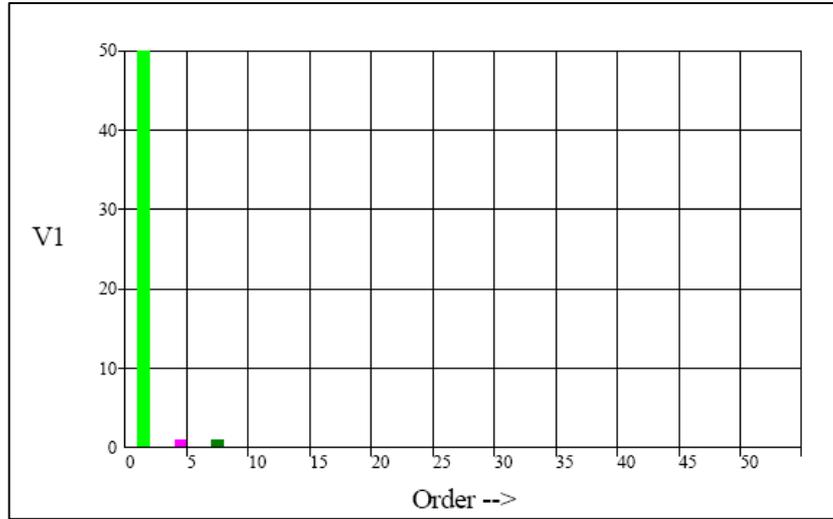


Figura 114. Armónicos de tensión transformador de 150kVA-Tab2

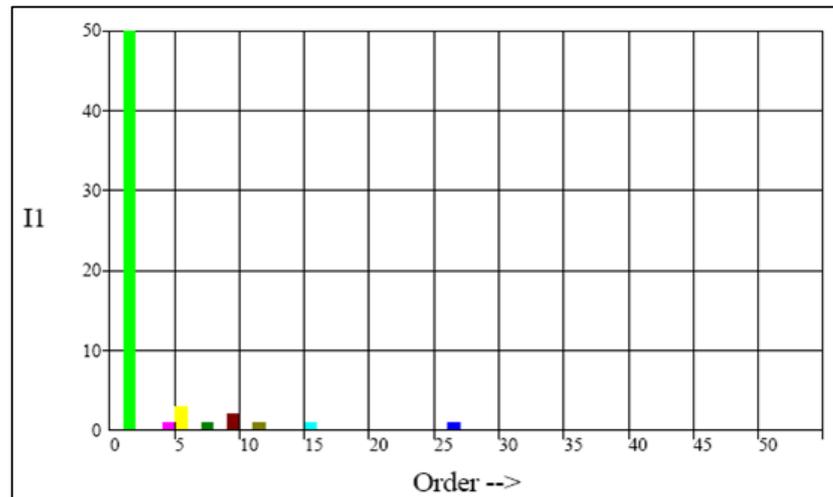


Figura 115. Armónicos de corriente transformador de 150kVA-Tab 2

Corriente					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
192.9A	276.4A	-277.9A	1,43	5,50%	60
Tensión					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
128.0V	179.0V	-181.1V	1,4	1,40%	60

Tabla 41. Valores obtenidos para el transformador de 150kVA-Tab 2

Las siguientes figuras muestran el comportamiento que tiene las ondas de tensión y corriente donde se puede apreciar la alta distorsión que presenta la onda de corriente, siendo unas de las más armónicos contiene, de tal forma que se obtiene una onda muy distorsionada hasta el momento, mientras que la correspondiente a tensión no es muy distorsionada, cumpliendo lo requerimientos exigidos en las tablas, este bajo factor de distorsión como logramos observar en la tabla anterior, la obtenemos debido a la clase de equipos que se tienen en ese tablero.

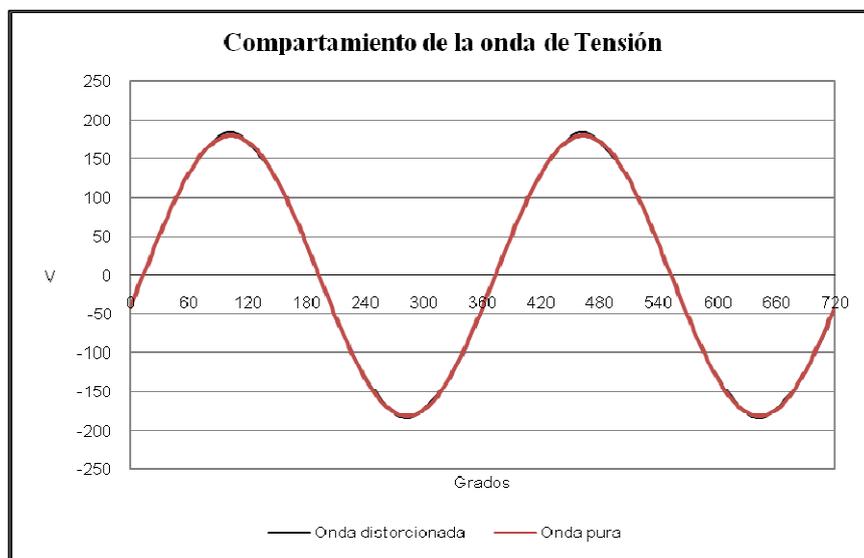


Figura 116. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada-Tab 2

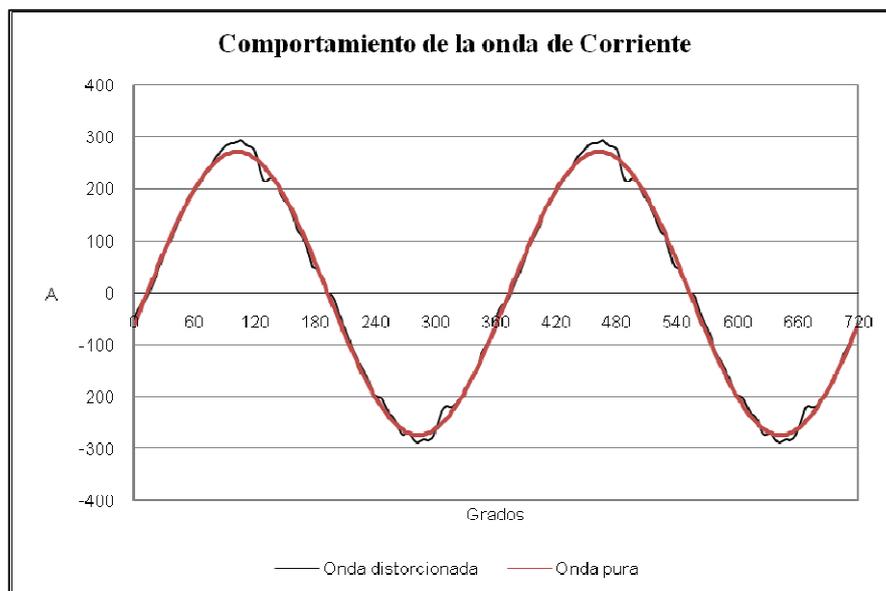


Figura 117. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada-Tab 2

3.7.3 Transformador de 75kVA Tablero 3

Este transformador maneja una carga aproximada de 63.9kVA, haciendo referencia a la facultad de ingeniería de sistema e industrial, aires acondicionados de biblioteca y SIRIUS, y la fase más sobrecargada es la correspondiente a I2 y V2, así que las figuras 118 y 119, muestran las formas de los armónicos obtenidas en la medición, mientras que en la tabla 42, podemos observar los valores obtenidos para este transformador.

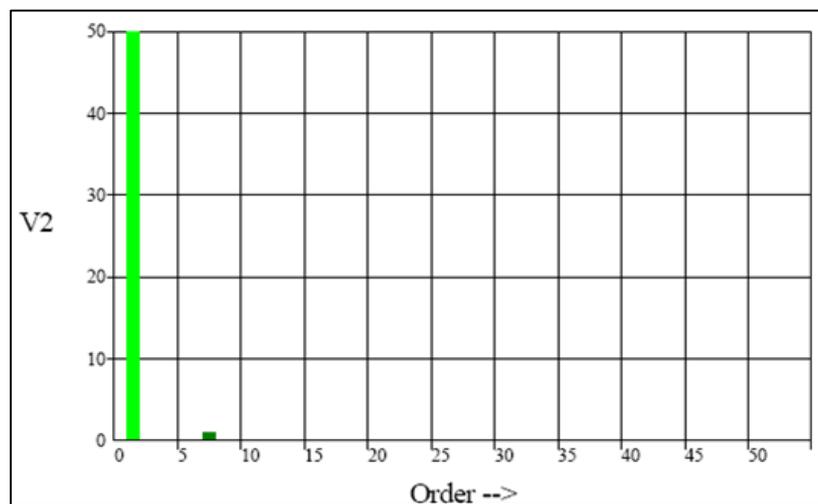


Figura 118. Armónicos de tensión transformador 75kVA-Tab 3

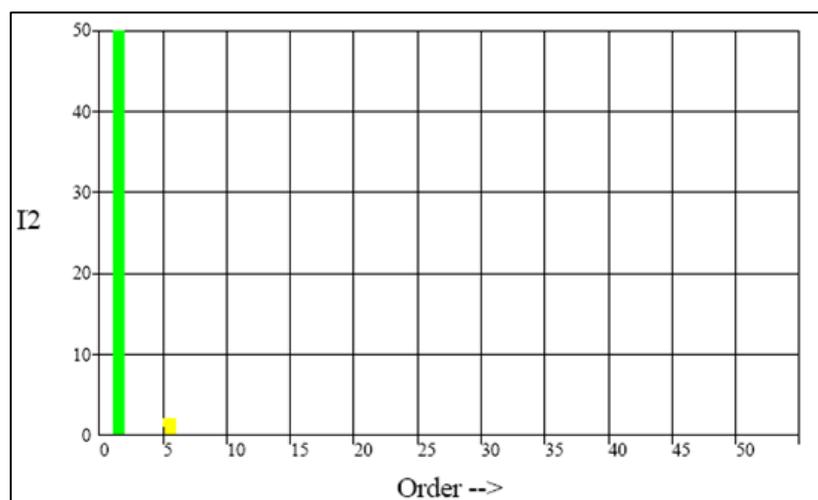


Figura 119. Armónicos de corriente transformador 75kVA-Tab 3

Corriente					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
151.1A	219.4A	-217.9A	1.45	3,20%	60
Tensión					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
115.3V	162.2V	-161.1V	1,41	1,50%	60

Tabla 42. Valores obtenidos para el transformador de 75kVA-Tab 3

La tabla anterior muestra unos porcentajes muy bajos, siendo hasta ahora los más bajos para corriente y el rango promedio para el de tensión, es decir, que el contenido de armónicos para este transformador es más bajo estudiado hasta el momento.

Las figuras correspondiente al comportamiento de las ondas distorsionadas por armónicos, las podemos apreciar a continuación, donde podemos observar que nuevamente la onda distorsionada de la corriente es mucho más pronunciada que la de tensión

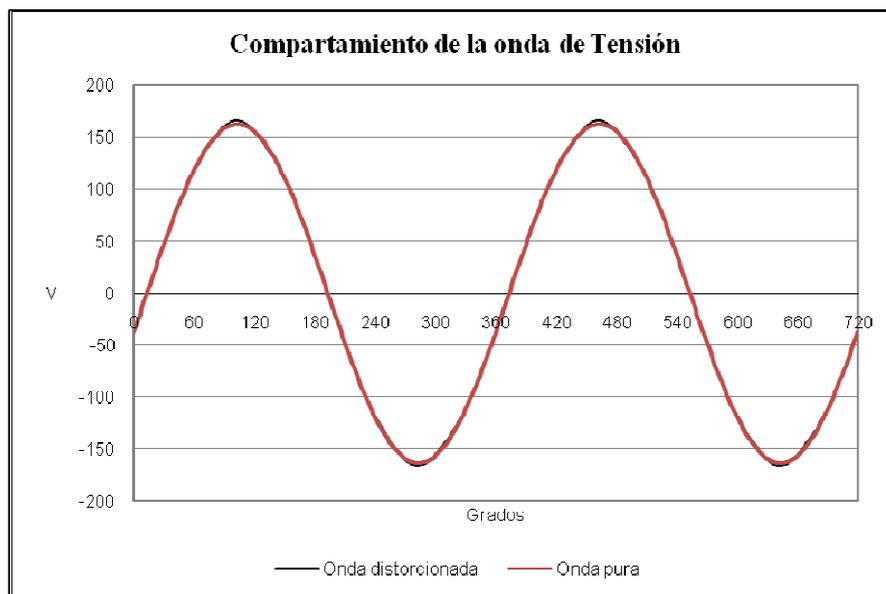


Figura 120. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 75kVA-Tab 3

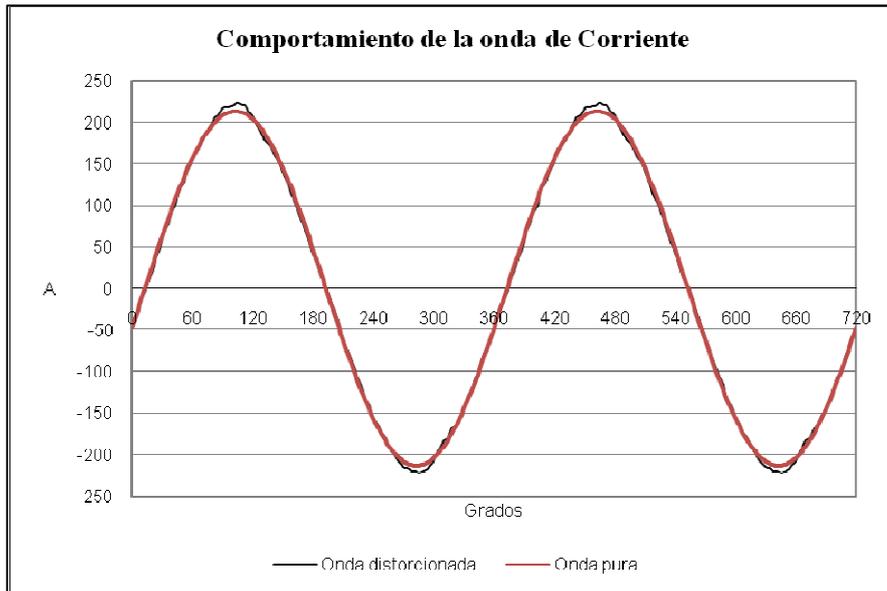


Figura 121. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 75kVA-Tab 3

3.7.4 Transformador de 150kVA Tablero 3

El transformador de 150kVA, maneja una carga aproximada de 98.8kVA, que corresponde a luces y tomas de la biblioteca, cafetería alcatraz, edificio administración y Poeta - Maloka de tal forma que se escogió la fase concierne a la corriente I2 y V2, siendo las figuras 122 y 123, las correspondientes a demostrar la cantidad de armónicos para el transformador, mientras que la tabla 43, indican los valores obtenidos en las mediciones.

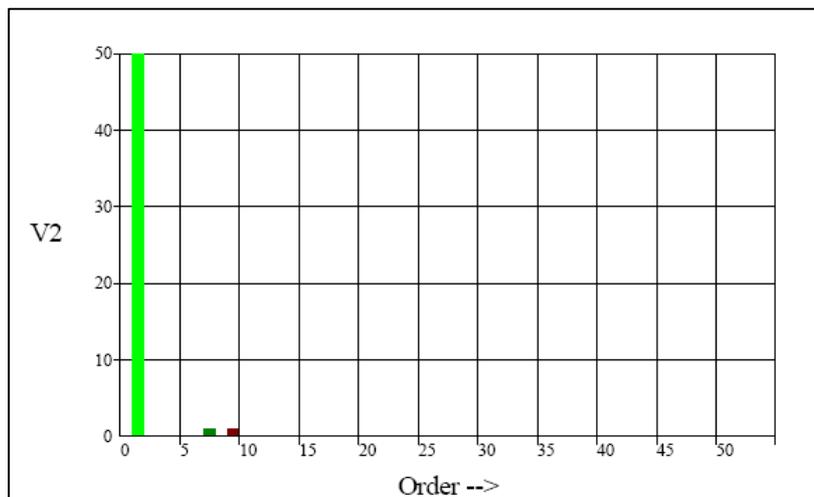


Figura 122. Armónicos de tensión transformador de 150kVA-Tab 3

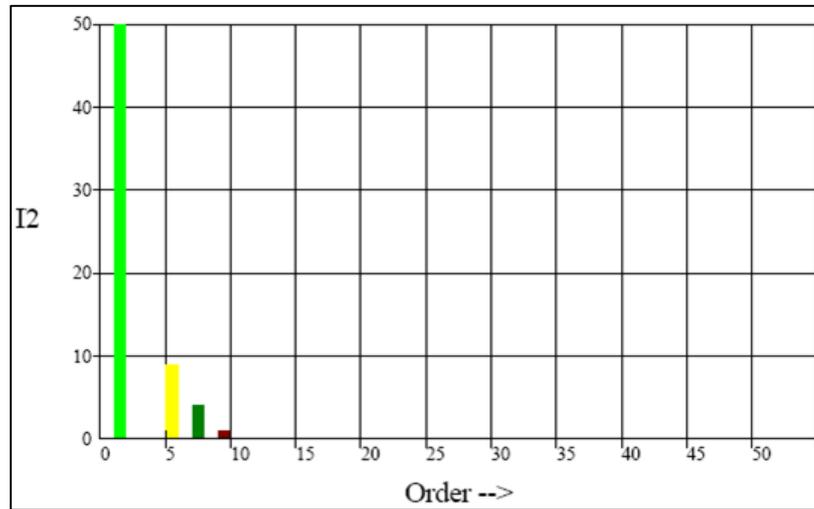


Figura 123. Armónicos de corriente transformador de 150kVA-Tab 3

Corriente					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
135.4A	219.4A	-215.8A	1,62	10,80%	60
Tensión					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
129.7V	178.2V	-180.0V	1,37	1,80%	60

Tabla 43. Valores obtenidos para el transformador de 150kVA-Tab 3

Este transformador al igual que el transformador de 150kV.A del tablero 1, maneja un alto porcentaje de PC's, de ahí que el valor obtenido en el THD de la corriente sea el más elevado hasta el momento, debido a que esto interviene en la generación de armónicos de tensión el valor obtenido para este tiende hacer uno de los elevados, no obstante se encuentra dentro de los establecidos por el estándar de la IEEE.

En la figuras 124 y 125, podemos apreciar que ciertamente la onda de tensión se ve un poco distorsionada, mientras que la onda de corriente presenta una variación altísima.

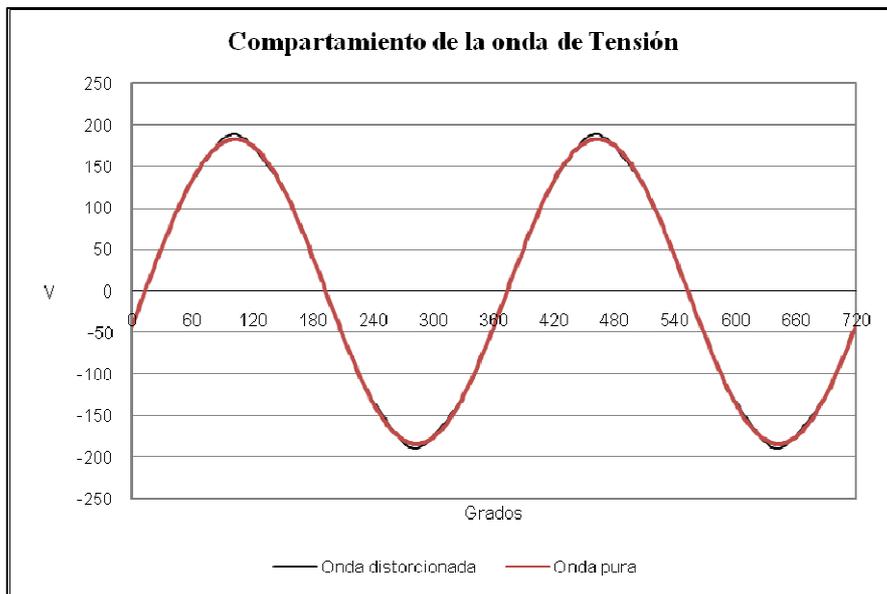


Figura 124. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 150kVA-Tab 3

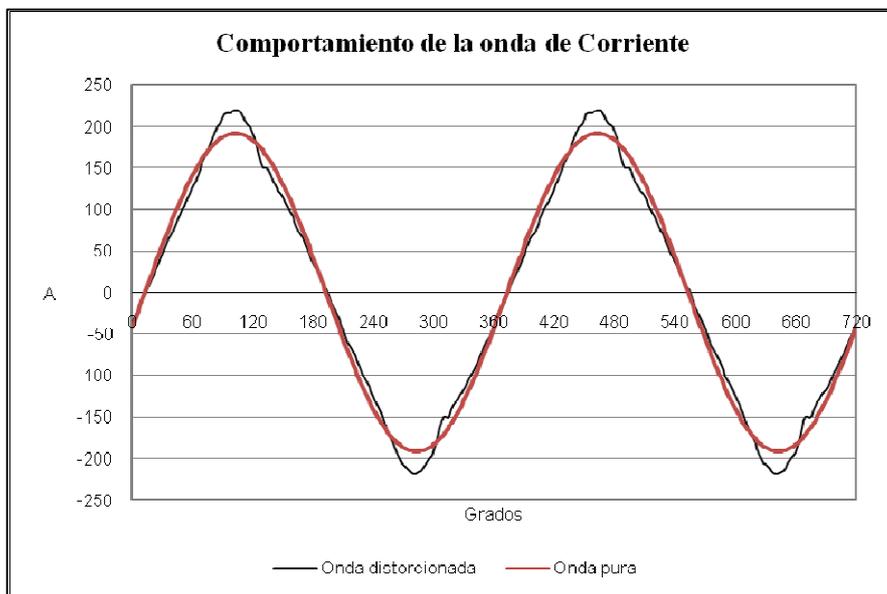


Figura 125. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 150kVA-Tab 3

3.5.5 Transformador de 225kVA Tablero 4

Este transformador con una carga promedio de 142.7kVA, distribuida en el edificio A2, el aire acondicionado del mismo edificio, laboratorio de sistemas digitales y luces, tomas y aire del quinto piso, de tal forma que la fase más sobrecargada es la correspondiente a la corriente I2 y V2, la cantidad de armónicos obtenidos en la mediciones se pueden observar en las figuras 126 y 127, y la tabla 44.

