



**REPÚBLICA DE COLOMBIA**

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA**

**UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. UPME**

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA.**

**INFORME FINAL: Caracterización y cuantificación del consumo energético en las empresas seleccionadas según el diseño muestral.**

**PREPARADO PARA**

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. UPME

**ELABORADO POR:**

RED DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN COMBUSTIÓN DE USO INDUSTRIAL- UNIÓN TEMPORAL INCOMBUSTION



**MEDELLÍN, JUNIO DE 2014**

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA.  
INFORME FINAL*

*Prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin autorización.*

## **COLABORACIÓN**

### **ASESORES**

Eduard Nibaldo Figueroa Carrillo  
Sergio Botero Botero  
Elkin Argemiro Cataño Vélez  
Iván Darío Bedoya  
Ingeniería Especializada  
Juan Carlos Rojas  
Jorge Iván Pérez Rave  
Luis Fernando Gallego Buritica  
Orlando de Jesús Arcila Montoya  
Oscar Alberto Ochoa González

### **GRUPO BASE**

Andrés Amell Arrieta. Director  
Farid Chejne Janna. Codirector  
Carmen Rosa Forero  
Bernardo Argemiro Herrera Múnera  
Carlos Andrés Vasco Correa  
Carlos Mario Medina Méndez  
Jonathan Pulgarín León  
Julián Esteban Obando Arbeláez  
Luis Fernando Cardona Sepúlveda  
Yonatan Cadavid Sánchez  
Juan Camilo Echeverri Gutiérrez

### **TRABAJO DE CAMPO**

DataWare Sistemas  
Diana Lucía Betancur Bustamante  
Diana Marcela Carabalí Araujo  
Raiza J Manrique Waldo  
Cesar Augusto Cardona  
Carlos Andrés Gómez Gutiérrez  
Juan Carlos Quintana  
Juan David Echavarría Olaya  
Juan Pablo Figueredo Rojas  
Juan Sebastián Suárez Ospina  
Manuela Gómez Echeverri  
Tatiana Restrepo  
Karen Paola Cacua  
Juan Rojas  
Julián Latorre

## CONTENIDO

<b><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>	<b>12</b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>EJECUCIÓN DEL PLAN DE VISITAS</u></b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1</b>	<b>METODOLOGÍA VISITAS</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2</b>	<b>METODOLOGÍA ENCUESTAS</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>EMPRESAS VISITADAS Y DIAGNOSTICADAS.</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>EMPRESAS ENCUESTADAS</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>20</b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS EMPRESAS VISITADAS</u></b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>SECTOR ALIMENTOS</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>SECTOR BEBIDAS</b>	<b>47</b>
<b>3.3</b>	<b>SECTOR TABACO</b>	<b>51</b>
<b>3.4</b>	<b>SECTOR TEXTIL</b>	<b>53</b>
<b>3.5</b>	<b>SECTOR CONFECCIONES</b>	<b>59</b>
<b>3.6</b>	<b>SECTOR CUERO</b>	<b>65</b>
<b>3.7</b>	<b>SECTOR MADERA</b>	<b>67</b>
<b>3.8</b>	<b>SECTOR PAPEL</b>	<b>74</b>
<b>3.9</b>	<b>SECTOR IMPRESIÓN</b>	<b>80</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>ANÁLISIS DEL ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS USADAS EN LAS EMPRESAS VISITADAS</u></b>	<b>82</b>
<b>4.1</b>	<b>VAPOR</b>	<b>83</b>
<b>4.2</b>	<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b>	<b>103</b>
<b>4.2.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE DE MOTORES DE LOS SECTORES MUESTREADOS</b>	<b>105</b>
<b>4.2.2</b>	<b>SISTEMAS DE BOMBEO</b>	<b>108</b>
<b>4.3</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>	<b>109</b>
<b>4.4</b>	<b>TRANSFORMADORES</b>	<b>115</b>
<b>4.5</b>	<b>AIRE COMPRIMIDO</b>	<b>118</b>
<b>4.6</b>	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>122</b>
<b>4.7</b>	<b>COGENERACIÓN</b>	<b>125</b>
<b>4.8</b>	<b>POR SECTORES INDUSTRIALES</b>	<b>126</b>
<b>4.8.1</b>	<b>SECTOR ALIMENTOS. CIIU 10</b>	<b>126</b>
<b>4.8.2</b>	<b>SECTOR BEBIDAS. CIIU 11</b>	<b>141</b>
<b>4.8.3</b>	<b>SECTOR TABACO. CIIU 12</b>	<b>147</b>
<b>4.8.4</b>	<b>SECTOR TEXTIL. CIIU 13</b>	<b>148</b>

4.8.5	SECTOR CONFECCIONES. CIU 14	159
4.8.6	SECTOR CUERO. CIU 15	168
4.8.7	SECTOR MADERA. CIU 16	174
4.8.8	SECTOR PAPEL. CIU 17	180
4.8.9	SECTOR IMPRESIÓN. CIU 18	187
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>198</b>
<b>5.1</b>	<b>ACERCA DE LA SITUACIÓN DEL REGISTRO Y MANEJO DE INFORMACIÓN TÉCNICA ENCONTRADA EN LA EMPRESAS INTERVENIDAS</b>	<b>198</b>
<b>5.2</b>	<b>ACERCA LA DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE LOS ENERGÉTICOS EN LOS SECTORES INTERVENIDOS.</b>	<b>198</b>
<b>5.3</b>	<b>ACERCA DEL PERFIL ENERGÉTICO DE LOS SUBSECTORES.</b>	<b>200</b>
<b>5.4</b>	<b>ACERCA DEL USO DE COMBUSTIBLES UTILIZADO POR SUBSECTOR</b>	<b>201</b>
<b>5.5</b>	<b>ACERCA DEL USO DE LA ELECTRICIDAD EN LOS SUBSECTORES.</b>	<b>201</b>
<b>5.6</b>	<b>ACERCA DE LA COGENERACIÓN</b>	<b>203</b>
<b>5.7</b>	<b>ACERCA DE SITUACIONES ENCONTRADAS EN LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN Y USO DEL VAPOR</b>	<b>203</b>
<b>5.8</b>	<b>ACERCA DE LA PENETRACIÓN DE TECNOLOGÍAS MODERNAS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y BRECHA TECNOLÓGICA.</b>	<b>204</b>
5.8.1	SISTEMA ELÉCTRICO	204
5.8.2	SISTEMAS TÉRMICOS	205
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>208</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA REALIZACIÓN DE DIAGNÓSTICOS. ....	13
FIGURA 2. CICLO DE INTERACCIÓN INCOMBUSTION-EMPRESA-CALL CENTER. ....	14
FIGURA 3. CICLO DE INTERACCIÓN INCOMBUSTION-EMPRESA-CALL CENTER. ....	15
FIGURA 4. CICLO DE INTERACCIÓN INCOMBUSTION-EMPRESA-CALL CENTER. ....	15
FIGURA 5 DISTRIBUCIÓN POR SECTOR INDUSTRIAL DE LAS EMPRESAS EMPRESAS INTERVENIDAS CON VISITA O ENCUESTA. ....	16
FIGURA 6 DISTRIBUCIÓN POR TAMAÑO DE LAS EMPRESAS INTERVENIDAS CON VISITA O ENCUESTA. ....	17
FIGURA 7 DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS VISITADAS POR SECTOR. ....	17
FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS VISITADAS POR TAMAÑO. ....	18
FIGURA 9 DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS ENCUESTADAS POR SECTOR. ....	19
FIGURA 10 DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS ENCUESTADAS POR TAMAÑO. ....	19
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA EN MWH/AÑO DE ACUERDO AL COMBUSTIBLE UTILIZADO, PARA TODOS LOS SECTORES. ....	22
FIGURA 12. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE CONSUMO ESPECÍFICO Y RELACIÓN ENTRE ENERGÍA TÉRMICA (ET) Y ENERGÍA ELÉCTRICA (EE). ....	23
FIGURA 13. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA EN PROCESOS Y SERVICIOS POR SECTOR. ....	24
FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUERZA MOTRIZ POR SUBSECTOR. A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	25
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REFRIGERACIÓN POR SUBSECTOR. A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	26
FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AIRE COMPRIMIDO POR SUBSECTOR A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	27
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ILUMINACIÓN POR SUBSECTOR A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	29
FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AIRE ACONDICIONADO POR SUBSECTOR. A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	30
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE OFICINA POR SUBSECTOR. A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	31
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CALENTAMIENTO DIRECTO POR SUBSECTOR. A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	32
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN CALENTAMIENTO INDIRECTO CON VAPOR POR SECTOR A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	33
FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN CALENTAMIENTO DIRECTO POR SECTOR A) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO ABSOLUTO EN MWH B) DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO PONDERADO. ....	34
FIGURA 23. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS CIU 10 CON BASE EN TONELADAS DE PRODUCCIÓN. ....	36
FIGURA 24. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS CIU 10 CON BASE EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN. ....	36
FIGURA 25. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SUBSECTOR DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS CIU 10 CON BASE EN TONELADAS DE PRODUCTO. ....	37
FIGURA 26. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS CIU 10 CON BASE EN TONELADAS POR SUBSECTOR CIU (SOLO PARA EMPRESAS QUE CONSUMEN ENERGÍA TÉRMICA). ....	38
FIGURA 27. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR DE ALIMENTOS POR REGIONES A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA. ....	39
FIGURA 28. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR DE ALIMENTOS POR TAMAÑO DE EMPRESA A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA. ....	40
FIGURA 29. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE ALIMENTOS CIU 10. ....	41