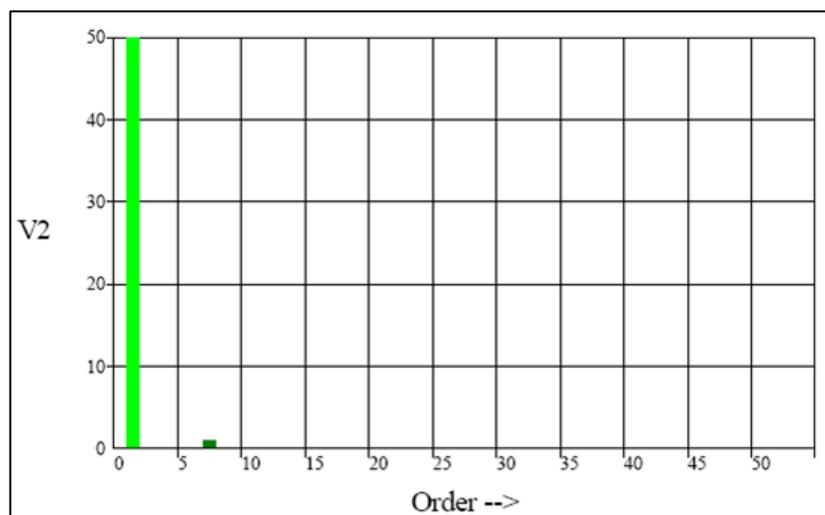


Figura 126. Armónicos de tensión transformador de 225kVA-Tab 4

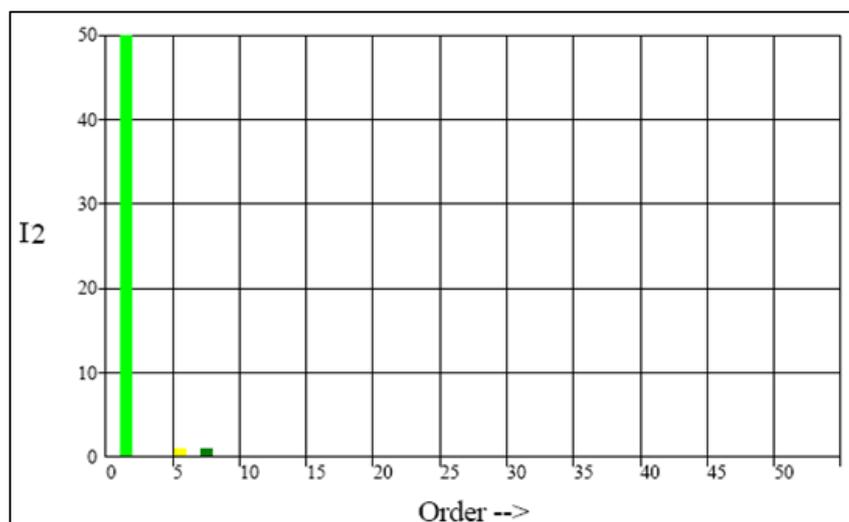


Figura 127. Armónicos de corriente transformador de 225kVA-Tab 4

En esta tabla se logra apreciar, que nuevamente se maneja un bajo porcentaje de armónicos, manteniendo unos porcentajes permisibles y totalmente diferentes a los anteriormente mostrados excluyendo el transformador del 75kV.A, no obstante en esta nuestra el THD en corriente más bajo que sea obtenido en las mediciones.

Corriente					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD-F	Hz
383.4A	540.5A	-546.7A	1,41	1,60%	60
Tensión					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD-F	Hz
125.4V	174.3V	-175.4V	1,39	1,70%	60

Tabla 44. Valores obtenidos para el transformador de 225kVA-Tab 4

Las siguientes figuras, refuerzan lo anteriormente indicando, es válido aclarar que estamos midiendo en un transformador relativamente nuevo en la Universidad, lo que indica que posiblemente dentro de un largo periodo de servicio este comience a variar sus valores y hagan presencias armónicos.

Las figuras, muestran unas ondas casi similares a una sinusoidal pura, lo cual implica el bajo contenido de armónicos en estas.

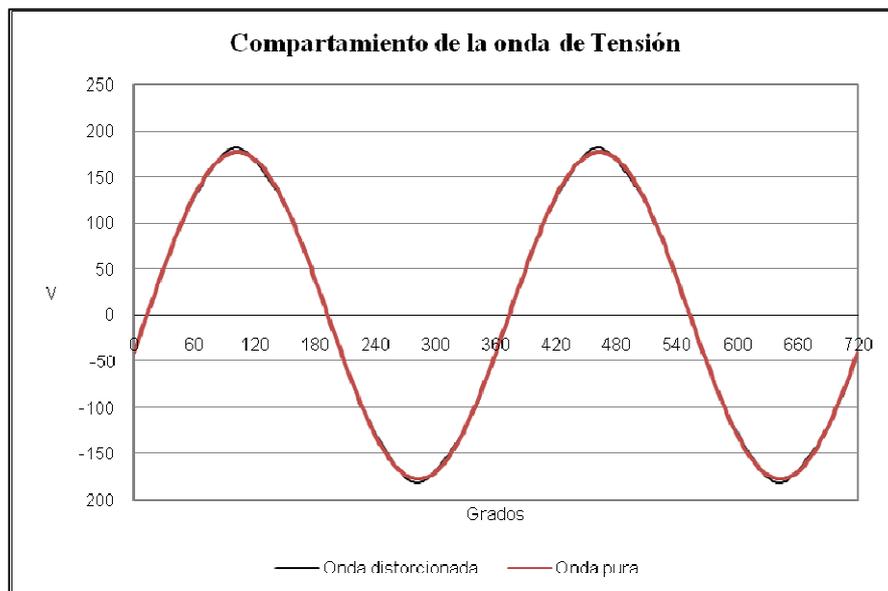


Figura 128. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 225kVA-Tab 4

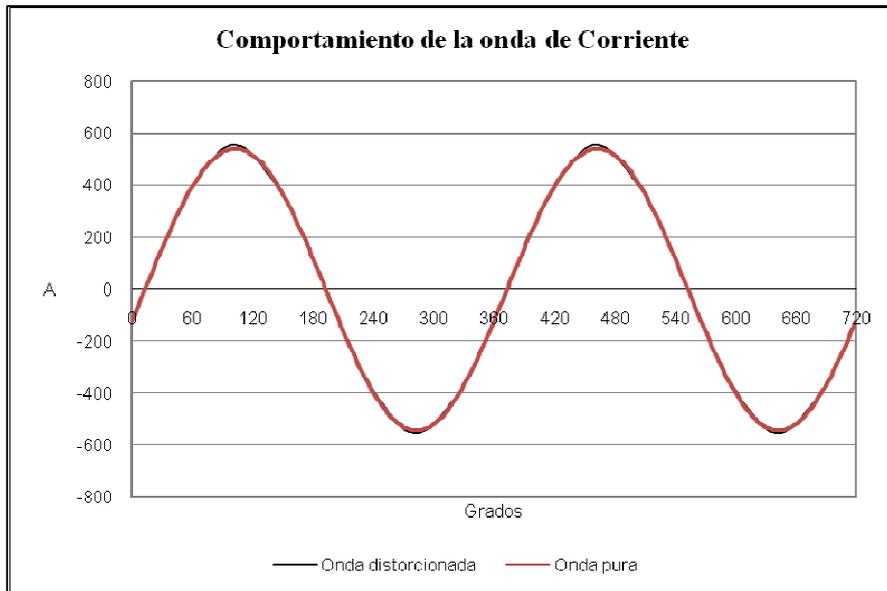


Figura 129. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 225kVA-Tab 4

3.7.6 Transformador de 112kVA Tablero 4

Unos de los transformadores que maneja menos carga es este con un valor aproximado de 43.5kVA, refiriéndose al gimnasio, edificio bienestar, cafetería 2 y enfermería, como sus cargas relevantes e indicando que la fase más recargada hace referencia a la correspondiente a la corriente I3, este transformador, arrojo en las mediciones de armónicos los histogramas que alcanzamos a observar en las siguientes figuras, mientras que la tabla 45, muestra cómo están los valores de corriente y tensión y su porcentaje de armónicos.

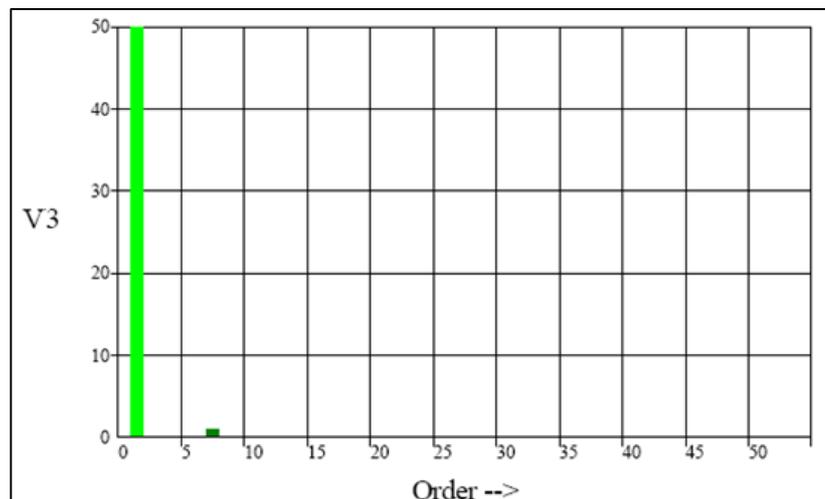


Figura 130. Armónicos de tensión transformador de 112kVA-Tab4

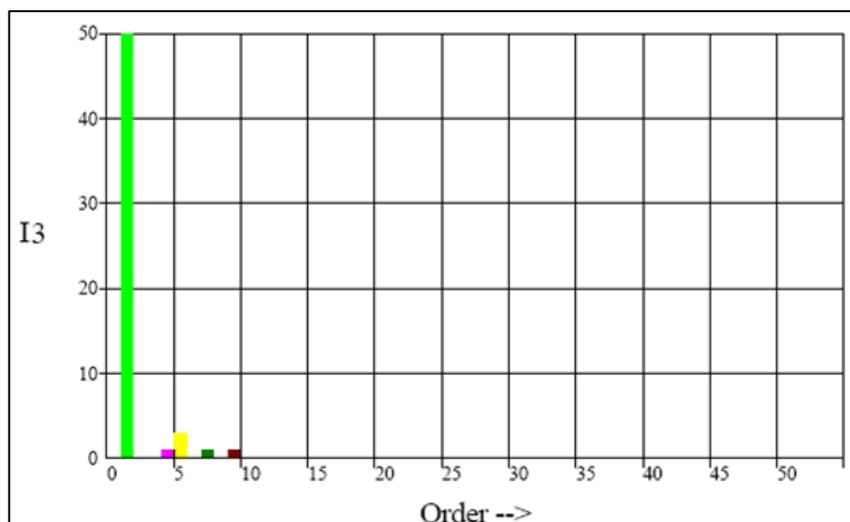


Figura 131. Armónicos de corriente transformador de 112kVA-Tab4

Corriente					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
108.4A	153.9A	-156.1A	1,42	4,20%	60
Tensión					
RMS	PEAK+	PEAK-	C.F.	THD	Hz
122.9V	172.3V	-170.8V	1,4	1,40%	60

Tabla 45. Valores obtenidos para transformador de 112kVA-Tab 4

La anterior tala muestra unos valores no muy elevados para la distorsión en tensión, manteniéndose dentro de los rangos establecidos en el estándar del IEEE.

Ahora bien las figuras 132 y 133, muestran el comportamiento de la onda distorsionada, observamos en la grafica de la distorsión de la corriente como es de notable el sobre salto que presenta la onda.

Estas figuras denotan el poco grado de distorsión armónica de tensión que se presenta para este caso.

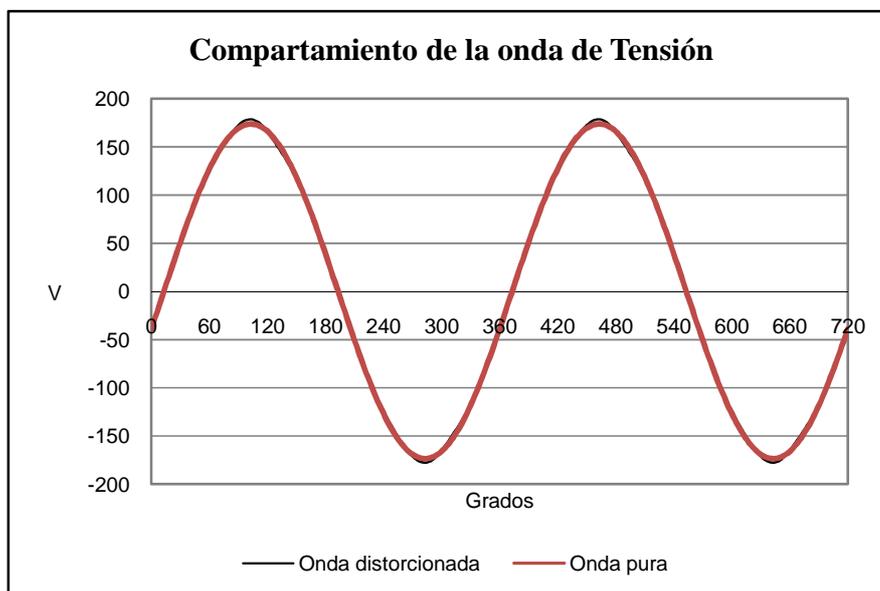


Figura 132. Comportamiento de la onda de tensión distorsionada, transformador de 112kVA-Tab 4

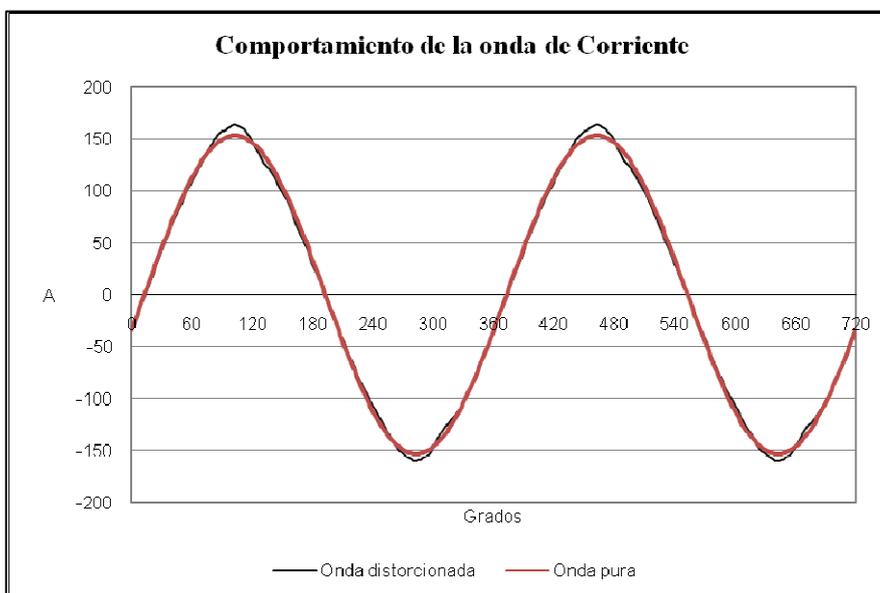


Figura 133. Comportamiento de la onda de corriente distorsionada, transformador de 112kVA-Tab 4

IV. CONCLUSIONES, OBSERVACIONES y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- ✦ La recopilación de la información técnica de los equipos consumidores de energía eléctrica y los transformadores del campus de ternera, demuestra que los aires acondicionados, son los equipos que más energía eléctrica consumen, así mismo se encontró, que la no utilización de lámparas ahorradoras, están generando un consumo que se podría disminuir si estas son reemplazadas por una de mayor eficiencias.
- ✦ La medición de la intensidad de iluminación, resultando que el 69% del sistema de iluminación es deficiente teniendo un promedio de 224 Luxes, solamente el edificio de Rectoría y Biblioteca cumple con lo establecido por el Reglamento Técnico Colombiano para evaluación y control de iluminación y el RETIE , demostrando así que los demás edificios como A1 y A2, donde se encuentran las aulas de clases y los laboratorios, no cumplen, lo establecidos en las normas, no obstante la biblioteca es la única en cumplir los conceptos establecidos, esto se debe al amplio uso de lámparas Ecolux F32T8, las cuales mejoran la iluminación, proporcionando el confort visual necesario para realizar actividades como: lecturas, escritura, entre otras.
- ✦ Las lámparas Sylvania Daylighth F48T12/D corresponden al 72% del total de las instaladas en el campus y sus lugares de mayor utilización son los edificios A1 y A2, áreas que tienen solo en iluminación una carga instalada de 17.073kW y 25.848kW respectivamente, correspondiente a las aulas de clases y laboratorios, el 28% restante hacen referencia a bombillos y a las lámparas Ecolux, la mayoría instalada en la biblioteca.
- ✦ Se obtuvo mediante el software Dialux 4.1 que las luminarias Sylvania Daylighth F48T12/D no cumplen con los requerimientos mínimos establecidos en el artículo 16 del RETIE en dos de los tres casos planteados en el estudio, comparándolas con

un tipo de lámparas como son las Ecolux F32T8, las cuales entregan desde el primer caso mejores valores en cuanto a intensidad de luxes se refiere. Se obtuvo en el mejor de los casos una intensidad de 303 luxes con las lámparas Sylvania Daylight F48T12/D mientras que con las Ecolux F32T8 se obtuvo 414 luxes, demostrando que esta última mejora el factor de iluminación mostrando mayor eficiencia.

- ✦ Se obtiene una propuesta para sustituir (gradualmente) las luminarias para mejorar la calidad de iluminación y proporcionar un ahorro del 19.72% en consumo, lo que representa \$350.000 pesos mensuales, mejorando la intensidad de iluminación de 224lx (Valor medido) a 414lx (Valor medido y simulado), comprobando así que se puede mejorar el factor de iluminación y al mismo tiempo se puede disminuir el consumo de energía y obtener un ahorro en el momento de cancelar las facturas de cobro.
- ✦ Se determinó la capacidad de carga instalada por edificios demostrando que el 65% de la carga instalada corresponde a los aires acondicionados mientras que el 35% restante corresponde a iluminación, computadores y otros equipos consumidores, mientras que el edificio que más carga instalada tienen es el edificio A2 con aproximadamente 120.116 kW repartidos entre aires acondicionados (80.458kW), iluminación (25.848kW) y otros (13.81kW).
- ✦ El análisis de carga y consumo energético arrojó como resultado el comportamiento de la carga diaria por transformadores en el campus ternera, mostrando las horas de máximo consumo, comportamiento del factor de potencia, corrientes, tensión. Se determina que el transformador de 150kV.A (tablero 1), llega a trabajar en las horas de máximo consumo a un 96.6% de su capacidad, además que la mayoría de transformadores poseen un desbalance con importantes porcentajes entre una fase y otra, esto perjudica el correcto funcionamiento de los transformadores. Se permite observar los diagramas fasoriales y diagramas del comportamiento de la tensión vs corriente donde se observa detalladamente que la carga en la universidad es de carácter inductivo, esto para cada uno de los transformadores.
- ✦ Se encontró que la universidad viene aumentando el consumo de reactivos causando penalización, aun que los valores de cobros y de consumo no son

alarmantes, se observa que la universidad en un año a aumentado su consumo de reactivos un 68.75%, este aumento de reactivos en la universidad en gran parte se debe al transformador de 225kV.A el cual trabaja a un bajo factor de potencia durante las horas de máximo consumo. Se concluye que no hay problema de reactivos, pero se puede mejorar básicamente en los transformadores de 225kV.A, de 150kV.A (tablero 2) y en el transformador de 150kV.A (tablero 1).

- Se genero un diagrama unifilar donde se indica las protecciones y las cargas instaladas por áreas, diagrama que permite identificar como esta distribuida las cargas en la universidad, a demás de conocer como se representa para cada transformador.
- El estudio de armónicos entrego como resultado que el máximo total de distorsión armónica para la tensión en la universidad fue de 2.1%, manteniéndose por de bajo de lo establecido por el estándar IEEE – 519, lo cual indica que no tiene problemas de armónicos, este máximo valor se obtuvo del transformador de 150kV.A (tablero 1), transformador que esta prácticamente a su máxima carga , eso no deja de decir que dentro de algún tiempo estos comiencen a variar causando incrementos, variaciones y fluctuaciones mayores de tensión y corriente, esto conllevaría a un mal funcionamiento de los equipos, causados por elevados picos de voltaje y corrientes muy variables para una carga fija.

4.2 Observaciones

En el momento de realizar la recopilación de datos del estado actual del sistema eléctrico y las condiciones actuales de las luminarias en la Universidad, cabe mencionar que el estado de los dispositivos de interrupción termo-magnética (break), en la mayoría de los casos no solamente interrumpían la corriente correspondiente al circuito de iluminación sino que también sacan de funcionamiento a algunos tomacorrientes, por lo que se pudo haber incurrido en una mala medición, un caso bastante particular que se da en la sala de profesores de tiempo completo, donde una parte de los tomacorriente se encuentran alimentan del circuito correspondiente a luces, algo que el reglamento técnico de

instalaciones eléctricas (RETIE), no permite, esto sin duda alguna es un caso muy preocupante, pues en el momento en que salga de circulación este break por cualquier razón, los profesores que se encuentren conectados a este circuito quedarían sin luz y a la vez sin energía eléctrica en los tomacorrientes, causando problemas en computado de mesa y demás elementos de consumo eléctrico.

Un aspecto que nos deja realmente preocupado es la desorganización en los tableros de protección, debido a que estos presentan un alto grado de cables regados, degradados y en mal estado, otro aspecto que se presenta es que un solo dispositivo de protección maneja más de dos circuitos los cuales deberían ser totalmente independientes, como es el caso anteriormente mencionado.

4.3 Recomendaciones

- La implementación de un programa de mantenimiento preventivo a las lámparas, para el antiguo y un posible nuevo sistema de iluminación.
- la aplicación de pantallas reflectoras, acrílicos, que no se tuvieron en cuenta dentro de la propuesta, como alternativas para mejorar aun mas el factor de iluminación y eliminar el deslumbramiento.
- el reemplazo colectivo de luminarias cuando estas hayan agotado el 85% de su vida útil, esto debe realizarse de acuerdo a los catálogos técnicos de cada tipo y marca de luminaria.
- Evitar los colores oscuros de techos, paredes, pisos y persianas dado que estos pueden reducir la efectividad del sistema de iluminación hasta en un 50%.
- Establecer un programa de vigilancia de conservación visual, con el fin de disminuir la probabilidad de que se causen molestias, fatiga visual de los trabajadores y alumnos, ejerciendo control sobre los factores de riesgo en el trabajo.
- La universidad debe estar mas pendiente a sus problemas de carga haciendo mediciones periódicas para evitar problemas de cargas, mirando en que transformadores, de tal forma que se puedan evitar problemas correspondientes a

aumentos de cargas y para evitar desbalances como se obtuvo en la mayoría de los casos estudiados.

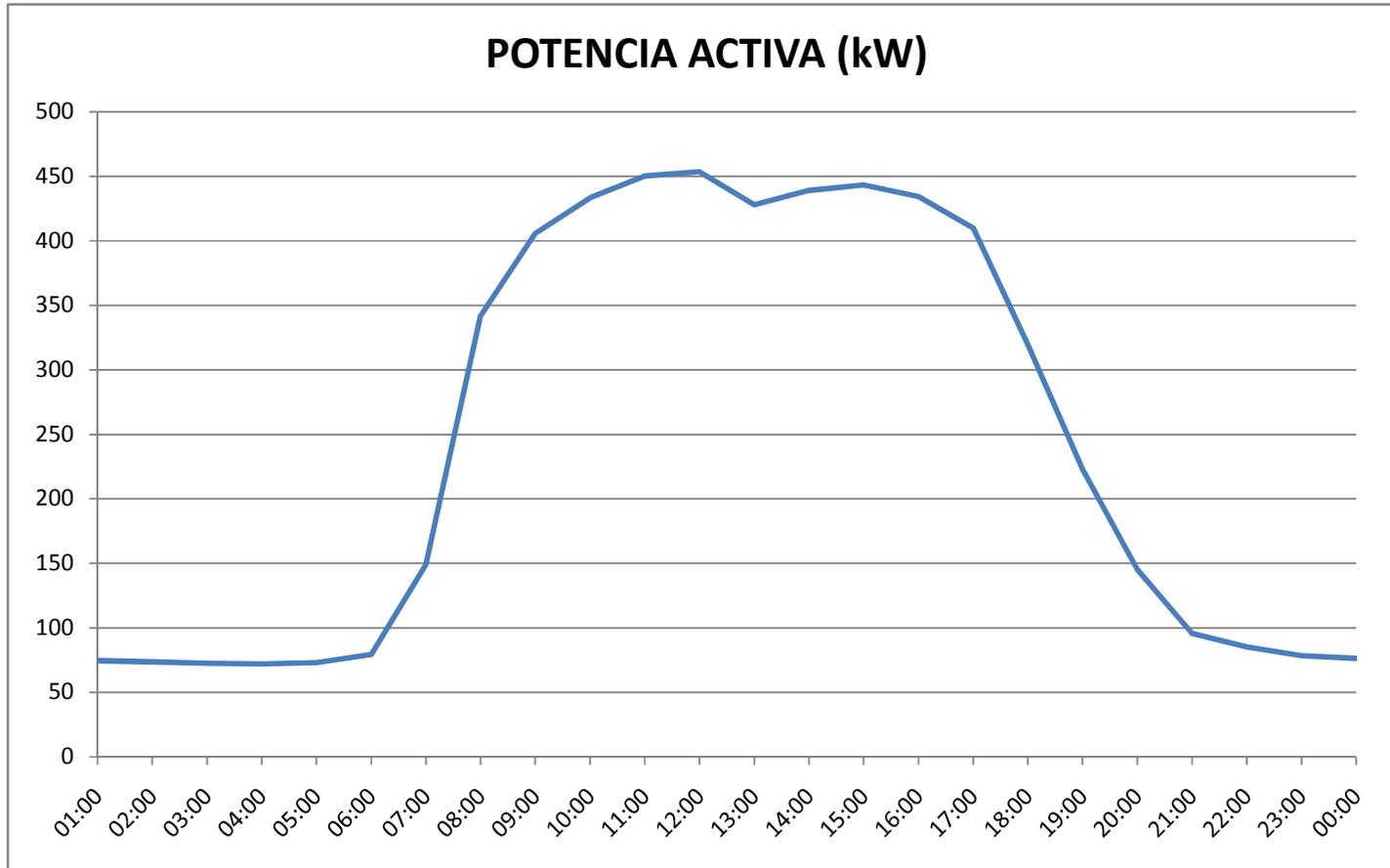
- ✦ En el caso del medidor ACTARIS SL-7000, conectado en el lado de alta (13.2kV) en el tablero 2, es recomendable utilizar el software de usuario que el equipo ofrece de tal forma que se puedan monitorear desde una plataforma virtual el comportamiento de variables como, tensiones y corrientes de fase, potencias aparente, activa y reactiva y factor de potencia, además se puede observar diagrama de fase en tiempo real, este medidor ofrece las capacidad a la universidad de poder supervisar y controlar su consumo de energía.