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

FIGURA 30. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS SUBSECTORES DE ALIMENTOS CIIU 101 A 109 .....	41
FIGURA 31. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE ALIMENTOS POR REGIÓN .....	42
FIGURA 32. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE ALIMENTOS POR TAMAÑO DE EMPRESA.....	42
FIGURA 33. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE ALIMENTOS CIIU 10 (MWH) .....	43
FIGURA 34. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN SUBSECTORES DE ALIMENTOS (MWH).....	45
FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE ALIMENTOS CIIU 10 (MWH) .....	46
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN SUBSECTORES DE ALIMENTOS (MWH) .....	47
FIGURA 37. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE BEBIDAS CIIU 11 .....	48
FIGURA 38. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA EN EL SECTOR DE BEBIDAS CIIU 11 POR REGIÓN .....	49
FIGURA 39. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE BEBIDAS CIIU 11.....	50
FIGURA 40. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE BEBIDAS CIIU 11 POR REGIÓN.....	51
FIGURA 41. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE BEBIDAS CIIU 11 (KWH) .....	51
FIGURA 42. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR TEXTIL CIIU 13 CON BASE EN TONELADAS DE PRODUCCIÓN.....	54
FIGURA 43. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR TEXTIL CIIU 13 CON BASE EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN.....	54
FIGURA 44. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR TEXTIL POR REGIONES A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA .....	55
FIGURA 45. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR TEXTIL POR TAMAÑO DE EMPRESA A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA .....	56
FIGURA 46. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR TEXTIL CIIU 13 Y SUBSECTORES CIIU 131 Y CIIU 139 .....	57
FIGURA 47. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR TEXTIL CIIU 13 (MWH) .....	58
FIGURA 48. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN SUBSECTORES DE TEXTILES (MWH) .....	58
FIGURA 49. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR TEXTIL CIIU 13 (MWH) .....	59
FIGURA 50. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN SUBSECTORES TEXTILES (MWH) SUBSECTOR CIIU 131 .....	59
FIGURA 51. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN CIIU 14 CON BASE EN TONELADAS DE PRODUCTO.....	60
FIGURA 52. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN CIIU 14 CON BASE EN UNIDADES DE PRODUCTO .....	61
FIGURA 53. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN POR REGIONES .....	62
FIGURA 54. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN POR TAMAÑO DE EMPRESA .....	62
FIGURA 55. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN CIIU 14.....	63
FIGURA 56. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN .....	63
FIGURA 57. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN .....	64
FIGURA 58. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN CIIU 14 (MWH) .....	64
FIGURA 59. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR CONFECCIÓN CIIU 14 (MWH) .....	65
FIGURA 60. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE CUEROS CIIU 15.....	66
FIGURA 61. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE CUERO CIIU 15.....	66
FIGURA 62. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE CUEROS CIIU 15 (MWH) .....	67
FIGURA 63. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR CUEROS CIIU 15 (MWH) .....	67
FIGURA 64. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR DE MADERA CIIU 16.....	68
FIGURA 65. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR DE MADERAS POR REGIONES A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA .....	69
FIGURA 66. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR DE MADERAS POR TAMAÑO DE EMPRESA A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA .....	70
FIGURA 67. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE MADERA CIIU 16 .....	71
FIGURA 68 RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE MADERA CIIU 16 POR REGIÓN.....	72

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

FIGURA 69. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE MADERA CIIU 16 POR TAMAÑO DE EMPRESA .....	72
FIGURA 70. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR MADERA CIIU 16 (MWh) .....	73
FIGURA 71. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR MADERA CIIU 16 (MWh) .....	73
FIGURA 72. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR PAPEL CIIU 17 CON BASE EN TONELADAS DE PRODUCCIÓN.....	74
FIGURA 73. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR PAPEL CIIU 17 CON BASE EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN .....	75
FIGURA 74. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR PAPEL POR REGIONES A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA .....	76
FIGURA 75. CONSUMO ESPECÍFICO EN EL SECTOR PAPEL POR TAMAÑO DE EMPRESA A) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA B) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA TÉRMICA .....	77
FIGURA 76. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE PAPEL CIIU 17.....	78
FIGURA 77. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE PAPEL CIIU 17 POR REGIÓN..	78
FIGURA 78. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE PAPEL CIIU 17 POR TAMAÑO DE EMPRESA.....	79
FIGURA 79. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR PAPEL CIIU 17 (MWh).....	79
FIGURA 80. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR PAPEL CIIU 17 (MWh) .....	80
FIGURA 81. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE IMPRESIÓN CIIU 18 CON BASE EN TONELADAS DE PRODUCCIÓN .....	81
FIGURA 82. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR IMPRESIÓN CIIU 18 CON BASE EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN .....	81
FIGURA 83. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE IMPRESIÓN CIIU 18 (MWh).....	82
FIGURA 84 USO DE COMBUSTIBLE Y TIPO DE CALDERAS USADOS EN LOS SECTORES INDUSTRIALES ESTUDIADOS .....	83
FIGURA 85 ENERGÍA DESTINADA A PRODUCCIÓN DE VAPOR SEGÚN EL COMBUSTIBLE.....	84
FIGURA 86 ENERGÍA DESTINADA A PRODUCCIÓN DE VAPOR SEGÚN EL COMBUSTIBLE.....	85
FIGURA 87 CAPACIDAD INSTALADA SEGÚN EL SECTOR INDUSTRIAL Y RANGO DE POTENCIA. ARRIBA CALDERA PIROTUBULAR, ABAJO CALDERA ACUATUBULAR.....	86
FIGURA 88 DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD DE LAS CALDERAS SEGÚN EL TIPO Y SECTOR INDUSTRIAL. ARRIBA CANTIDAD, ABAJO CAPACIDAD INSTALADA. ....	88
FIGURA 89 COMPARACIÓN ENTRE CALDERAS RECIENTES Y VIEJAS .....	89
FIGURA 90 EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS PIROTUBULARES DE GAS NATURAL CON BASE AL PODER CALORÍFICO SUPERIOR. ....	91
FIGURA 91. LÍNEA BASE PARA CALDERAS DE COMBUSTIBLE SÓLIDO INFERIORES A 1000 BHP .....	92
FIGURA 92. LÍNEA BASE PARA CALDERA DE COMBUSTIBLE SÓLIDO SUPERIORES A 1000 BHP .....	92
FIGURA 93. EXCESO DE AIRE Y TEMPERATURA DE GASES DE COMBUSTIÓN SEGÚN LA CAPACIDAD EN CALDERAS DE COMBUSTIBLE SÓLIDO. ....	93
FIGURA 94 PARTICIPACIÓN DEL TIPO DE TECNOLOGÍAS DE ACUERDO CON LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE VAPOR EXPRESADA EN BHP PARA EL CONJUNTO DE 23 CALDERAS SUPERIORES A 1000 BHP. ....	94
FIGURA 95 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE CARGA PARA LAS CALDERAS PIROTUBULARES A GAS NATURAL.....	97
FIGURA 96 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE UTILIZACIÓN PARA LAS CALDERAS PIROTUBULARES A GAS NATURAL .....	97
FIGURA 97 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE UTILIZACIÓN PARA LAS CALDERAS PIROTUBULARES A GAS NATURAL POR SECTOR .....	98
FIGURA 98 FACTOR DE CARGA EN CALDERAS ACUATUBULARES A CARBÓN, SEGÚN EL TAMAÑO. ....	98
FIGURA 99 FACTOR DE CARGA EN CALDERAS ACUATUBULARES A CARBÓN SEGÚN SECTOR INDUSTRIAL. ....	99
FIGURA 100 FACTOR DE UTILIZACIÓN EN CALDERAS ACUATUBULARES A CARBÓN SEGÚN TAMAÑO DE EMPRESA.....	99
FIGURA 101 DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES CENSADAS SEGÚN TAMAÑO DE EMPRESA Y COMBUSTIBLE. ARRIBA (A) CANTIDAD. ABAJO POR POTENCIA INSTALADA. ....	102
FIGURA 102 DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LAS CALDERAS ACUATUBULARES CENSADAS SEGÚN TAMAÑO DE EMPRESA Y COMBUSTIBLE. ARRIBA (A) CANTIDAD. ABAJO POR POTENCIA INSTALADA. ....	103
FIGURA 103 TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	104

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

FIGURA 104 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DE UN MOTOR ELÉCTRICO A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA [15] .....	105
FIGURA 105 CAJAS DE BIGOTES DE EDAD DE LOS MOTORES.....	106
FIGURA 106 DISTRIBUCIÓN DE MOTORES EN DIVERSAS POTENCIAS PARA LOS RESPECTIVOS SECTORES .....	107
FIGURA 107 DISTRIBUCION DEL FACTOR DE CARGA EN LA POBLACIÓN DE MOTORES.....	108
FIGURA 108 EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE MOTOR ELÉCTRICO, QUE MUESTRA EL AHORRO DEL POTENCIAL DE ENERGÍA [19].....	109
FIGURA 109. CONSUMO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN MWH PARA EMPRESAS GRANDES DE LOS DIFERENTES SUBSECTORES.....	110
FIGURA 110. CONSUMO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN GWH PARA EMPRESAS MEDIANAS DE LOS DIFERENTES SUBSECTORES.....	111
FIGURA 111. CONSUMO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN MWH PARA EMPRESAS PEQUEÑAS DE LOS DIFERENTES SUBSECTORES.....	112
FIGURA 112. CONSUMO DE ENERGÍA EN MWH PARA MICROEMPRESAS DE LOS DIFERENTES SUBSECTORES. ....	112
FIGURA 113. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LUMINARIAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL. ....	113
FIGURA 114. DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LUMINARIAS SEGÚN EL TAMAÑO DE EMPRESA.....	114
FIGURA 115. DISTRIBUCION DEL USO DE LUMINARIAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL. ....	115
FIGURA 116 CANTIDAD DE TRANSFORMADORES POR TIPO Y RANGO DE POTENCIA APARENTE EN kVA Y SECTOR INDUSTRIAL.....	117
FIGURA 117 DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPRESORES EN TODOS LOS SECTORES, SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA (kW) (IZQUIERDA) Y LA CANTIDAD (DERECHA) .....	119
FIGURA 118 POTENCIA PROMEDIO DE UNA UNIDAD DE COMPRESIÓN SEGÚN TIPO DE COMPRESOR Y TAMAÑO DE EMPRESA. ....	120
FIGURA 119 POTENCIA PROMEDIO DE UNA UNIDAD DE COMPRESIÓN SEGÚN TIPO DE INDUSTRIA .....	121
FIGURA 120 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE REFRIGERANTE USADO EN LA INDUSTRIA SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA CAPACIDAD INSTALADA EN TONELADAS DE REFRIGERACIÓN(DERECHA). ....	123
FIGURA 121 CANTIDAD DE CALDERAS PIROTUBULARES SEGÚN RANGO DE POTENCIAS Y SUBSECTOR - SECTOR DE ALIMENTOS....	127
FIGURA 122 SUMATORIA DE POTENCIA DE CALDERAS PIROTUBULARES SEGÚN RANGO DE POTENCIAS Y SUBSECTOR - SECTOR DE ALIMENTOS.....	127
FIGURA 123 CANTIDAD DE CALDERAS ACUOTUBULARES SEGÚN RANGO DE POTENCIAS Y SUBSECTOR - SECTOR DE ALIMENTOS. .	128
FIGURA 124 SUMATORIA DE POTENCIA DE CALDERAS ACUOTUBULARES SEGÚN RANGO DE POTENCIAS Y SUBSECTOR - SECTOR DE ALIMENTOS.....	129
FIGURA 125 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR ALIMENTOS. SEGÚN EL NÚMERO DE CALDERAS (IZQUIERDA) Y LA SUMATORIA DE POTENCIA INSTALADA EN BHP (DERECHA). ....	130
FIGURA 126. TIPO DE CALDERAS USADAS EN EL SECTOR ALIMENTOS, SEGÚN EL NÚMERO DE CALDERAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN BHP (DERECHA). ....	131
FIGURA 127 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR ALIMENTOS .....	133
FIGURA 128 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR ALIMENTOS.....	133
FIGURA 129 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR ALIMENTOS –TAMAÑO GRANDE .....	134
FIGURA 130 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR ALIMENTOS- TAMAÑO GRANDE .....	134
FIGURA 131 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR ALIMENTOS –TAMAÑO MEDIANA.....	135
FIGURA 132 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR ALIMENTOS- TAMAÑO MEDIANA....	136
FIGURA 133 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR ALIMENTOS –TAMAÑO MICRO .....	137
FIGURA 134 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR ALIMENTOS- TAMAÑO MICRO .....	137
FIGURA 135 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR ALIMENTOS –TAMAÑO PEQUEÑA .....	138
FIGURA 136 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR ALIMENTOS- TAMAÑO PEQUEÑA ....	138
FIGURA 137. TIPO DE ILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR ALIMENTOS, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN KW (DERECHA).....	140
FIGURA 138 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR ALIMENTOS SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN KW. (DERECHA). ....	141
FIGURA 139 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR BEBIDAS. SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y POTENCIA EN BHP (DERECHA) .....	142
FIGURA 140 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR BEBIDAS. ....	143