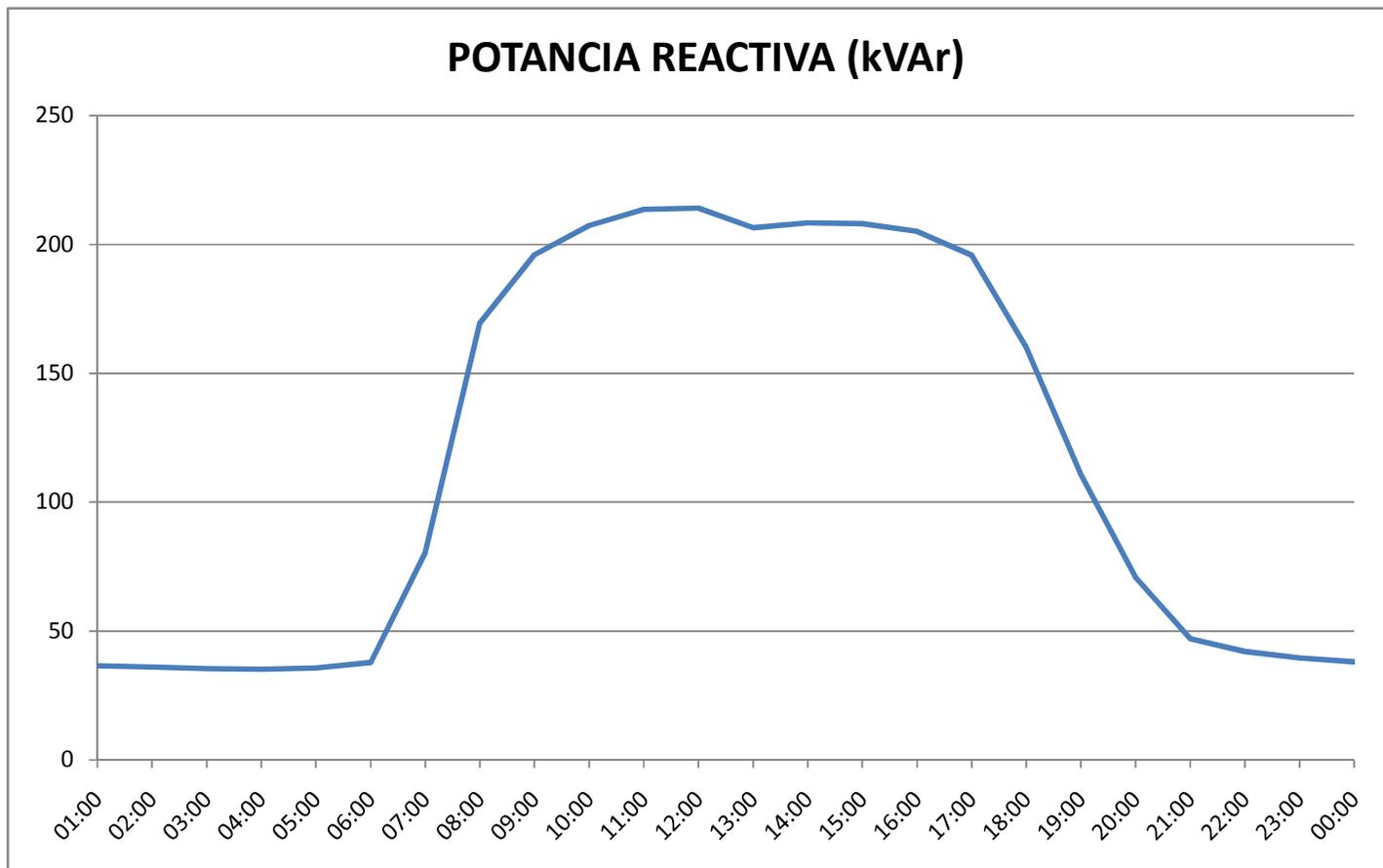
BIBLIOGRAFÍA

- Norma Técnica Colombiana NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano,
- VITTORIO RE, Iluminación Interna, Marcombo Boixerau Editores, Barcelona-España.
- Ministerio de minas y energía, RETIE. Colombia 2007, Artículo 16.
- Nilsson, James W. Riedel, Susan A. Circuitos eléctricos. E.U.A, Prentice hall, 2001.
- García F, Javier. Lámparas Incandescentes, Disponible:
<http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/lincan.html>
- Carmanah (2008, Marzo 12 – Última actualización), Solar marine light, Disponible:
<http://www.solarmarinelights.com/content/products/technology/LightEmittingDiodes.aspx>
- Tecnocem, Lámparas fluorescentes uso y mantenimiento, Disponible:
<http://www.tecnocem.com/lamparas-fluorescentes.htm>
- C.R.E.G, Comisión de regulación de energía y gas, Armónicos, Disponible:
<http://www.creg.gov.co/>
- C.R.E.G, Comisión de regulación de energía y gas, Factor de potencia, Disponible:
<http://www.creg.gov.co/>
- Arcila, José. Armónicos En Sistemas Eléctricos,; Ingeniería Especializada S.A., Disponible: <http://www.ieb.com.co>
- Schneider Electric , Harmonic disturbances in networks, and their treatment; Cahier technique no. 152
- Chapman, David. Harmonics Causes and Effects,; Copper Development Association March 2001. (Version 0b November 2001).
- MOHAN, Ned. power electronics. John Wiley & Sons, Inc. 2003
- Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia - IEEE 519-1992

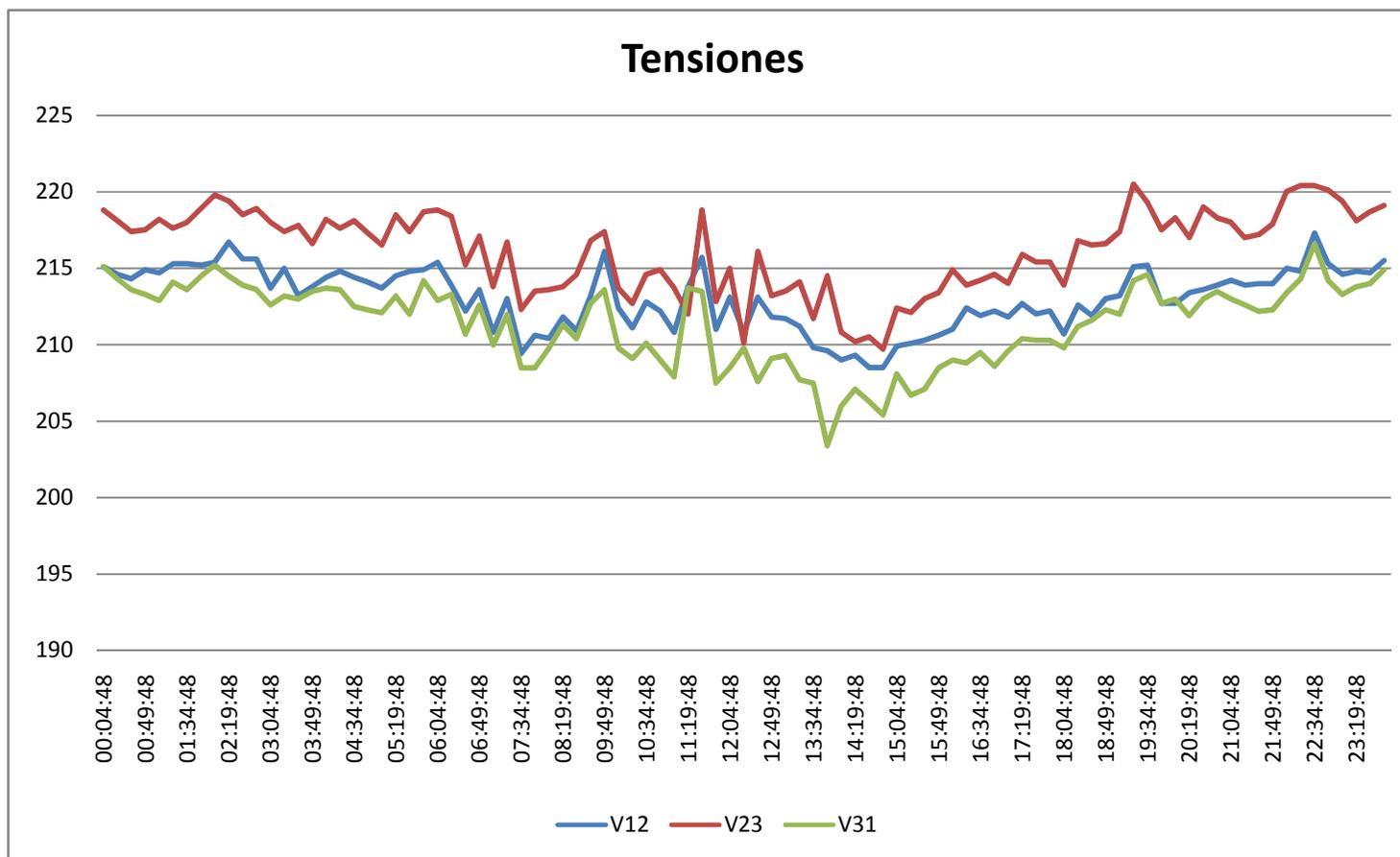
ANEXO

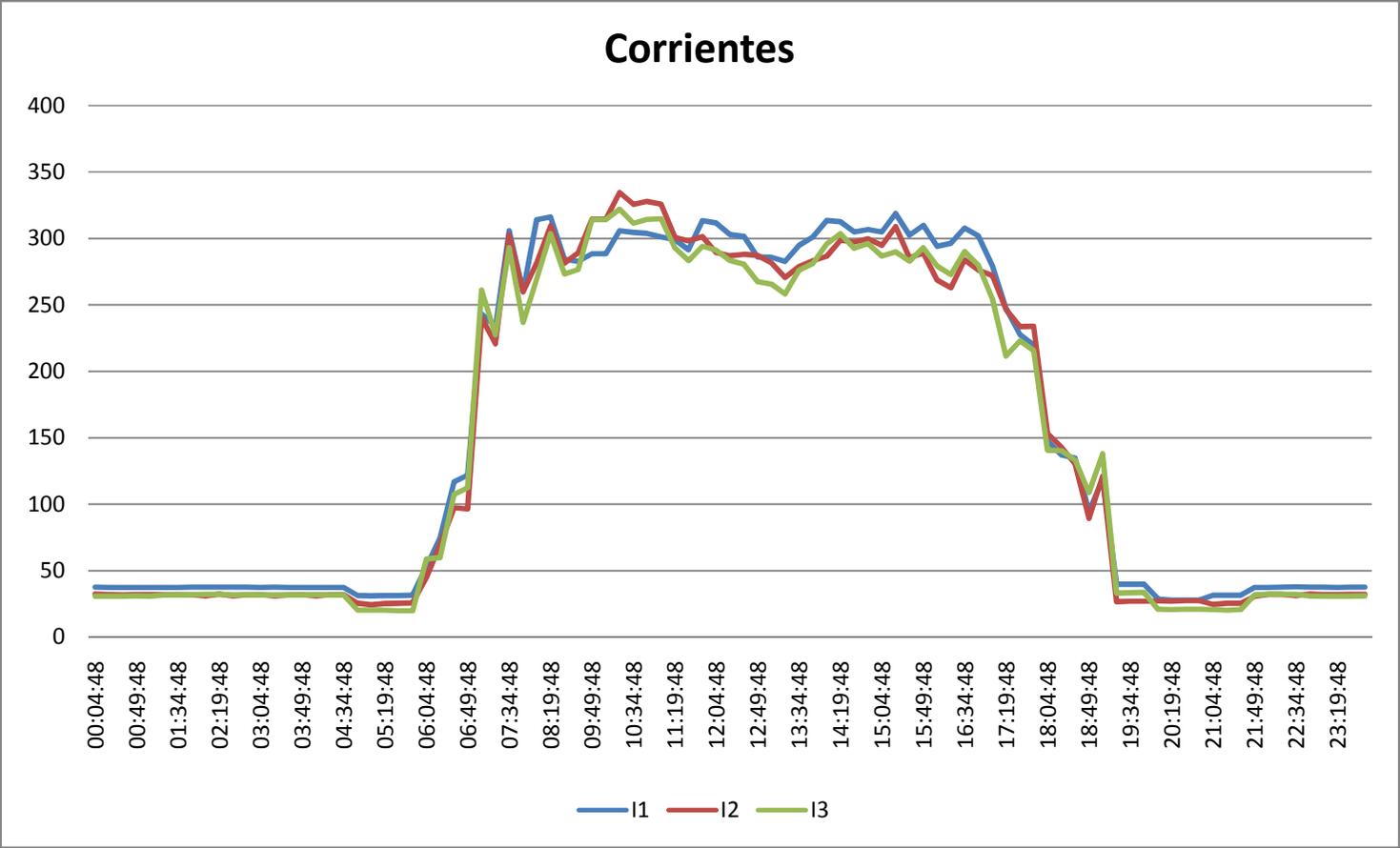
ANEXO A. Potencia medida por el lado de 13.2kV

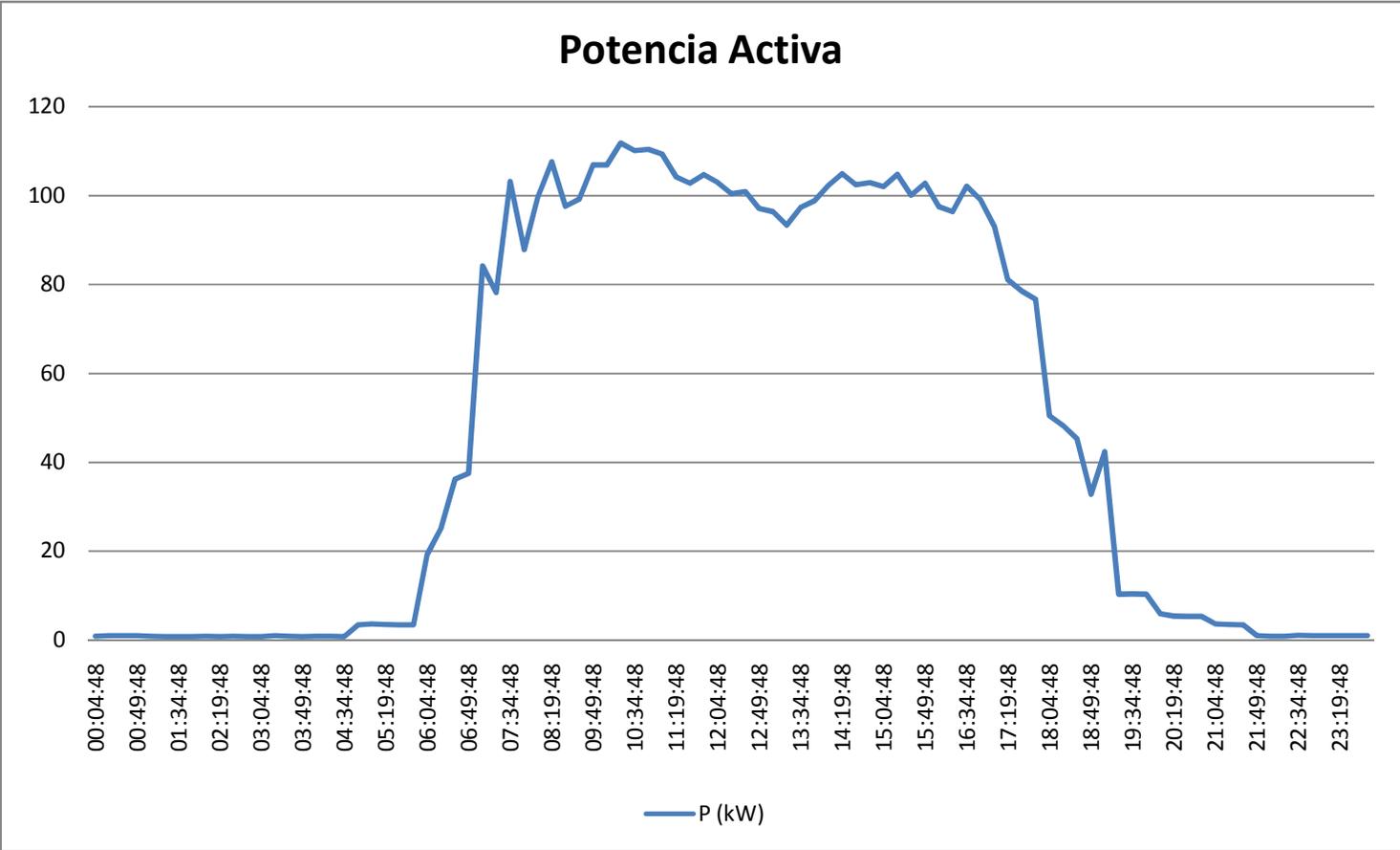


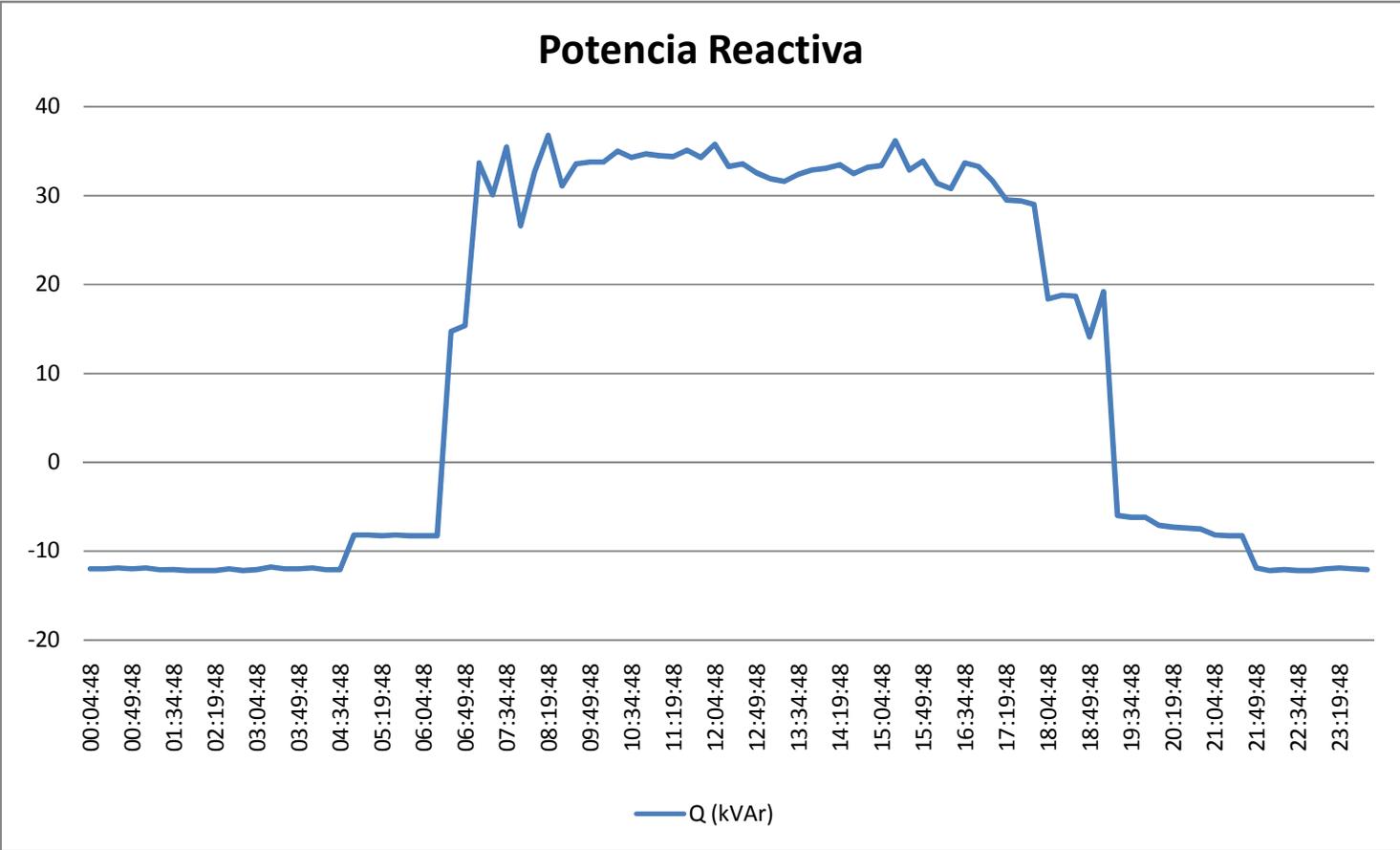


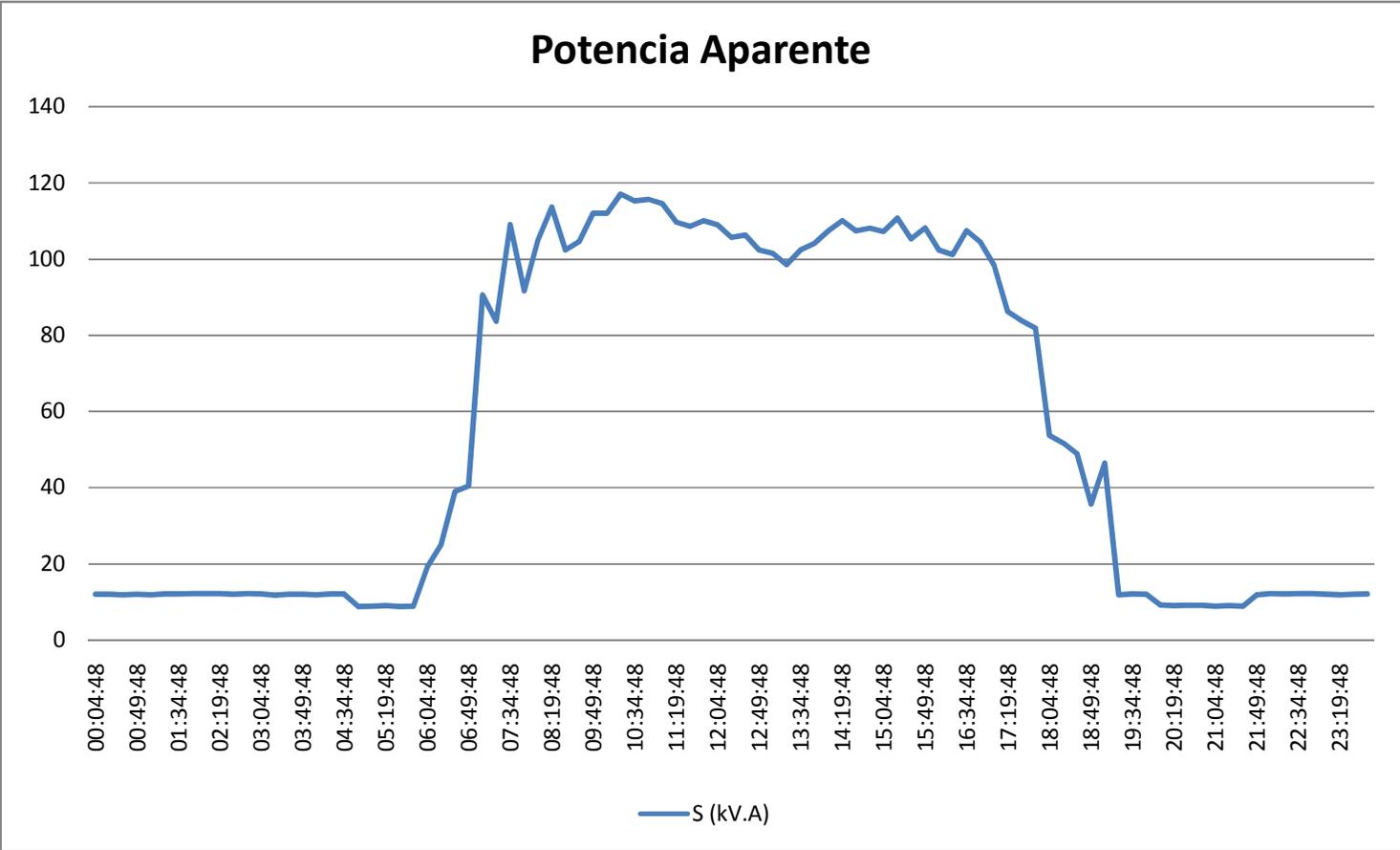
ANEXO B. Tablero 2 - Transformador 150kV.A