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

FIGURA 141 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR BEBIDAS.....	143
FIGURA 142. TIPO DEILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR BEBIDAS, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	145
FIGURA 143 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR BEBIDAS SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW. (DERECHA). ....	147
FIGURA 144. TIPO DEILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR TABACO, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	148
FIGURA 145 PROMEDIO DE CAPACIDAD INSTALADA EN CALDERAS POR TAMAÑO DE EMPRESA. TODOS LOS TIPOS DE CALDERAS Y COMBUSTIBLES.....	149
FIGURA 146 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR TEXTIL. SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA (DERECHA) .....	150
FIGURA 147 TIPO DE CALDERAS USADAS EN EL SECTOR TEXTIL, SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA (DERECHA) ....	150
FIGURA 148 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR TEXTIL .....	153
FIGURA 149 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR TEXTIL .....	153
FIGURA 150 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR TEXTIL – TAMAÑO GRANDE .....	154
FIGURA 151 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR TEXTIL- TAMAÑO GRANDE. ....	155
FIGURA 152 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR TEXTIL – TAMAÑO MEDIANA.....	155
FIGURA 153 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR TEXTIL- TAMAÑO MEDIANA. ....	156
FIGURA 154. TIPO DEILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR TEXTIL, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	157
FIGURA 155 DISTRIBUCIÓN DE TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR TEXTIL SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW (DERECHA). ....	159
FIGURA 156 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR CONFECCIONES. SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y POTENCIA EN BHP (DERECHA).....	160
FIGURA 157 DISTRIBUCIÓN DE TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR CONFECCIONES SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW (DERECHA). ....	160
FIGURA 158 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR CONFECCIONES .....	162
FIGURA 159 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR CONFECCIONES .....	162
FIGURA 160 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR CONFECCIONES – TAMAÑO GRANDE.....	163
FIGURA 161 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR CONFECCIONES – TAMAÑO GRANDE. ....	163
FIGURA 162 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR CONFECCIONES – TAMAÑO MEDIANA .....	164
FIGURA 163 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR CONFECCIONES – TAMAÑO MEDIANA. ....	164
.....	164
FIGURA 164 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR CONFECCIONES – TAMAÑO PEQUEÑA .....	165
FIGURA 165 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR CONFECCIONES – TAMAÑO PEQUEÑA.....	166
FIGURA 166. TIPO DE ILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR CONFECCIÓN, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA). ....	167
FIGURA 167 PROMEDIO DE CAPACIDAD INSTALADA EN CALDERAS EN BHP. TODOS LOS TIPOS DE CALDERAS Y COMBUSTIBLES... ..	168
FIGURA 168 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR CUEROS. SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN BHP (DERECHA) .....	169
FIGURA 169 TIPO DE CALDERAS USADAS EN EL SECTOR CUEROS, SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA EN BHP (DERECHA) .....	169
FIGURA 170 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR CUERO .....	171
FIGURA 171 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR CUERO.....	171
FIGURA 172. TIPO DE ILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR CUERO, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	173
FIGURA 173 DISTRIBUCIÓN DE TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR CUERO SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW (DERECHA). ....	174
FIGURA 174 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR MADERA. SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y POTENCIA EN BHP (DERECHA) .....	175

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

FIGURA 175 TIPO DE CALDERAS USADAS EN EL SECTOR MADERA, SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA (DERECHA) .	175
FIGURA 176 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR MADERA.....	177
FIGURA 177 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR MADERA .....	177
FIGURA 178. TIPO DE ILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR MADERA, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	179
FIGURA 179 DISTRIBUCIÓN DE TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR MADERA SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW (DERECHA). .....	180
FIGURA 180 TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO EN CALDERAS SECTOR PAPEL. SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA (DERECHA) .....	181
FIGURA 181 TIPO DE CALDERAS USADAS EN EL SECTOR PAPEL, SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA (DERECHA).....	181
FIGURA 182 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES – SECTOR PAPEL.....	183
FIGURA 183 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR PAPEL.....	183
FIGURA 184 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES – SECTOR PAPEL – TAMAÑO GRANDE .....	184
FIGURA 185 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO – SECTOR PAPEL – TAMAÑO GRANDE .....	184
FIGURA 186. TIPO DE ILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR PAPEL, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	186
FIGURA 187 DISTRIBUCIÓN DE TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR PAPEL SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW (DERECHA). .....	187
FIGURA 188 DIAGRAMA DE PARETO DE CANTIDAD DE MOTORES - SECTOR IMPRESIONES .....	188
FIGURA 189 DIAGRAMA DE PARETO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO - SECTOR IMPRESIONES .....	189
FIGURA 190. TIPO DE ILUMINARIA USADAS EN EL SECTOR IMPRESIÓN, SEGÚN EL NÚMERO DE LUMINARIAS (IZQUIERDA) Y SEGÚN LA POTENCIA INSTALADA EN kW (DERECHA).....	190
FIGURA 191 DISTRIBUCIÓN DE TIPO DE COMPRESORES EN SECTOR IMPRESIÓN SEGÚN LA CANTIDAD (IZQUIERDA) Y LA POTENCIA EN kW (DERECHA). .....	191
FIGURA 192. PORCENTAJE DE POTENCIA INSTALADA SEGÚN TIPO DE INDUSTRIA, ELEMENTO MOTRIZ Y COMBUSTIBLE UTILIZADO	193
FIGURA 193. EFICIENCIA ELÉCTRICA, LÍMITES OBSERVADOS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL PARA LA EFICIENCIA ELÉCTRICA Y GRADO DE CARGA PARA LOS CASOS ESTUDIADOS .....	195
FIGURA 194. EFICIENCIA TOTAL PROMEDIO Y LÍMITES OBSERVADOS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL PARA LA EFICIENCIA TOTAL PROMEDIO DE LOS CASOS ESTUDIADOS .....	195
FIGURA 195. RELACIÓN ELECTRICIDAD GENERADA – ENERGÍA TÉRMICA RECUPERADA Y LÍMITES USUALES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL PARA LOS CASOS EVALUADOS .....	196
FIGURA 196. RENDIMIENTO ELÉCTRICO EQUIVALENTE (REE), REE MÍNIMO SEGÚN CREG-005 Y PORCENTAJES DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA GENERADOS PARA LOS CASOS EVALUADOS .....	197

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN COMPARATIVO DE EMPRESAS.....	20
TABLA 2. CONSUMOS TOTALES DE ENERGÍA TÉRMICA Y ELÉCTRICA POR SECTOR (ARRIBA). DISTRIBUCIÓN DE USO DE COMBUSTIBLES EN ENERGÍA TÉRMICA (ABAJO). .....	21
TABLA 3. CONSUMOS ESPECÍFICOS TÉRMICOS, ELÉCTRICOS Y LA RELACIÓN ENTRE LOS DOS CONSUMOS POR SECTOR .....	23
TABLA 4 PARÁMETROS DE LAS CALDERAS .....	52
TABLA 5 DISTRIBUCIÓN DEL EXCESO DE AIRE DE COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS .....	90
TABLA 6 EFICIENCIAS DE COMBUSTIÓN BASE PARA CALDERAS PIROTUBULARES DE GAS NATURAL.....	91
TABLA 7 DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DE GASES DE COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS.....	94
TABLA 8 COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE SALIDA DE GASES EN CALDERAS PIROTUBULARES CON Y SIN RECUPERACIÓN DE CALOR. ....	95
TABLA 9 FACTOR DE CARGA DE LAS CALDERAS SEGÚN EL SECTOR INDUSTRIAL.....	96
TABLA 10 USO DEL VAPOR EN LOS SECTORES INDUSTRIALES ESTUDIADOS.....	100
TABLA 11 CANTIDAD DE EMPRESAS INCLUIDAS PARA EL ANÁLISIS CON FACTORES DE CARGA PROMEDIO Y EDAD PROMEDIO .....	105
TABLA 12 DATOS PROMEDIO DE FACTORES DE CARGA DESAGREGADO POR SECTORES.....	107
TABLA 13 HORAS DE TRABAJO PROMEDIO DESAGREGADAS POR SECTOR Y TAMAÑO .....	108
TABLA 14 FACTOR DE POTENCIA Y CARGA POR SECTOR.....	118
TABLA 15 EDAD PROMEDIO DE LOS COMPRESORES SEGÚN TIPO Y SECTOR INDUSTRIAL. ....	122
TABLA 16 CAPACIDAD PROMEDIO DE REFRIGERACIÓN POR SECTOR.....	123
TABLA 17 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS DE REFRIGERACIÓN .....	125
TABLA 18. CÓDIGOS CIU POR SUBSECTOR ALIMENTOS. ....	126
TABLA 19 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR ALIMENTOS DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	132
TABLA 20 PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	132
TABLA 21 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR BEBIDAS DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	142
TABLA 22 PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	142
TABLA 23. CÓDIGOS CIU POR SUBSECTOR TEXTIL. ....	148
TABLA 24 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR TEXTIL DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	152
TABLA 25 PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	152
TABLA 26 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR CONFECCIONES DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	161
TABLA 27 PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	161
TABLA 28 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR CUERO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	170
TABLA 29 VALORES PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO.....	170
TABLA 30 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR CUERO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	176
TABLA 31 VALORES PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO.....	176
TABLA 32 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR PAPEL DESAGREGADAS POR TAMAÑO.....	182
TABLA 33 PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	182
TABLA 34 CANTIDAD DE EMPRESAS DEL SECTOR CUERO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	187
TABLA 35 PROMEDIO DE FACTOR DE CARGA Y HORAS DE TRABAJO/AÑO DESAGREGADAS POR TAMAÑO .....	188
TABLA 36. INFORMACIÓN TÉCNICA, POTENCIA INSTALADA Y FLUJOS ENERGÉTICOS EN 2012 Ó 2013 PARA EMPRESAS QUE UTILIZAN COGENERACIÓN. ....	192
TABLA 37. PARÁMETROS DE DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS CHP DE ACUERDO AL ELEMENTO MOTRIZ. PCS (PODER CALORÍFICO SUPERIOR) [21] .....	194