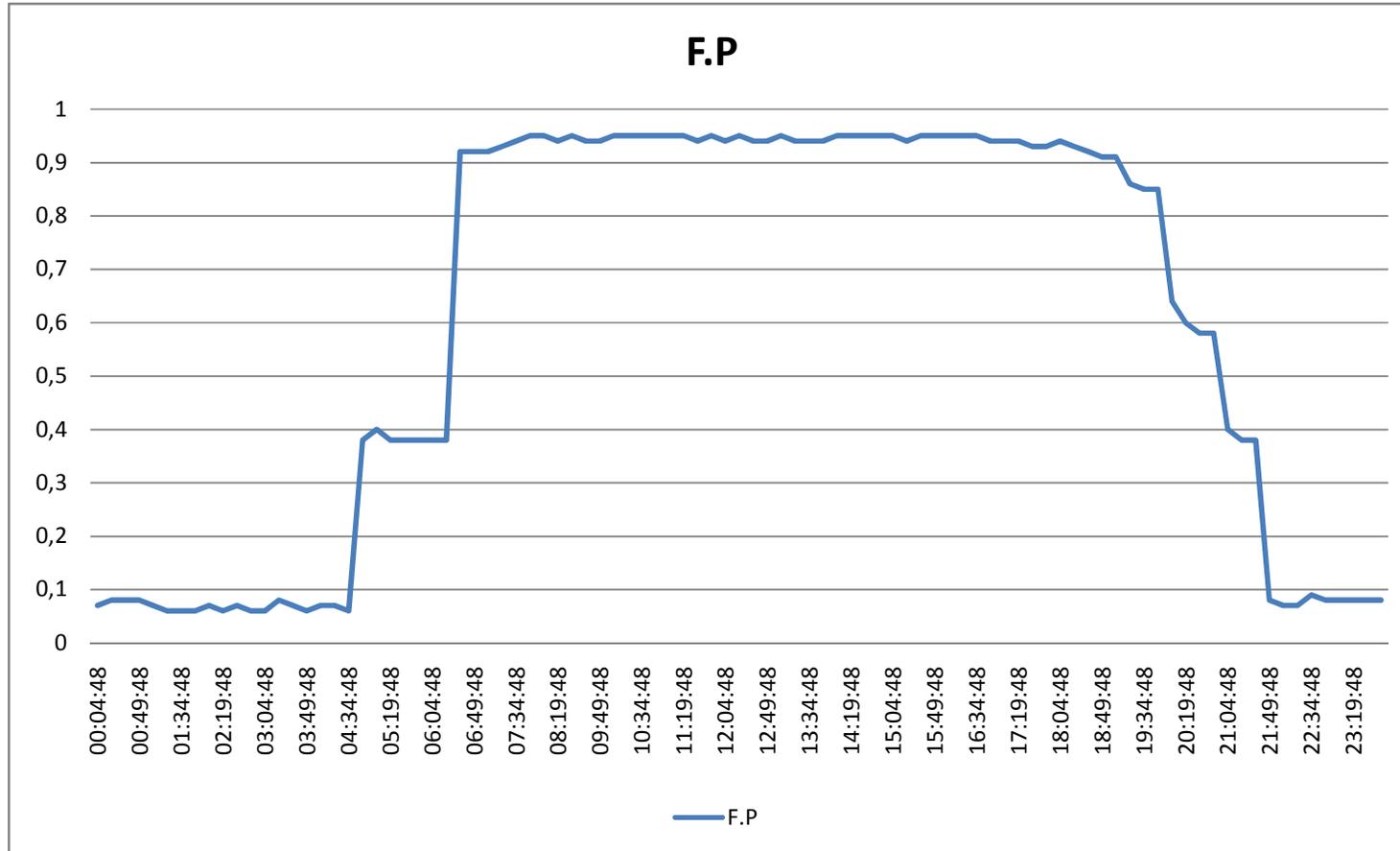




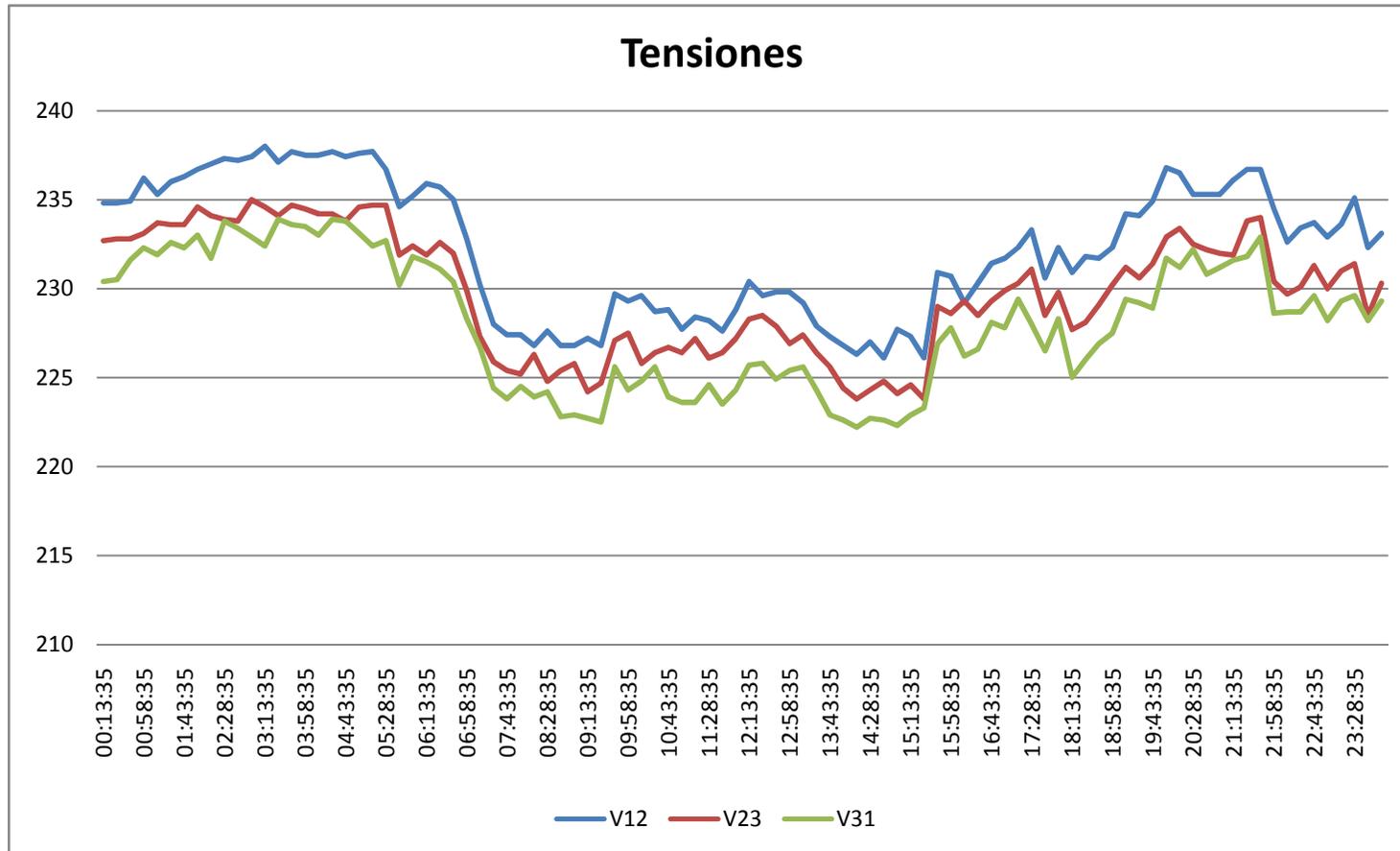


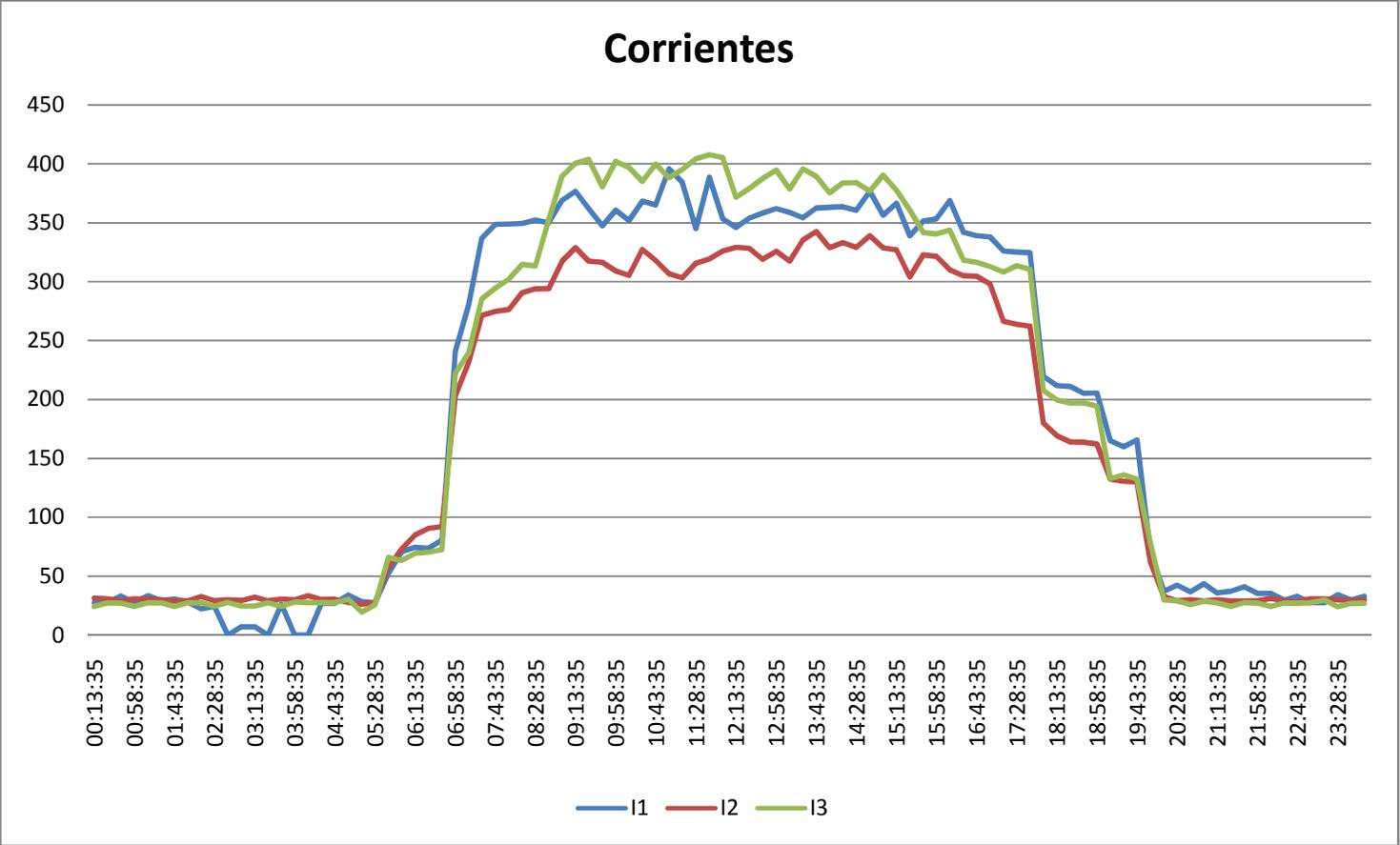


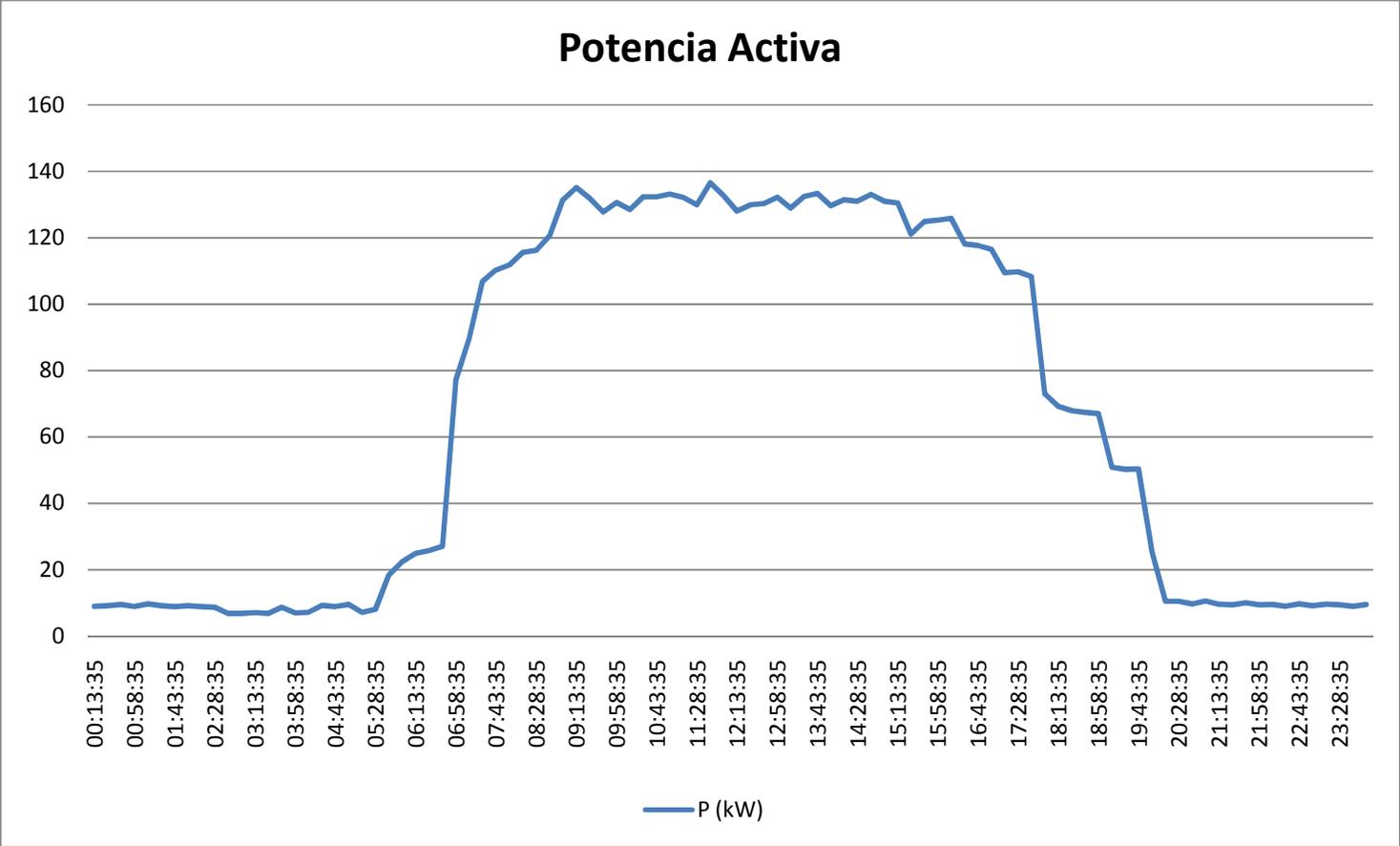


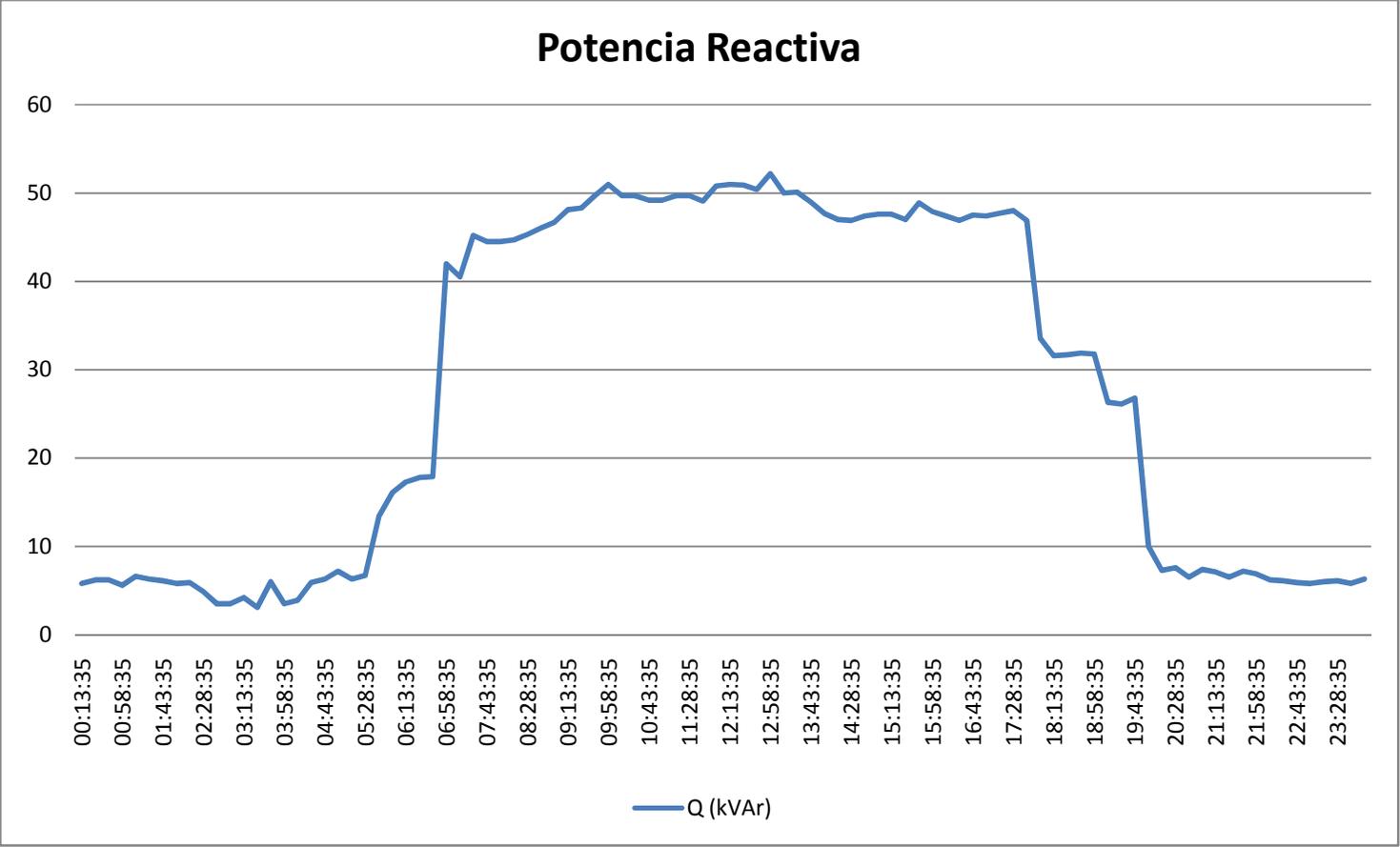


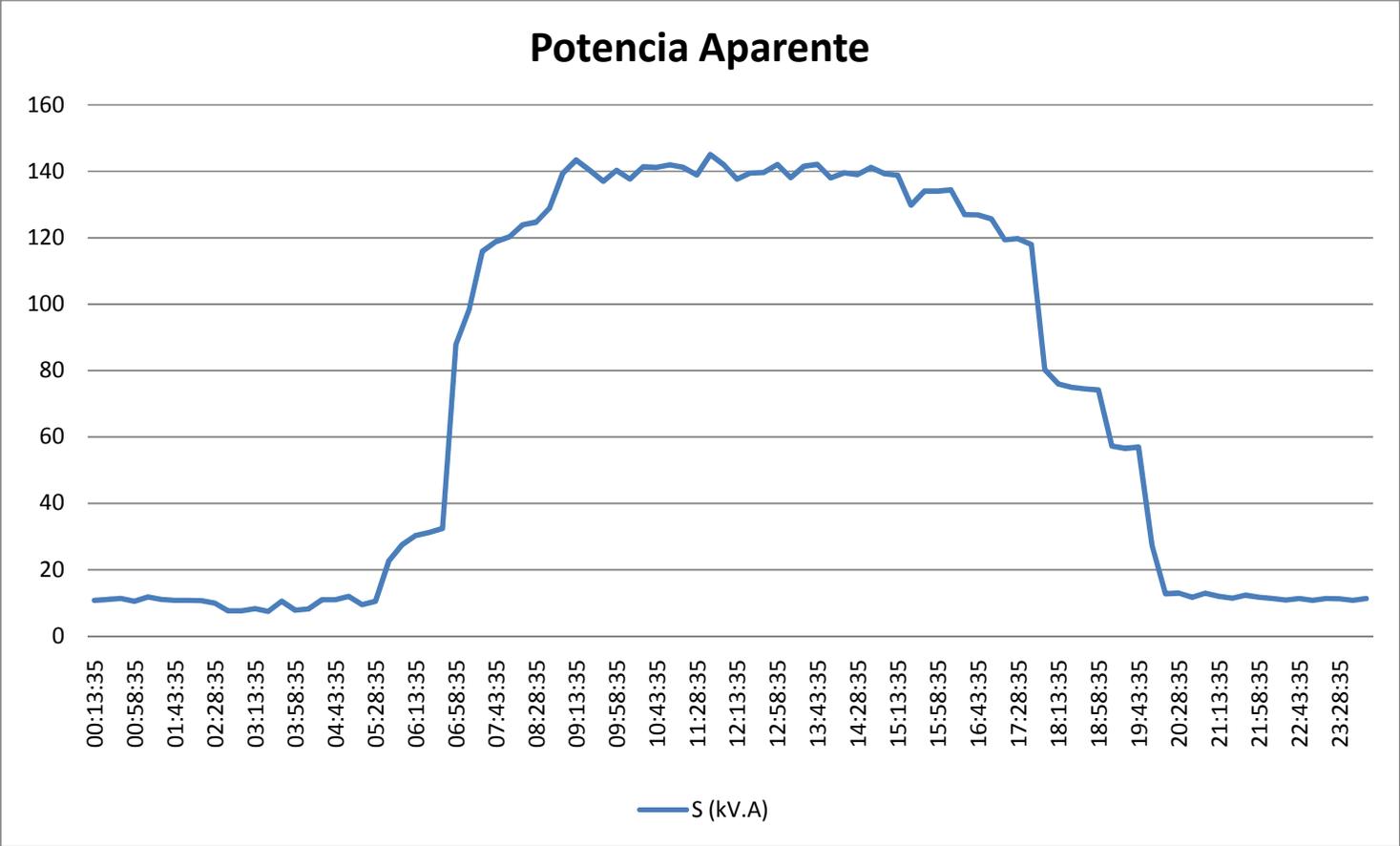
ANEXO C. Tablero 1 - Transformador 150kV.A