## 1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Artículo 16 de la Ley 143 de 1994, dentro de las funciones a desarrollar por parte de la UPME se encuentra la de “Realizar diagnósticos que permitan la formulación de planes y programas del sector energético”. A partir de este mandato, la Unidad viene desarrollando estudios de caracterización en los sectores productivos (incluido el industrial) y su información ha sido insumo necesario para alimentar los modelos de balance y proyección de demanda de los distintos energéticos y para formular programas de eficiencia energética. Sin embargo, se precisa progresar en dichos estudios a fin de conseguir mayor representatividad y confiabilidad estadística, actualizar datos, reconocer tendencias y recabar información para identificar y definir las condiciones que viabilicen programas de reducción del consumo de energético. En este contexto la Unión Temporal INCOMBUSTION realiza para al UPME, con la cofinanciación de Colciencias, el estudio: *“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA”*.

Este documento es el informe final el cual tiene los siguientes alcances:

- i. Caracterización y cuantificación del consumo energético en las empresas seleccionadas para diagnósticos energéticos.
- ii. Revisión de los procesos y tecnologías de mayor eficiencia energética, utilizados en este tipo de empresas en el ámbito internacional.
- iii. Comparación de procesos y tecnologías utilizados en el ámbito nacional con nuevas tendencias internacionales de mayor eficiencia.

## 2 EJECUCIÓN DEL PLAN DE VISITAS

De acuerdo al diseño muestral del proyecto, se definió un total de 210 empresas a intervenir; donde 149 empresas se visitan directamente por el equipo ejecutor del proyecto y se les hace la encuesta virtual (empresas tipo A), y 61 empresas a las cuales se les realiza únicamente la encuesta virtual (empresas tipo B).

### 2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología empleada para obtener y analizar la información se describe a continuación.

#### 2.1.1 METODOLOGÍA VISITAS

Para realizar los diagnósticos a las empresas seleccionadas se parte del diseño muestral que se obtuvo; de allí se seleccionaron las empresas a ser diagnosticadas directamente, luego la Unidad de Planeación Minero Energética radicó las cartas de invitación a dichas empresas, las cuales pasaron a manos de DataWare, el call center contratado para facilitar y agilizar el contacto con las empresas, al recibir las cartas de invitación las compañías interesadas en ser partícipes del proyecto envían las inscripciones diligenciadas al correo electrónico de INCOMBUSTION, se las proporcionan a la empresa encargada del contacto o bien en algunos casos lo hacen llegar físicamente a las oficinas de la UPME, al recopilar estos formularios se hace contacto telefónico con el representante de la planta a visitar para concretar la cita de la visita. En paralelo el call center hace contacto con las empresas que no han respondido a la convocatoria para invitarlas personalmente a unirse al proyecto. Luego de establecer dicho contacto y concretar la reunión se accede a realizar el

diagnóstico. El plan de acción se encuentra organizado por regiones, siendo Antioquia, Valle del Cauca y Bogotá las primeras zonas a intervenir. A continuación se tiene el orden en que se lleva el proceso, y la interacción que tienen INCOMBUSTION y el call center con las empresas. En la Figura 1 se presenta una secuencia de las actividades descritas; en la Figura 2 se presenta las interacciones que se establecen entre los actores que participan en la concertación y concreción de las visitas.



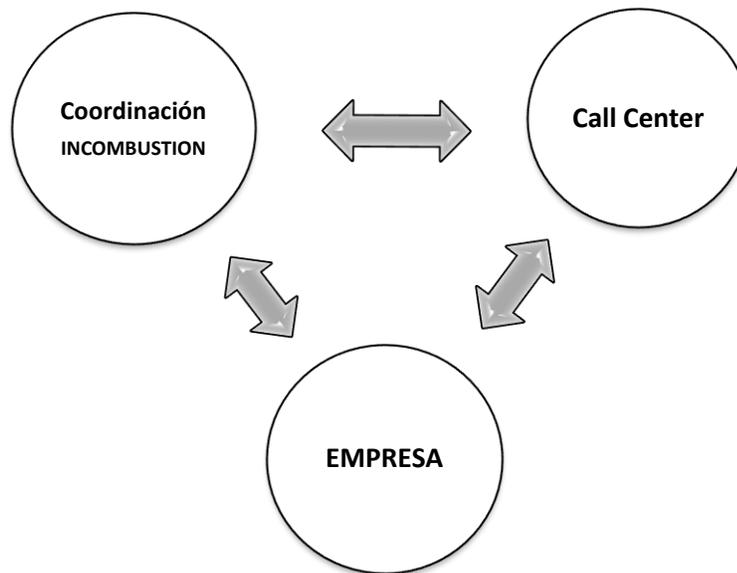
**Figura 1. Secuencia de actividades para realización de diagnósticos.**

### 2.1.2 METODOLOGÍA ENCUESTAS

Para realizar la encuesta a las empresas seleccionadas se realiza un procedimiento similar a la utilizada para las visitas; luego de seleccionar quienes serían encuestadas desde el diseño muestral y acceder a ellas por medio de la invitación y la intervención del call center, se procede a concretar la participación en el proyecto con el diligenciamiento de la encuesta. Luego de que la compañía acepte ser parte del proceso se le envía el vínculo con nombre de usuario y contraseña, con los cuales debe acceder a esta. Luego de que se diligencia la encuesta, INCOMBUSTION tiene acceso a

la información reportada y puede realizar el informe pertinente. En seguida, se puede observar el orden y la interacción que se lleva en este proceso, entre INCOMBUSTION y el call center con las empresas contactadas. En la Figura 3 se observa la secuencia de actividades para el diligenciamiento de las encuestas. La Figura 4 presenta la interacción entre las partes involucradas directamente en el proceso.