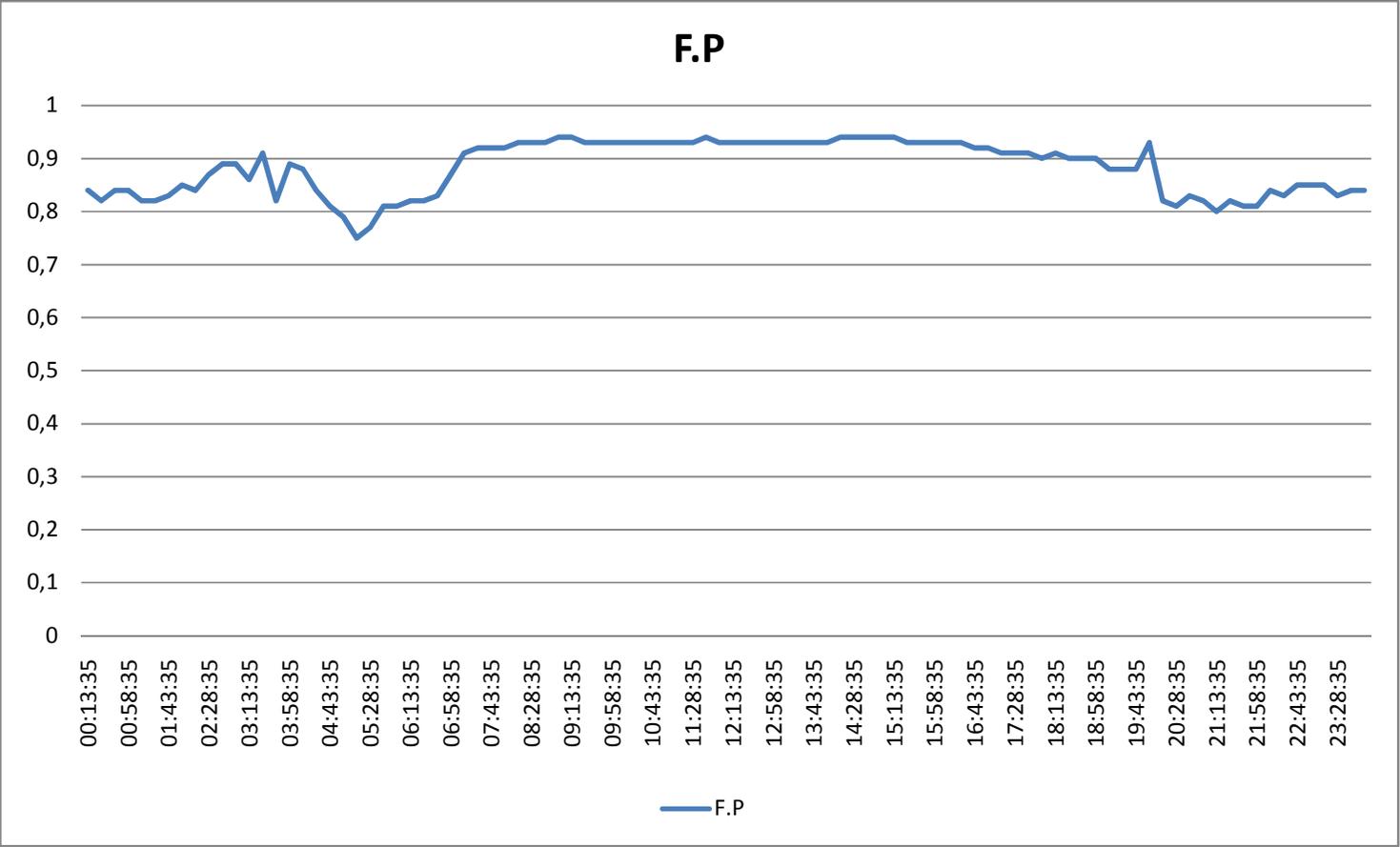




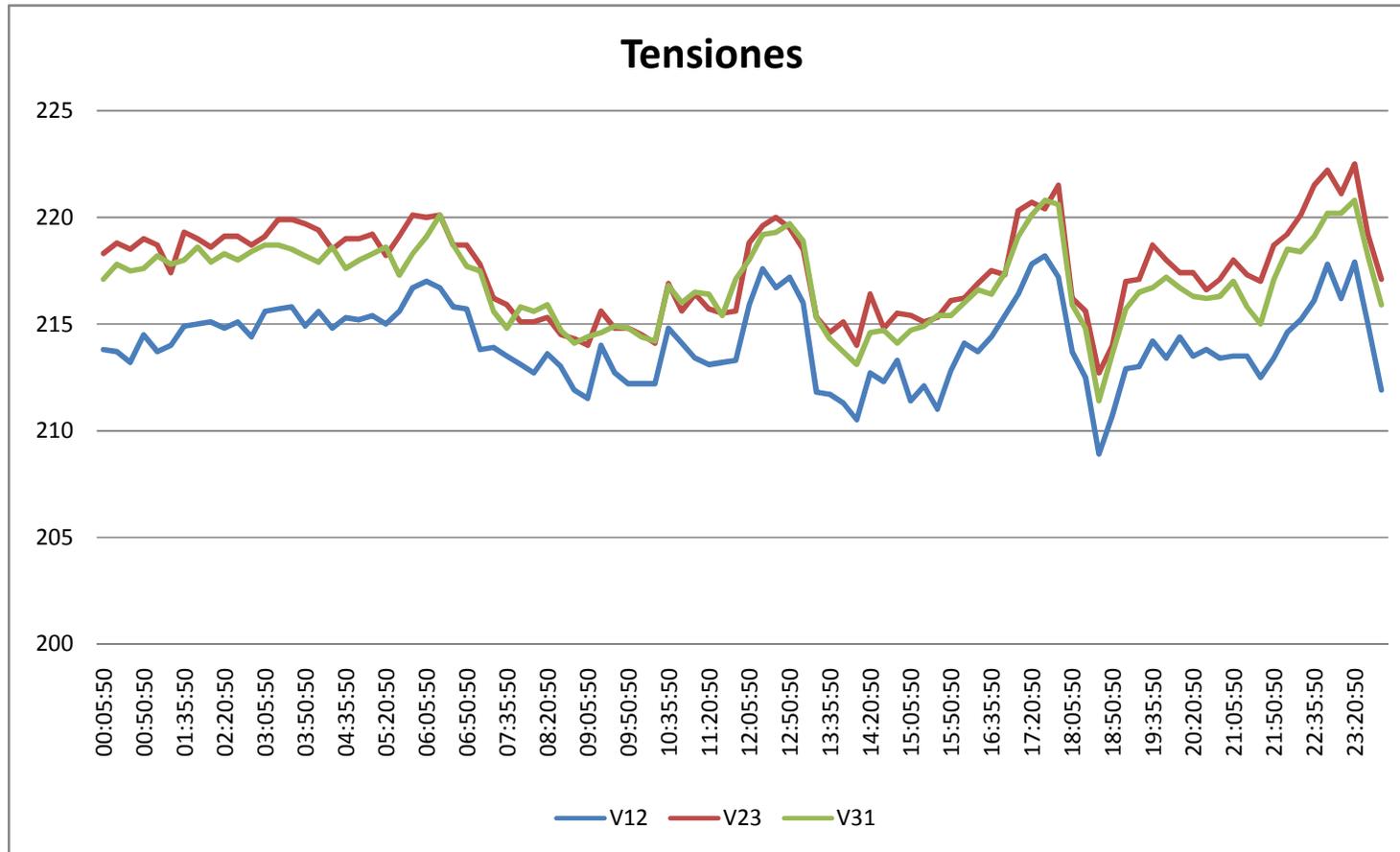


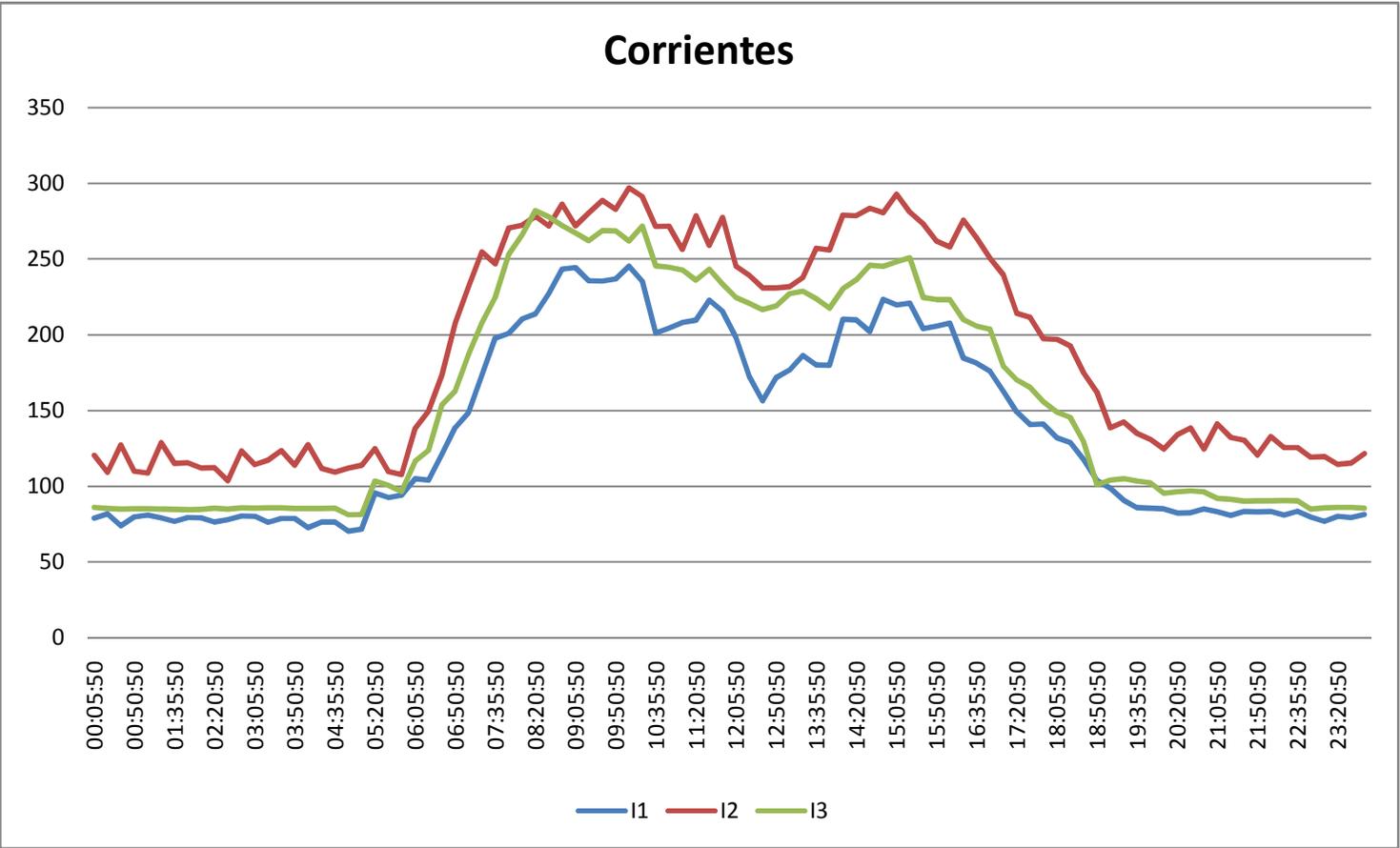


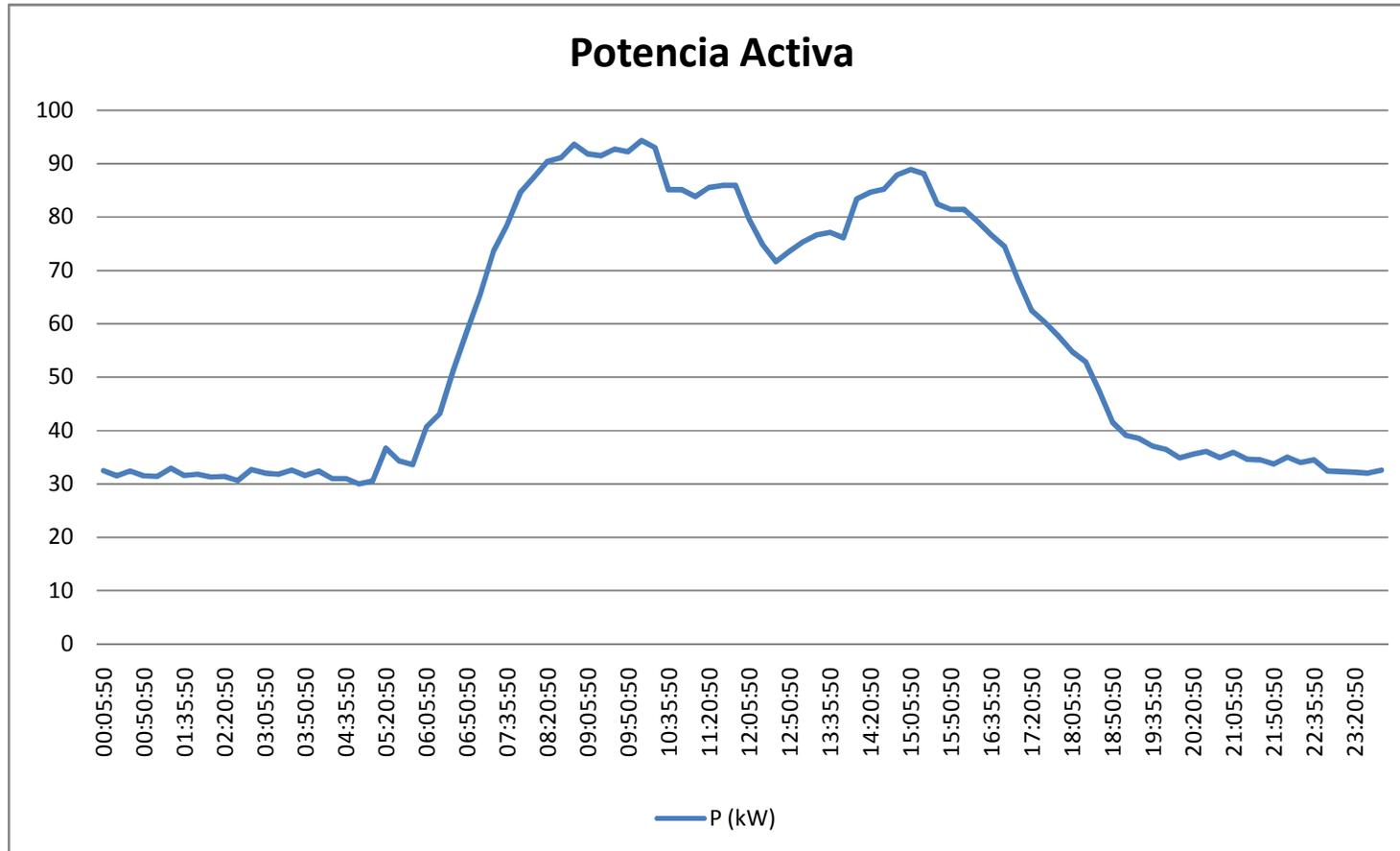


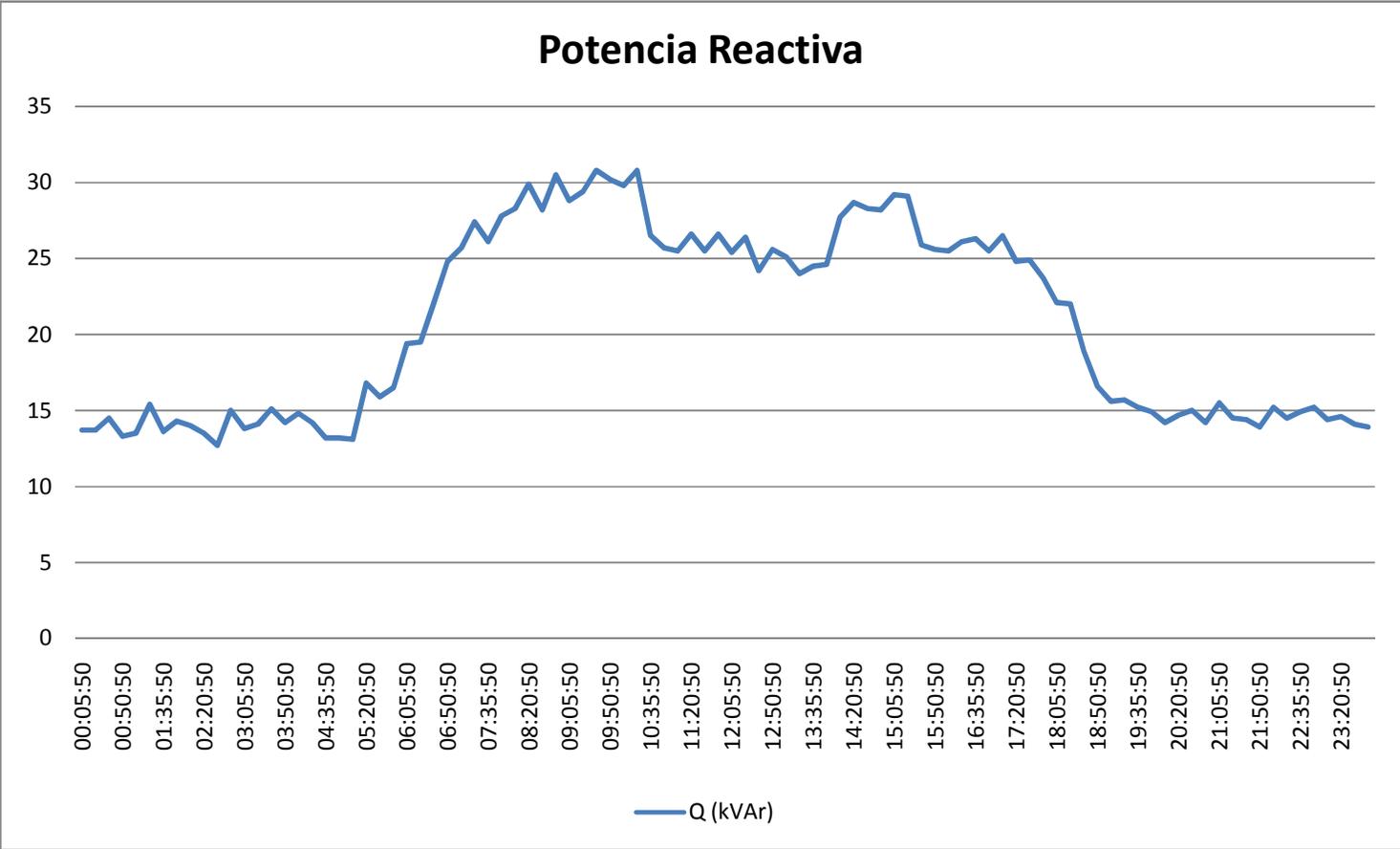


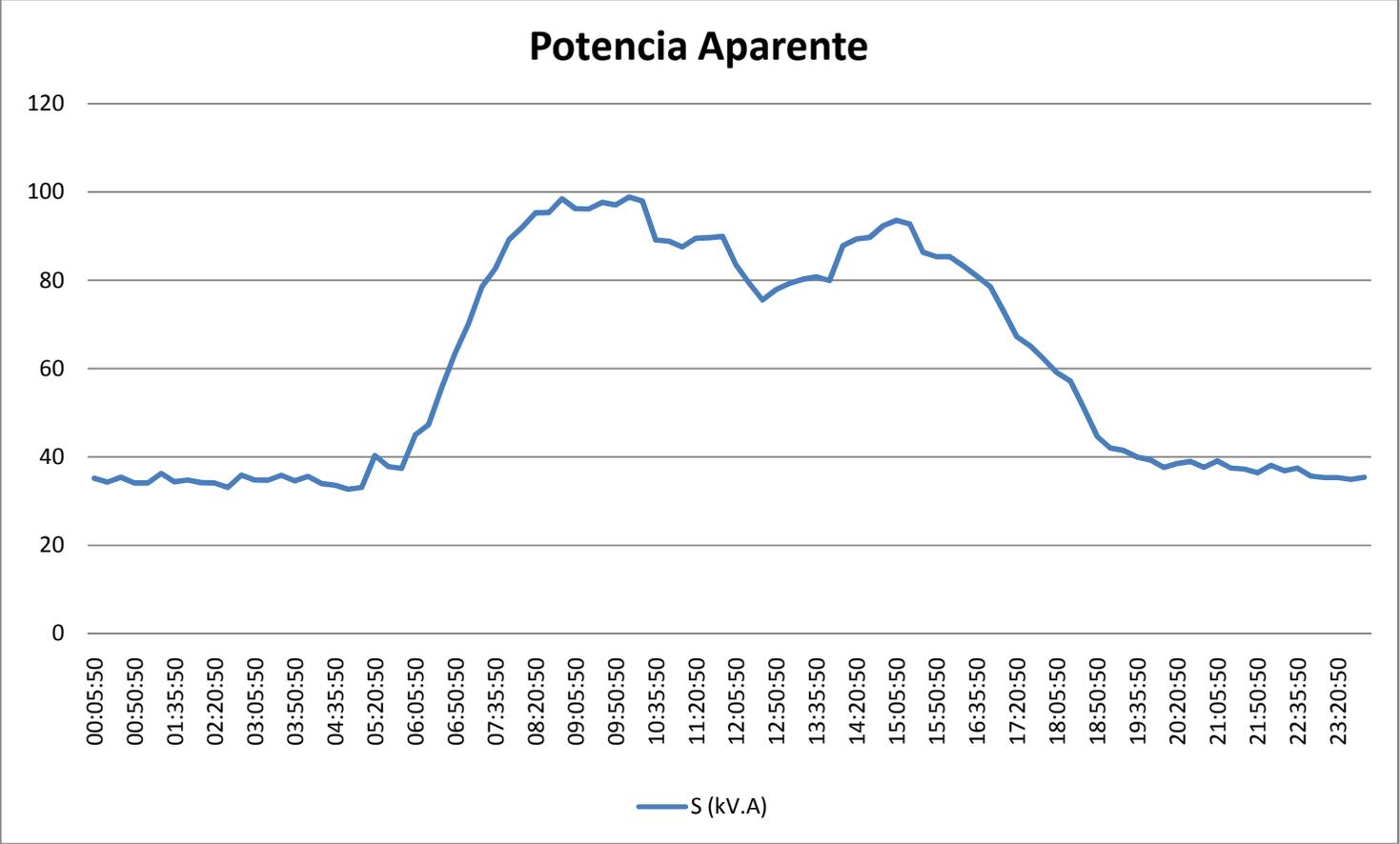
ANEXO D. Tablero 3 - Transformador 150kV.A

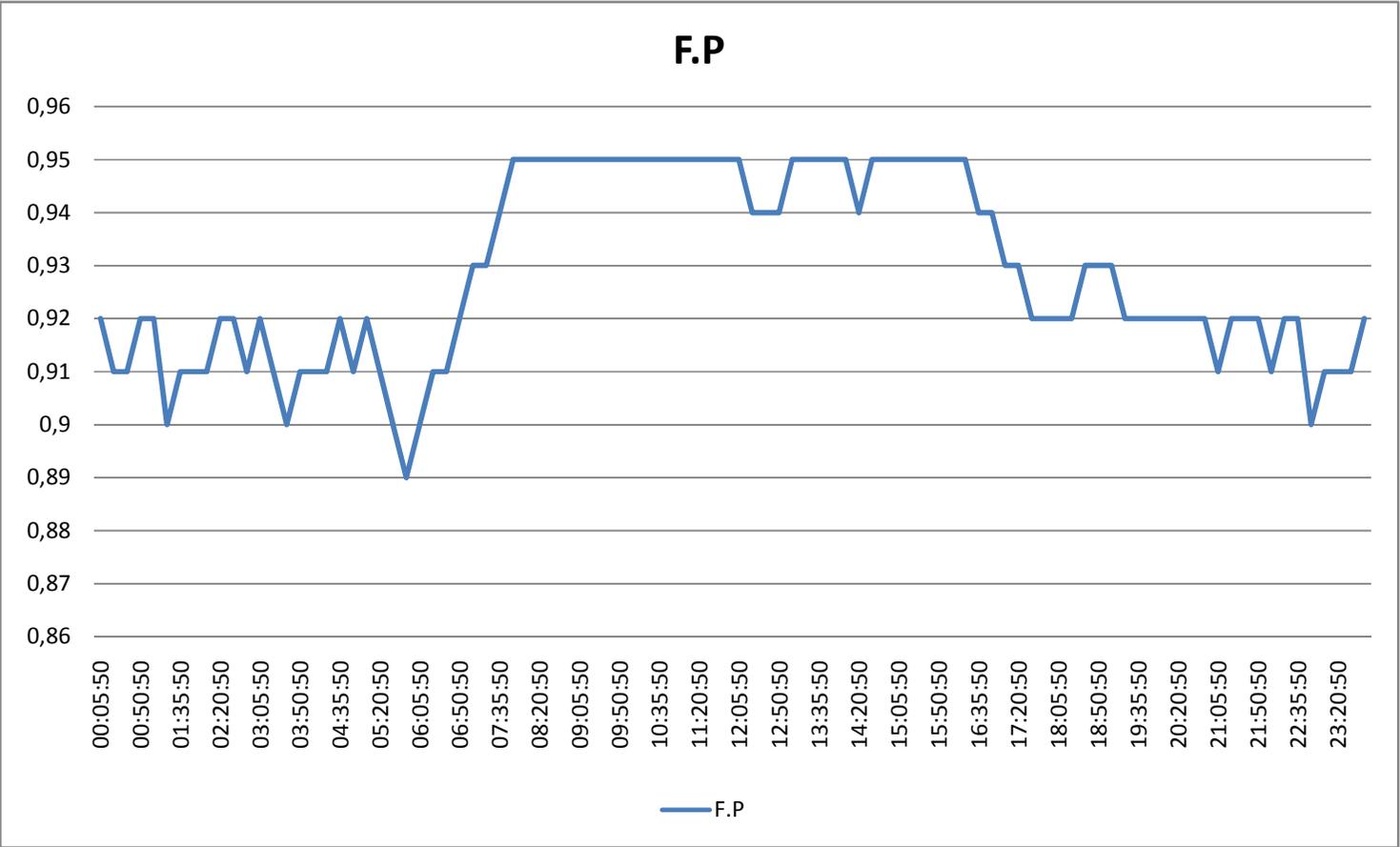




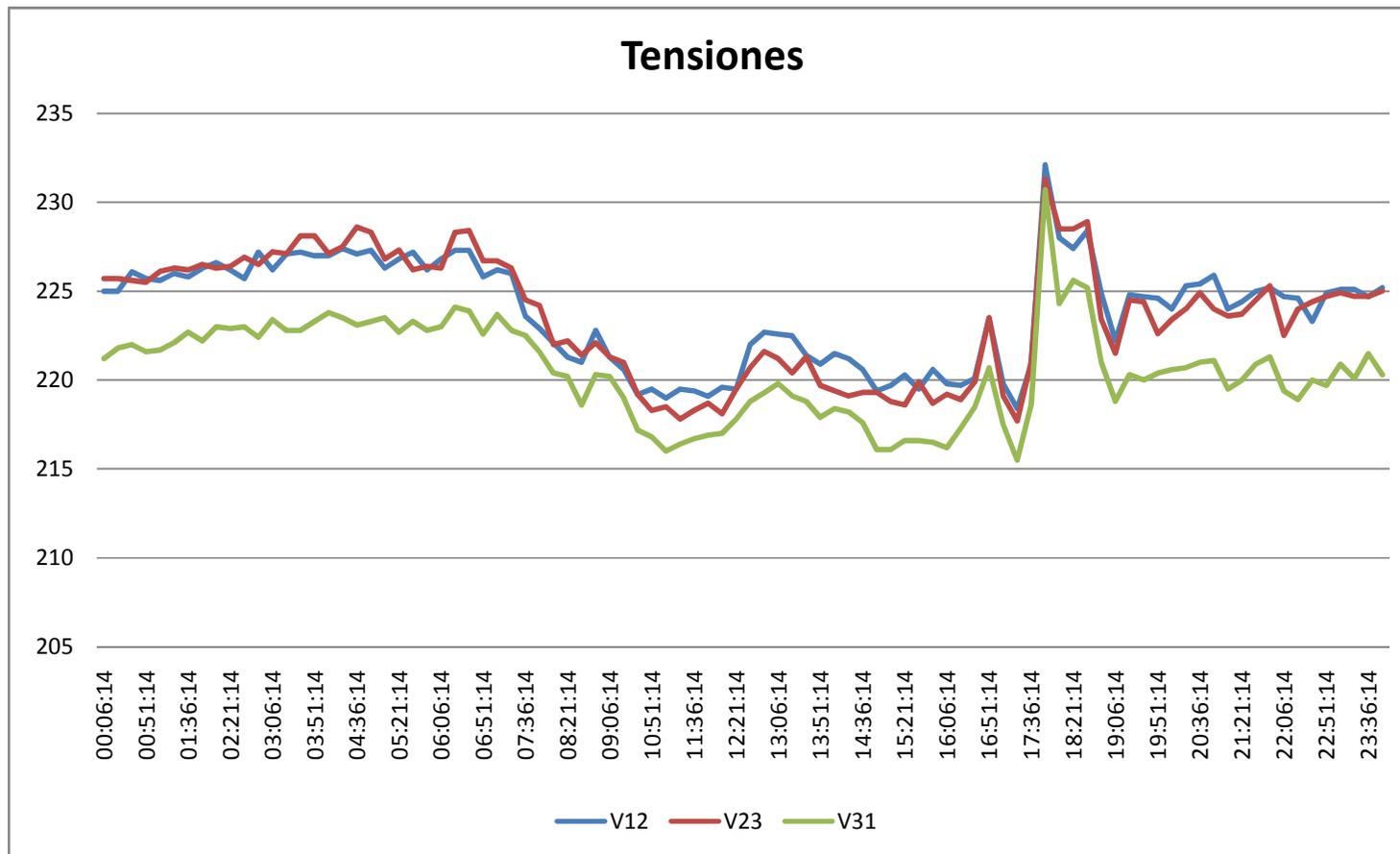


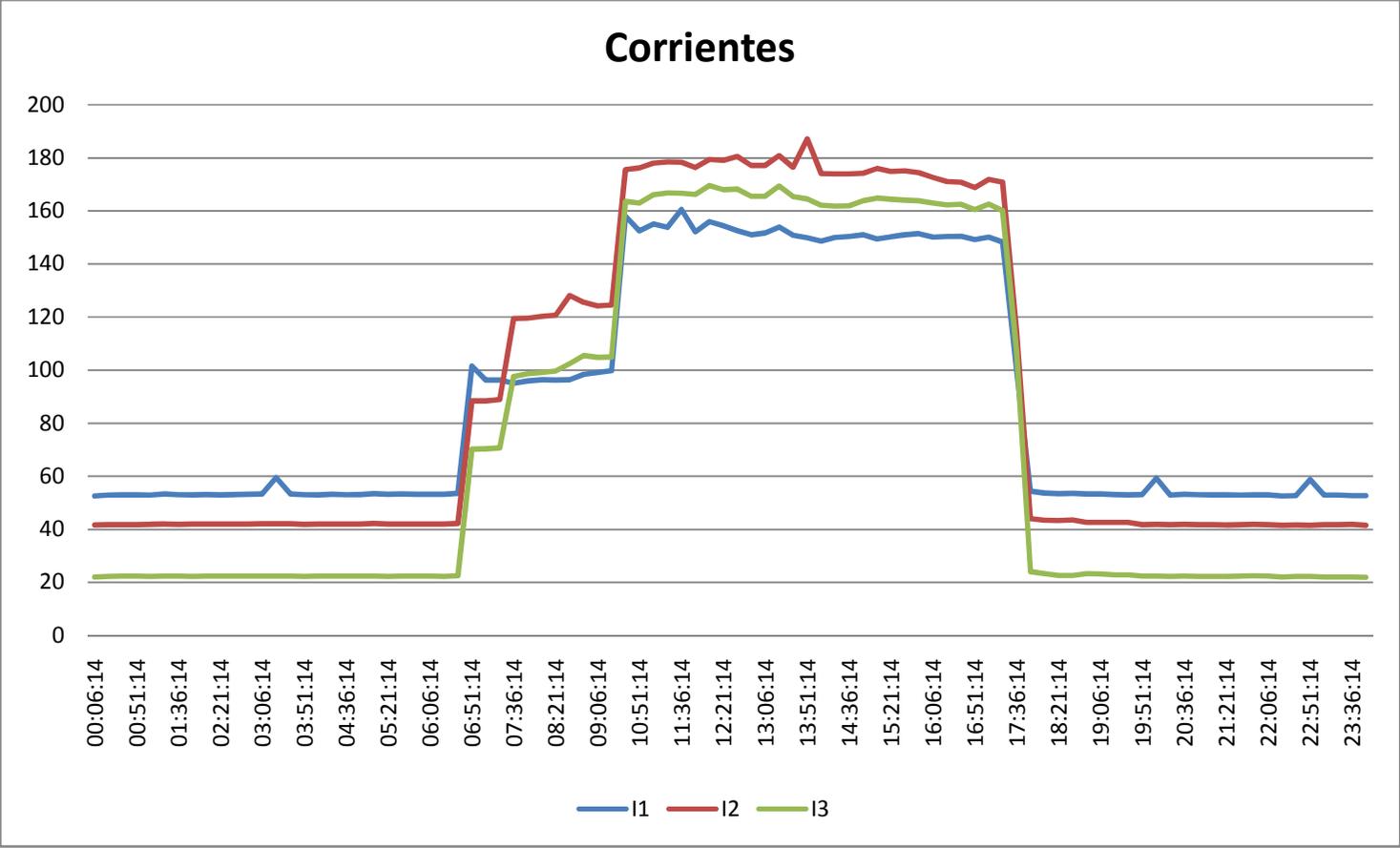


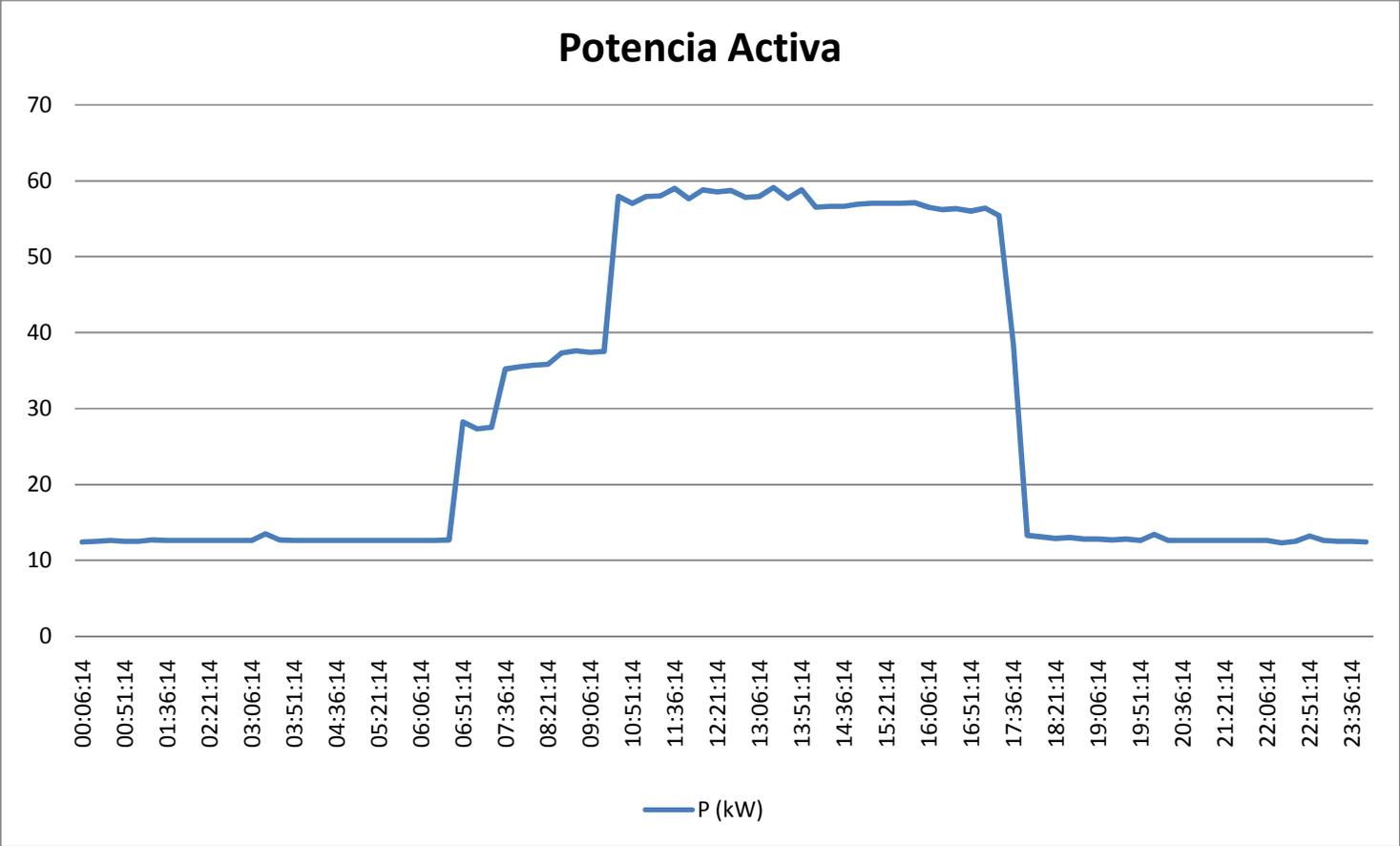


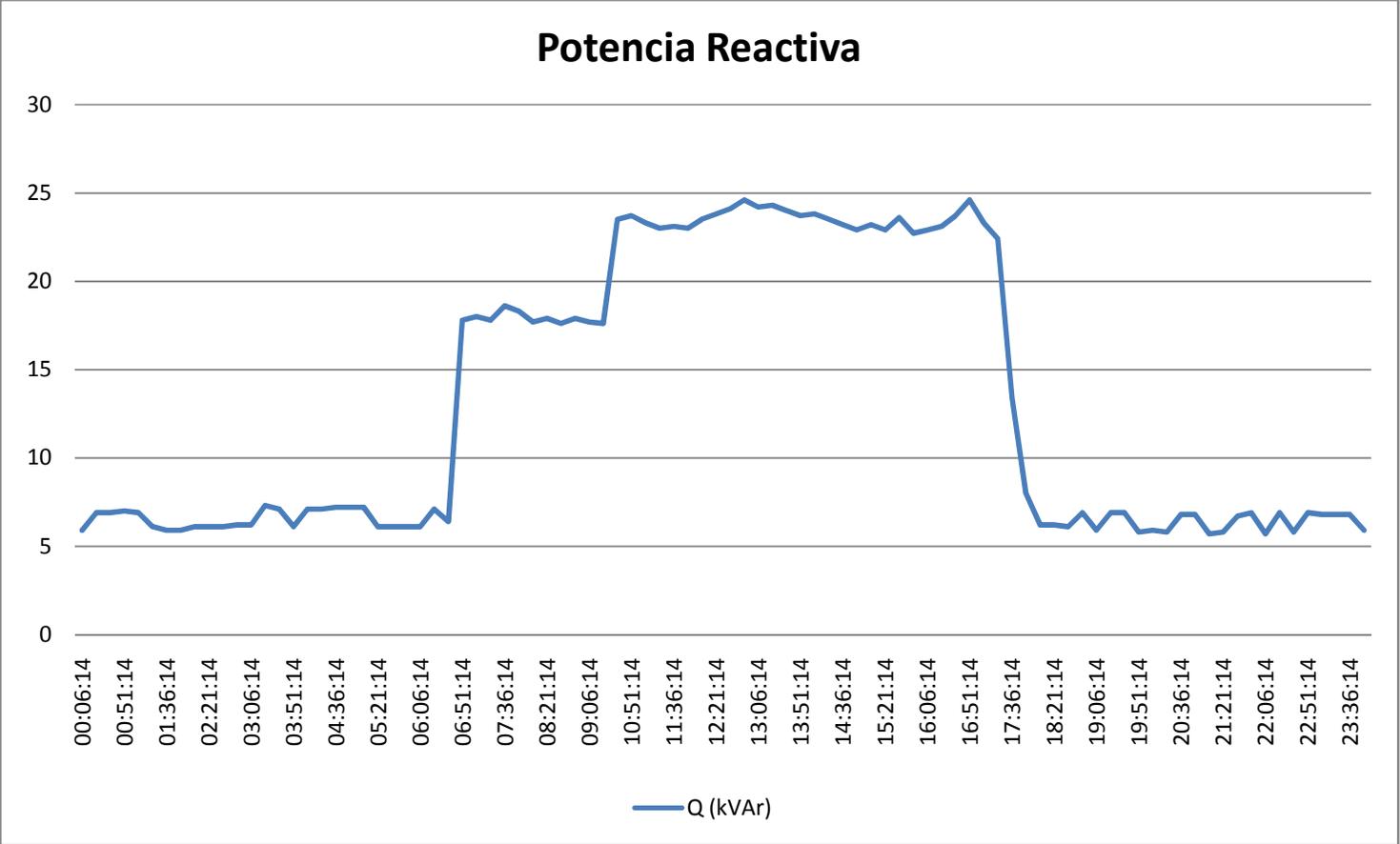


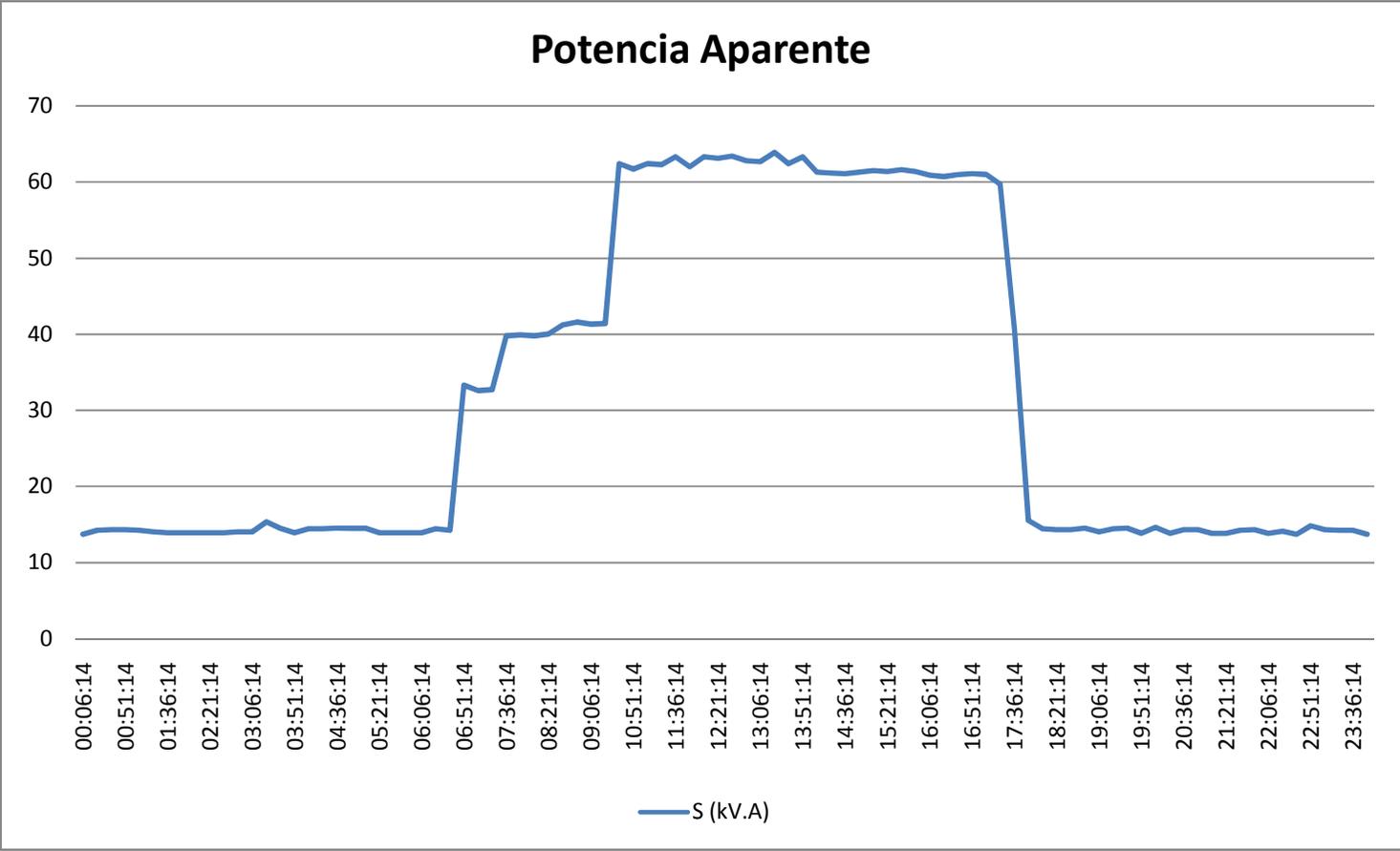
ANEXO E. Tablero 3 - Transformador 75kV.A

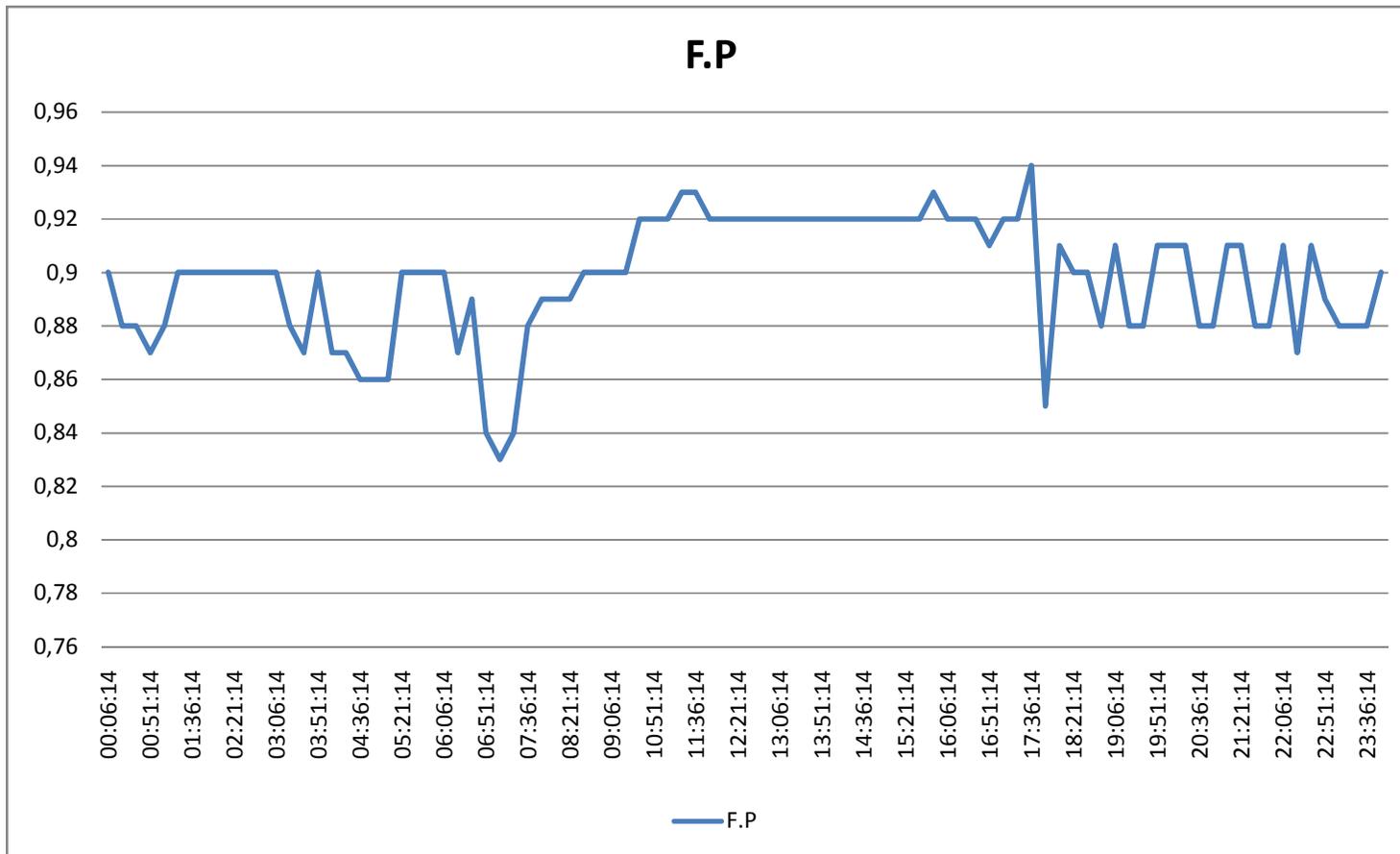




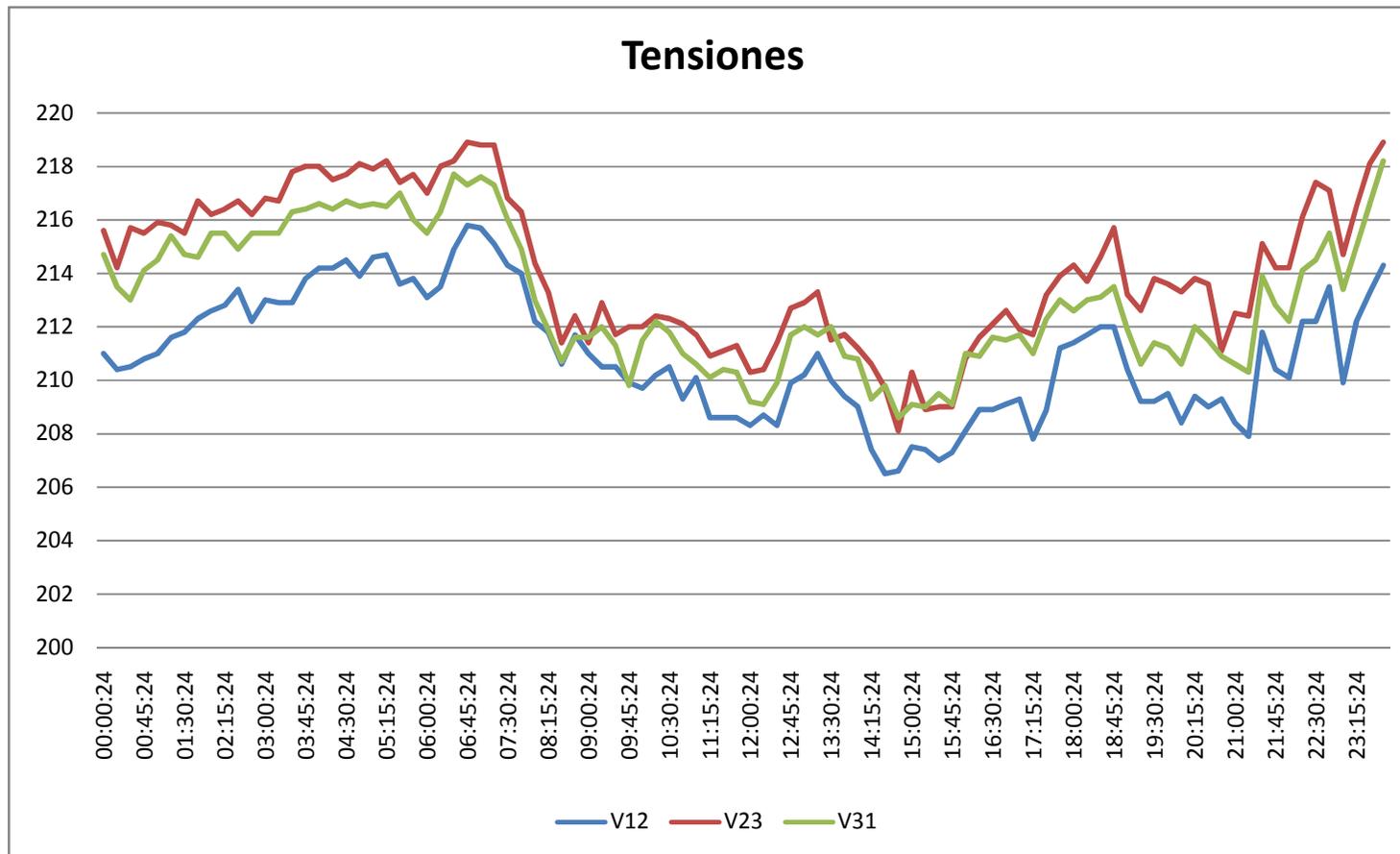


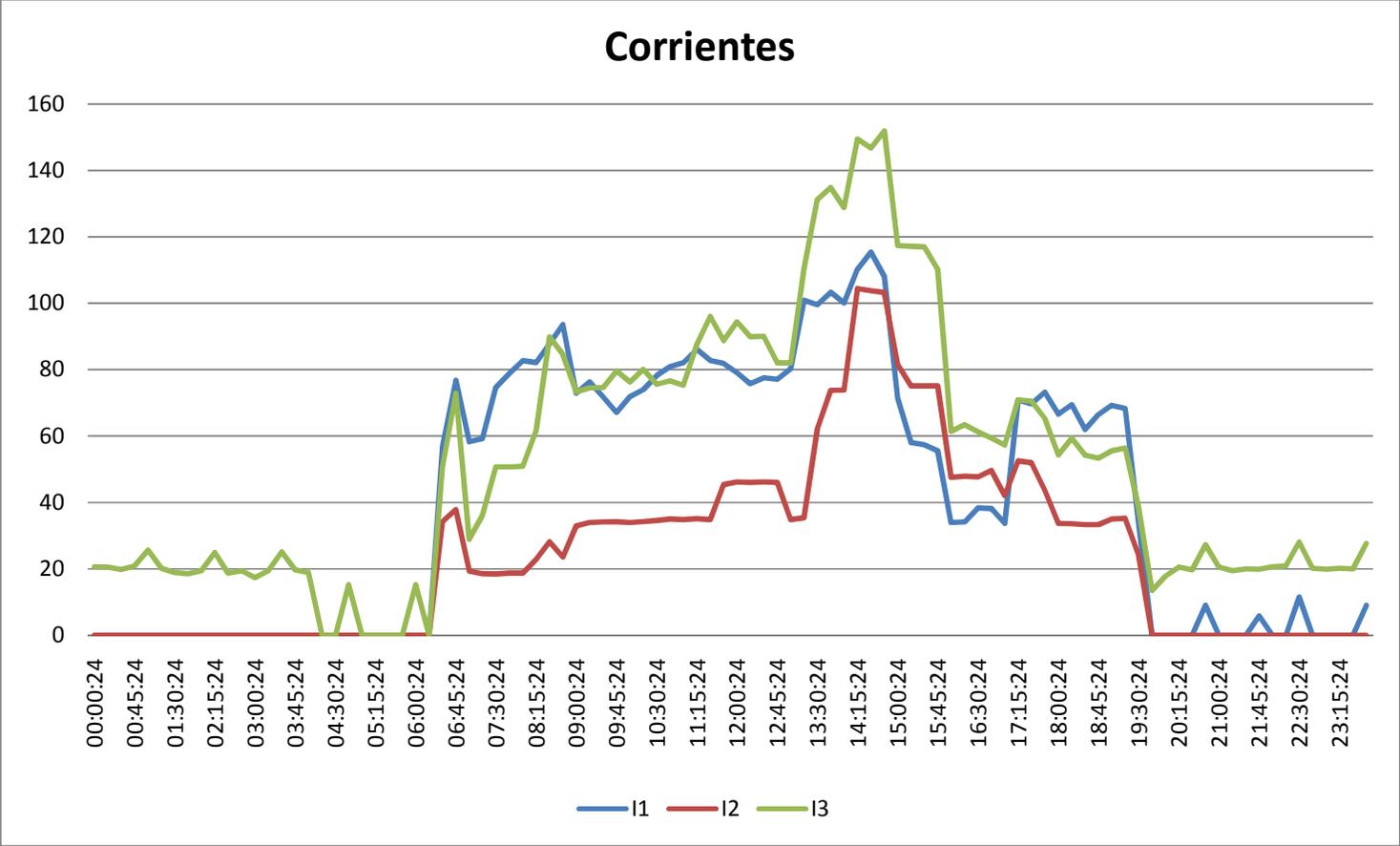


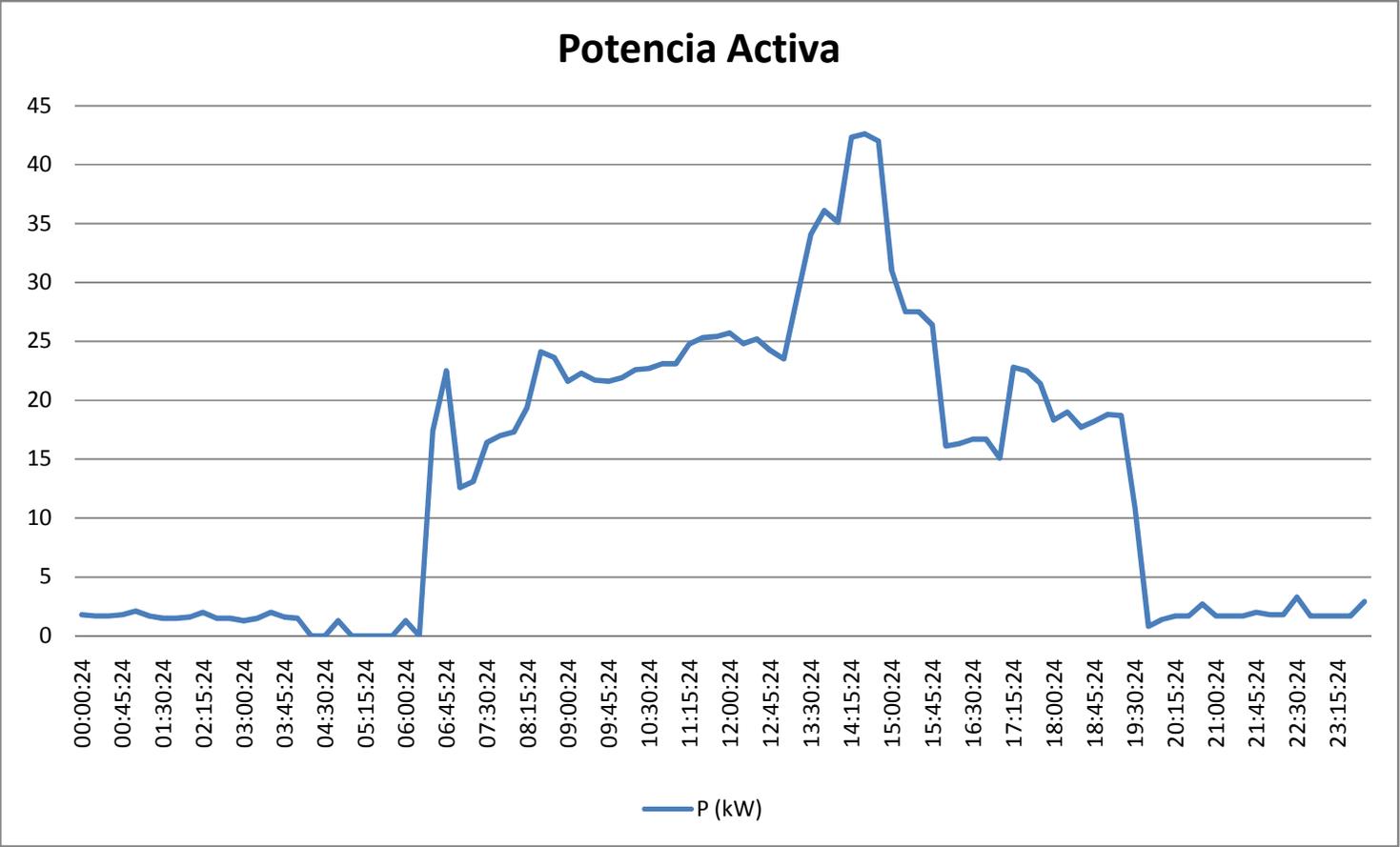


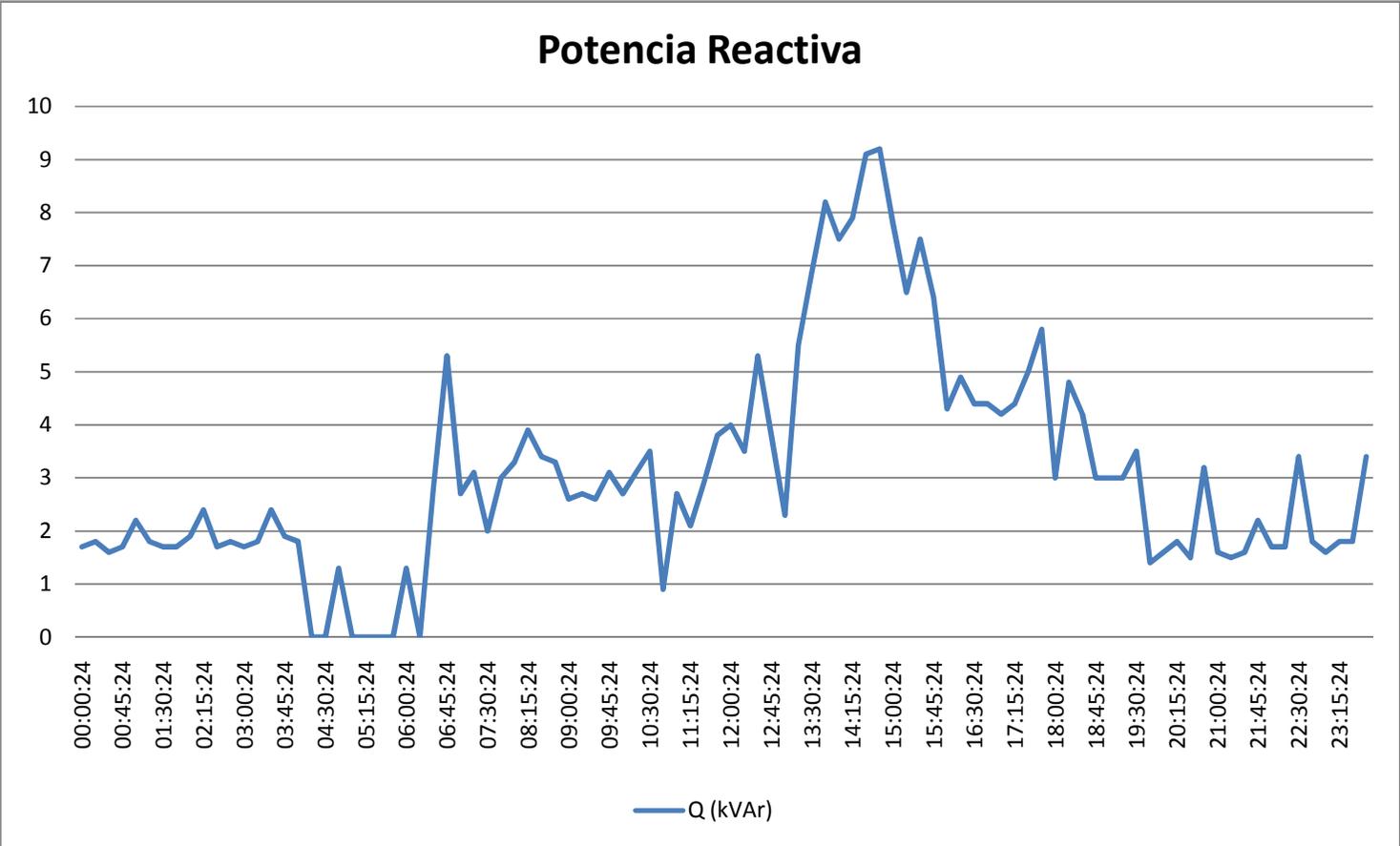


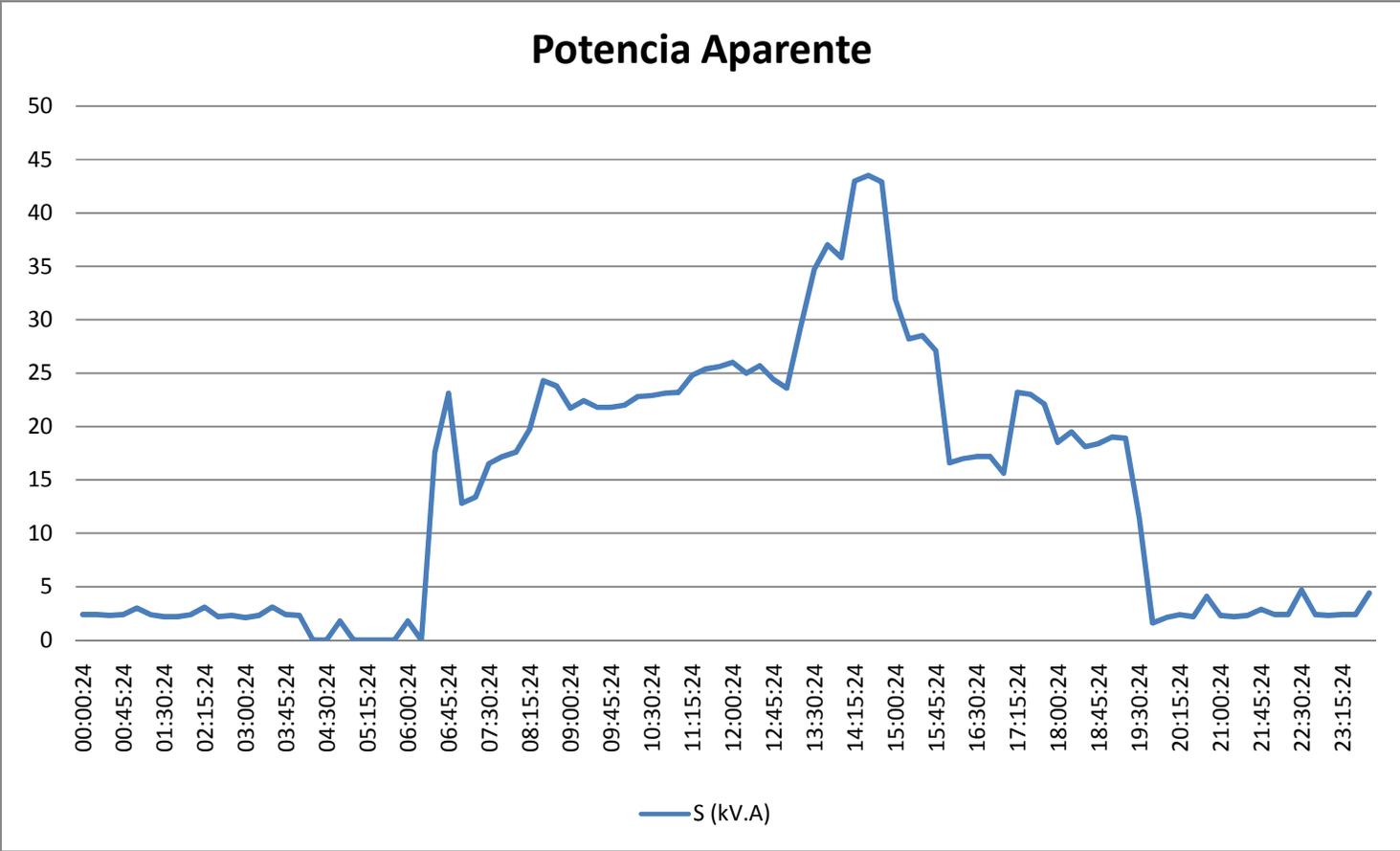
ANEXO F. Bienestar - transformador 112kV.A

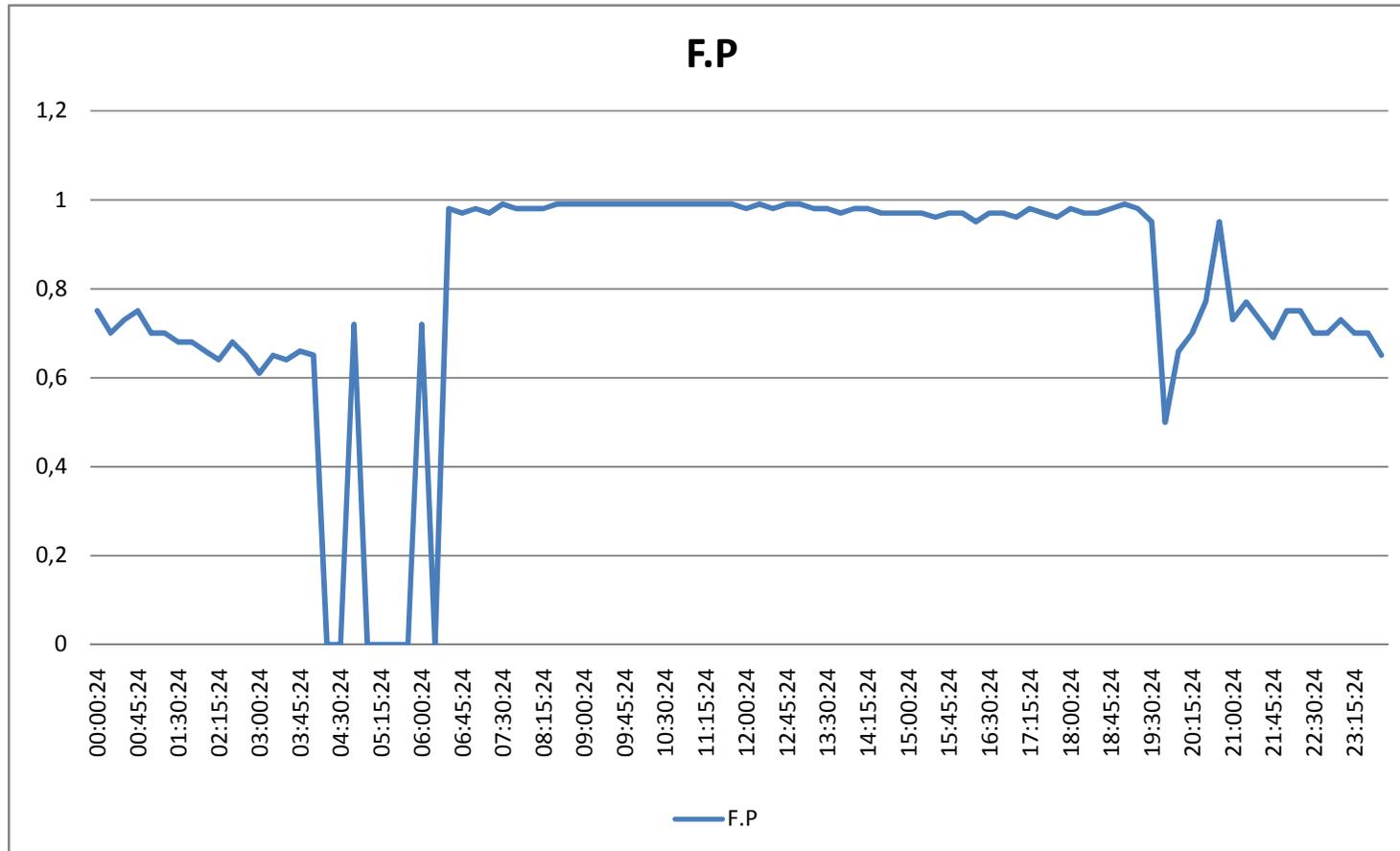




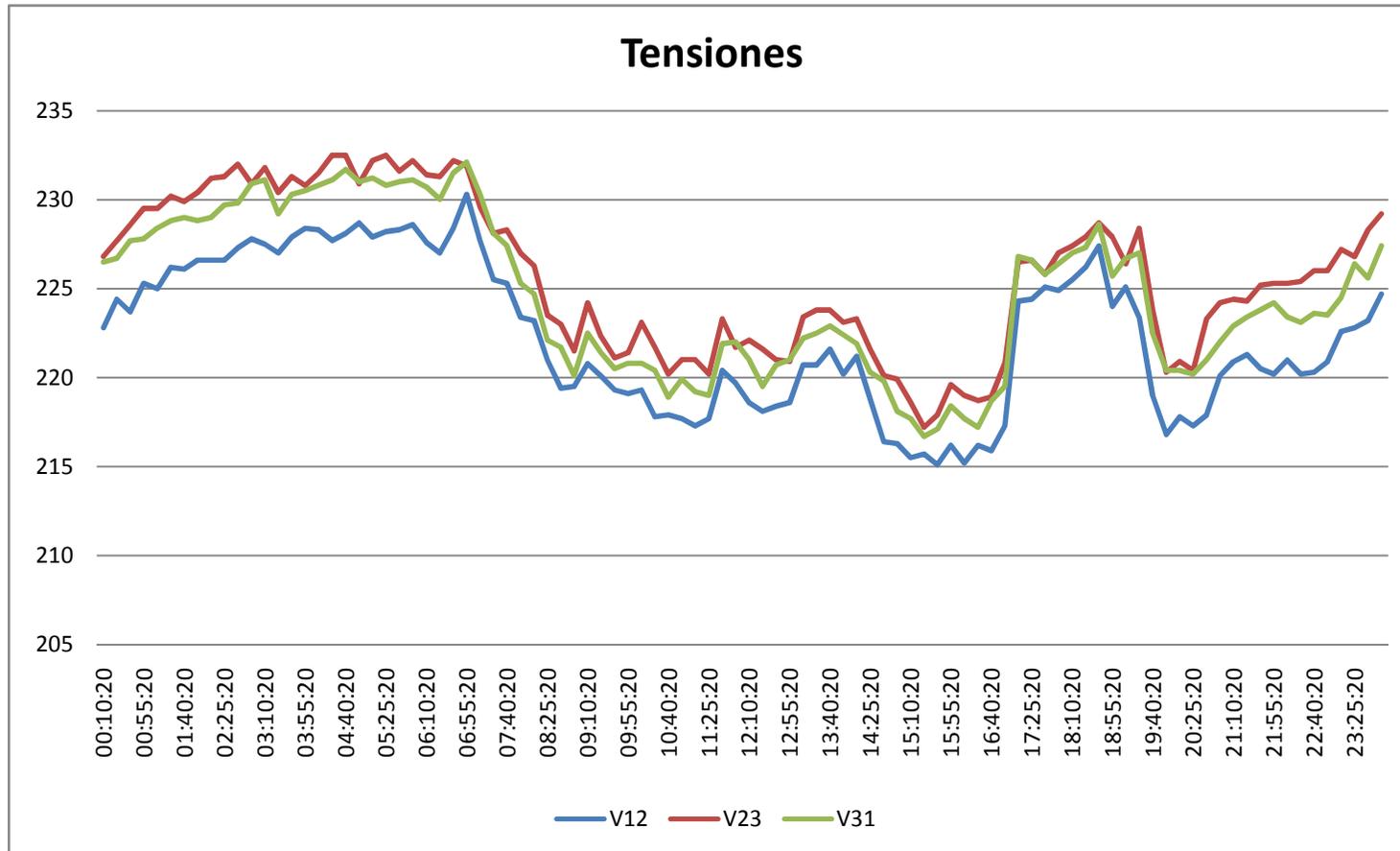


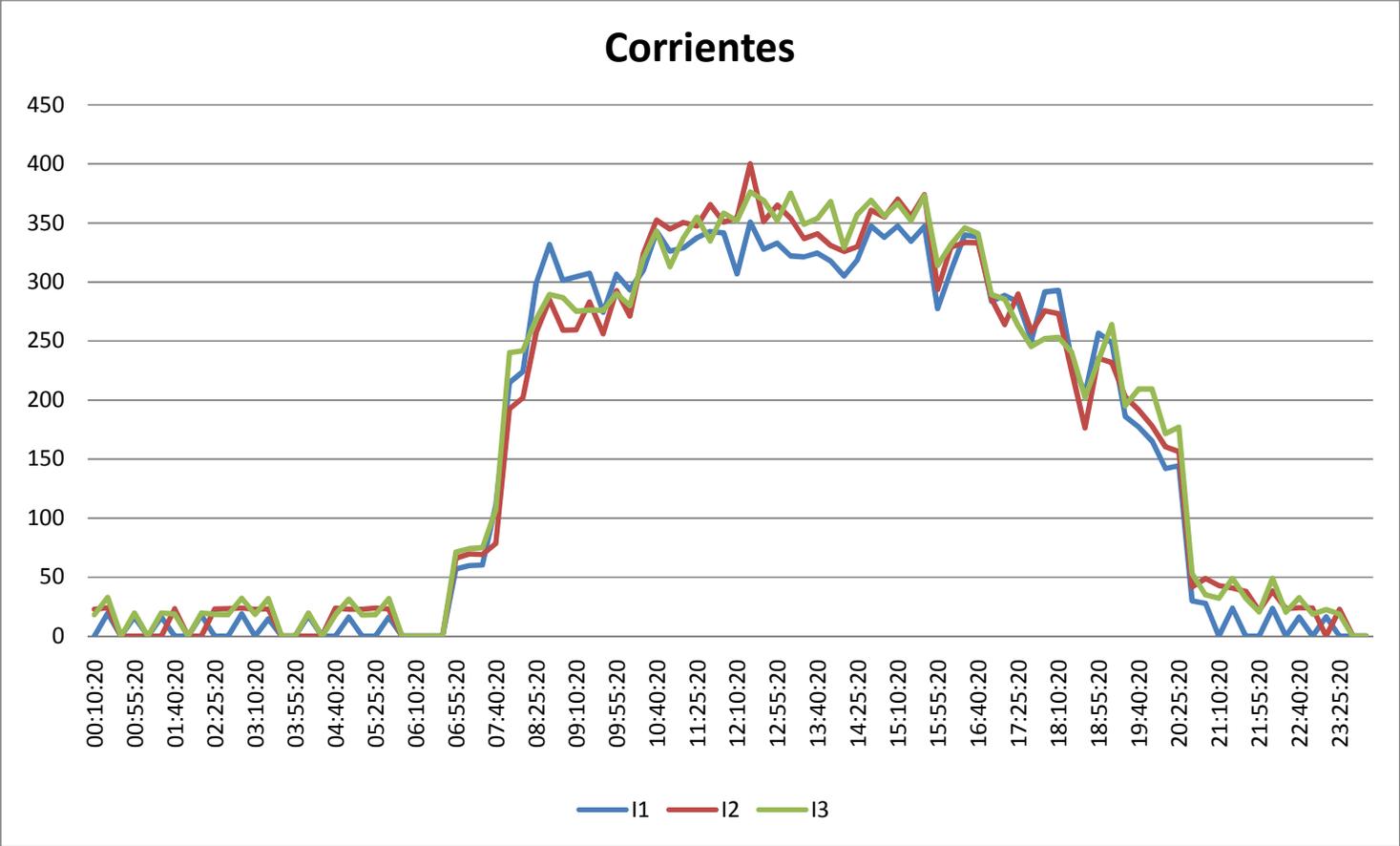


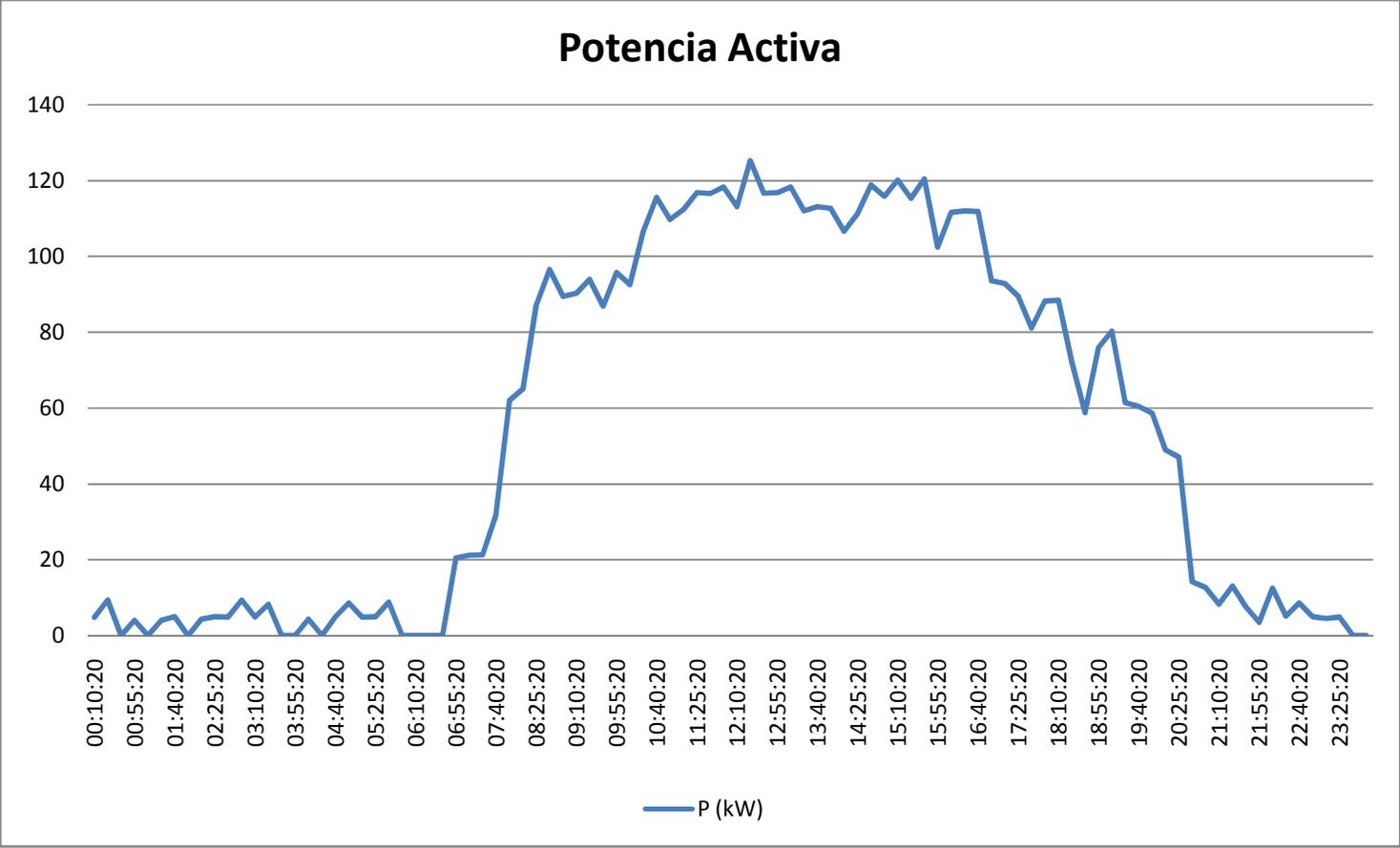


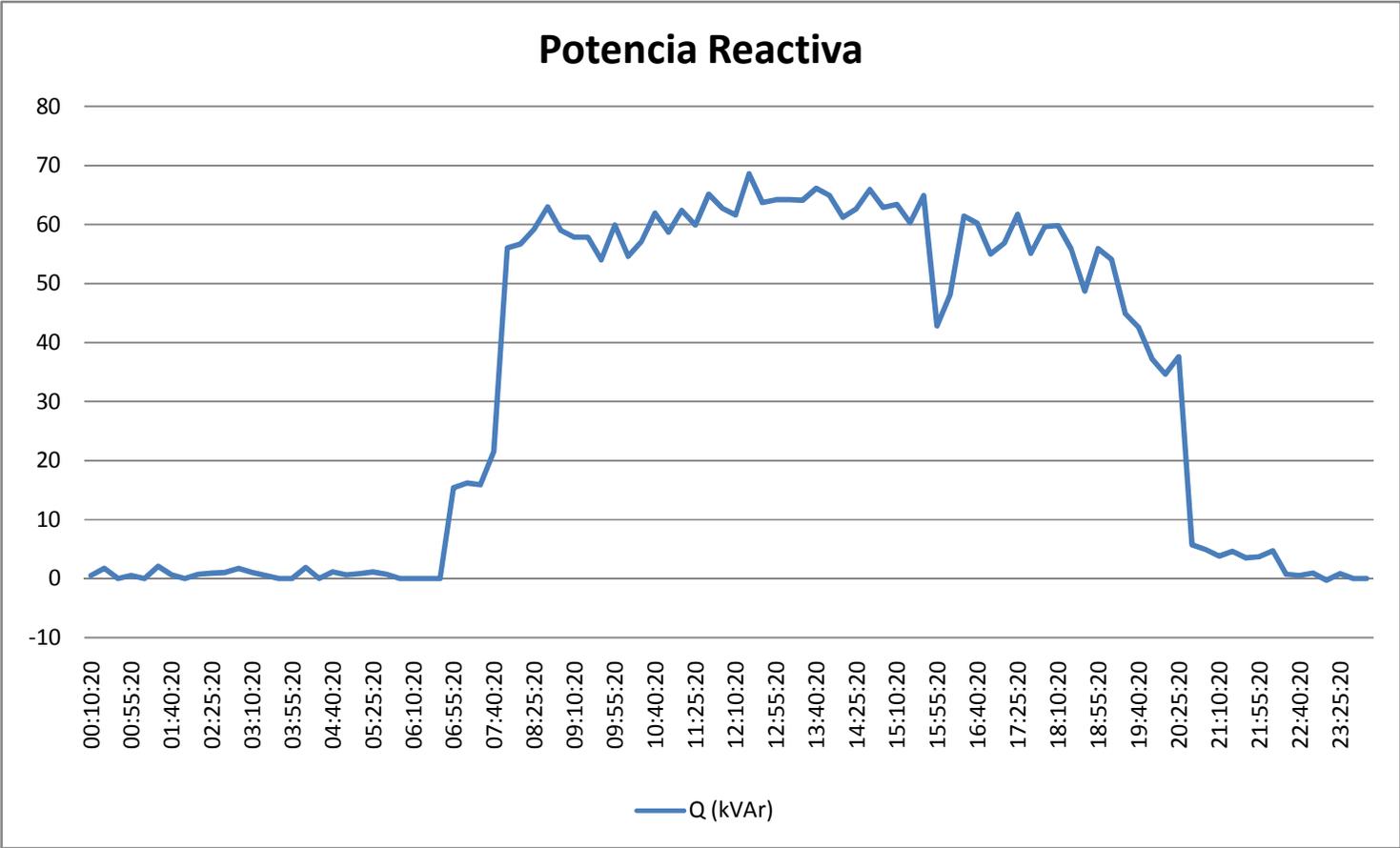


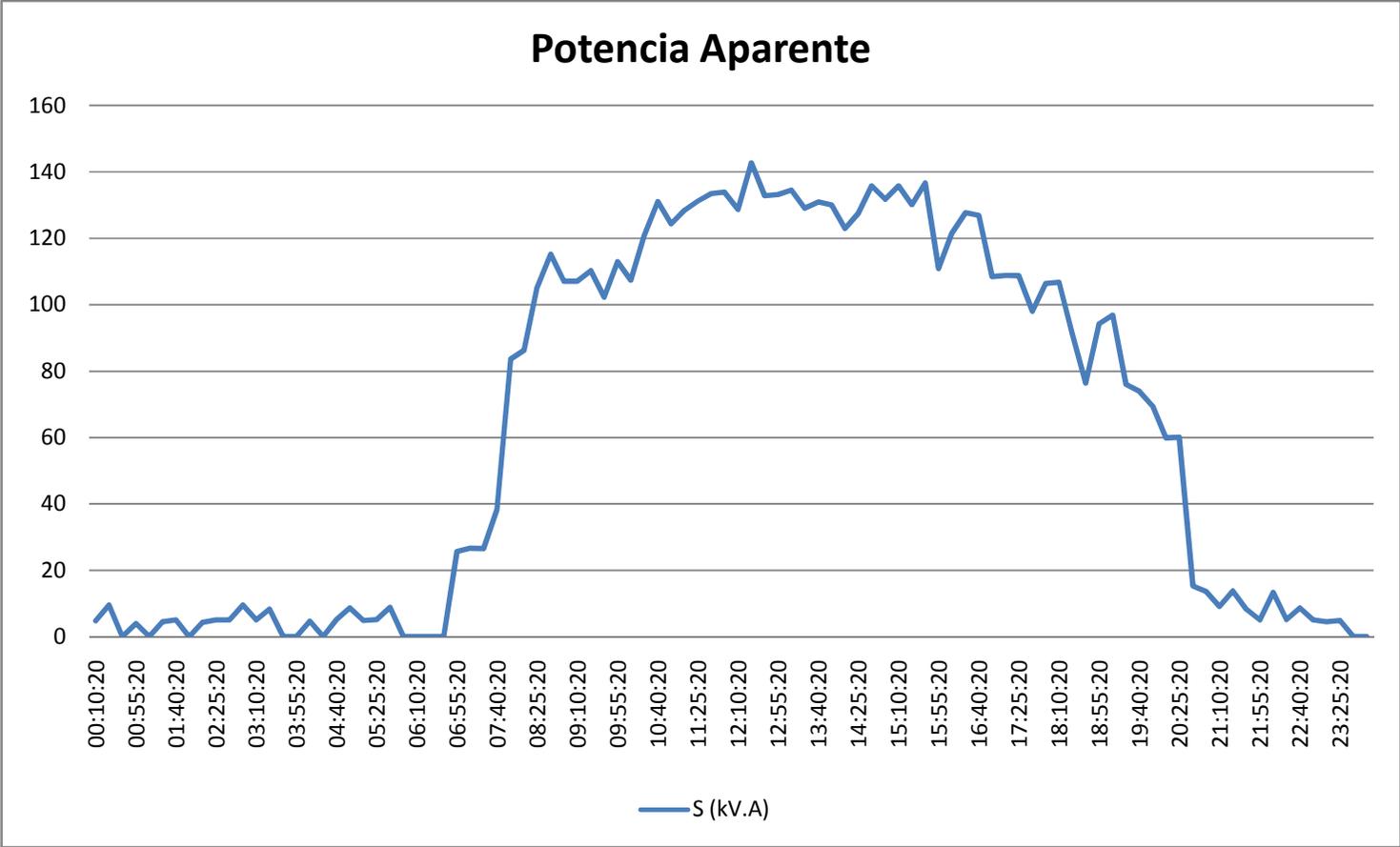
ANEXO G. Transformador 225kV.A

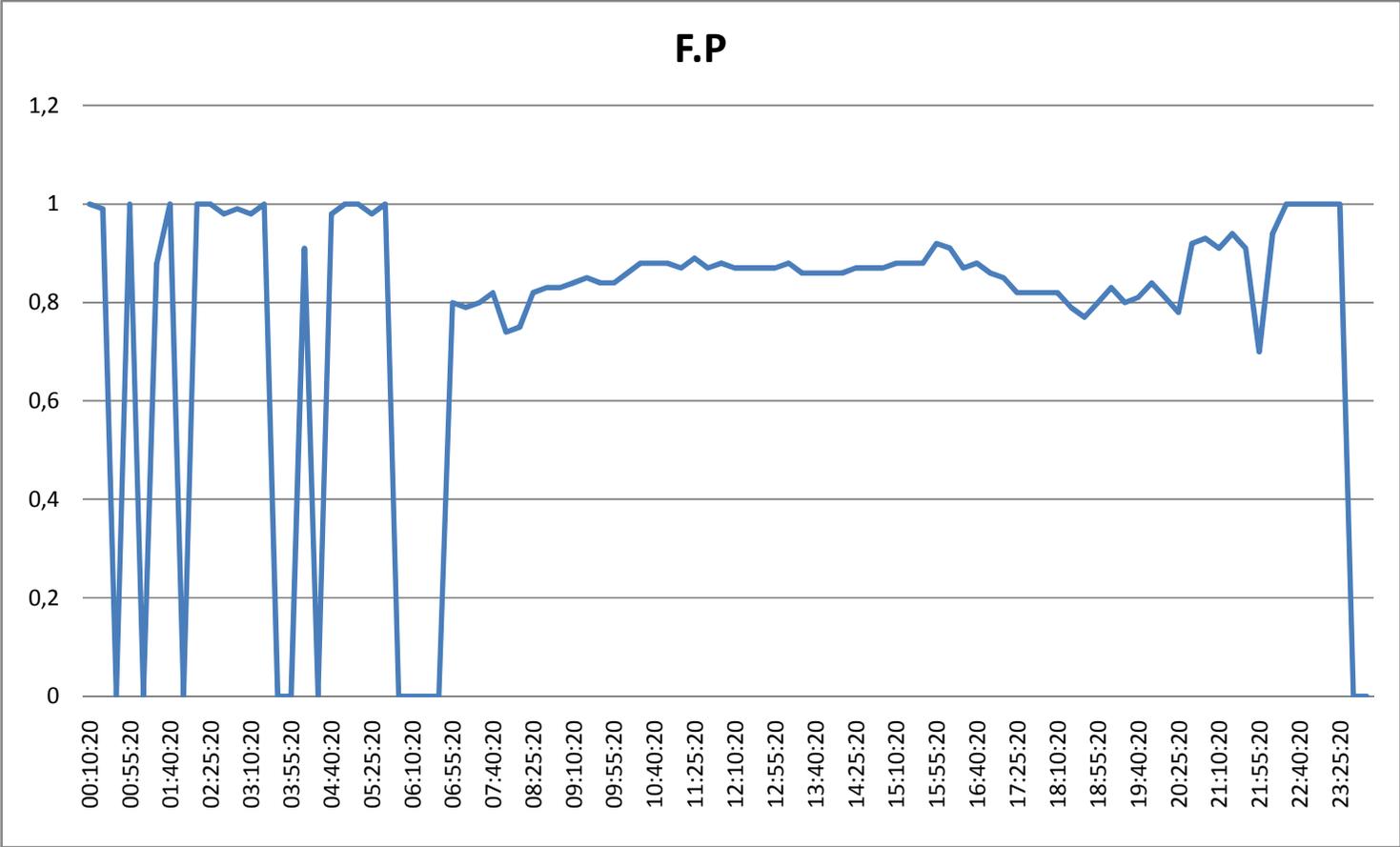












ANEXO H. Diagrama Unifilar.

ANEXO I. Ver CD, Cuadros de carga instalada por edificios.