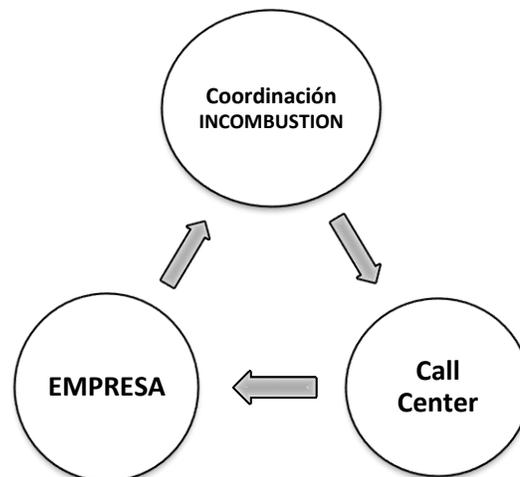
En el anexo 1 se presenta el diagrama conceptual y todas las preguntas realizadas en la encuesta.



**Figura 2. Ciclo de interacción Incombustion-Empresa-Call Center.**



**Figura 3. Ciclo de interacción Incombustion-Empresa-Call Center.**



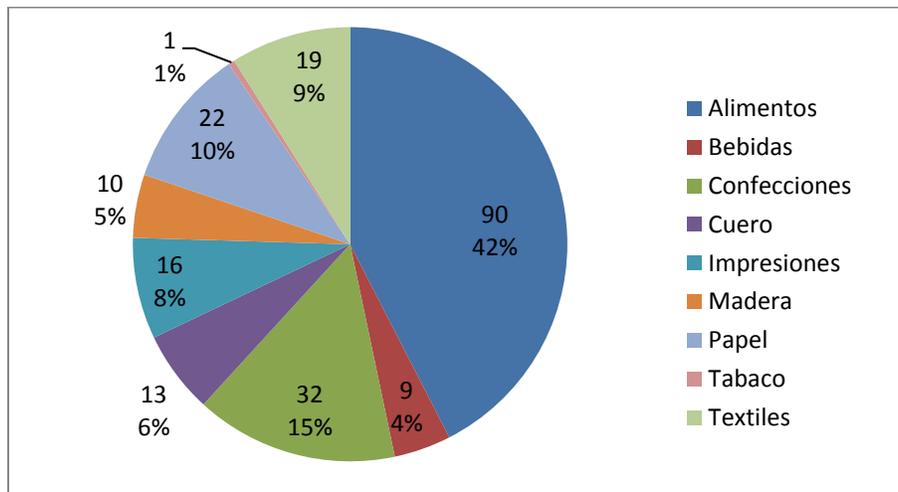
**Figura 4. Ciclo de interacción Incombustion-Empresa-Call Center.**

## 2.2 EMPRESAS VISITADAS Y DIAGNOSTICADAS.

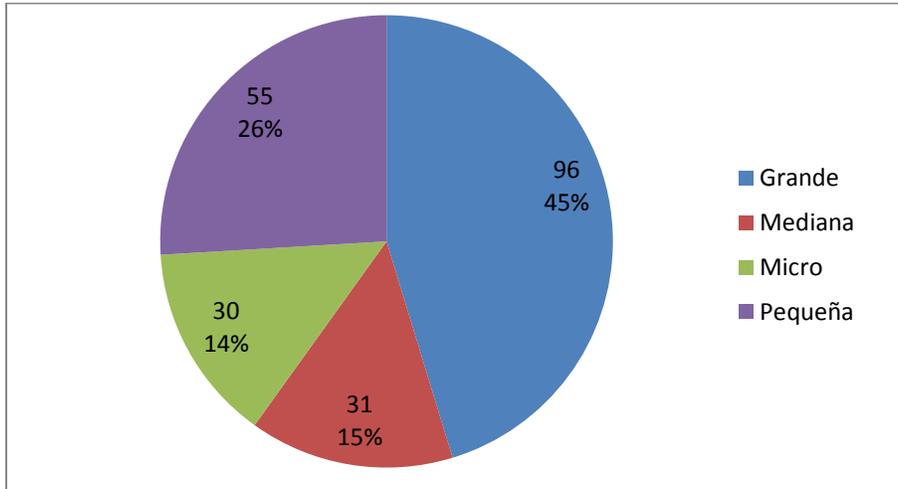
Se han intervenido en total 212 empresas tanto en visita de diagnóstico como en encuesta, lo que satisface el 100% del diseño muestral original: 210 empresas. La diferencia entre ambas cifras corresponde a dos compañías grandes cada una con dos con plantas de producción que se cuentan por separado (una empresa por encuesta y otra por visita). Se han visitado 150 empresas, que equivalen al 71% del total de empresas seleccionadas en el muestreo tanto para diagnóstico como para ser encuestadas y para tamaño de empresa grande, mediana y pequeña correspondiente al 76% de esta selección. Del total de las empresas visitadas, 69 son gran empresa, 25 medianas, 42 pequeñas y 14 microempresa.

La distribución por sector industrial de las empresas intervenidas, tanto por visita de diagnóstico como por encuesta de todos los tamaños y de todas las regiones se presenta en la Figura 5. De acuerdo con el diseño muestral, los sectores de alimentos, papel, textiles y confecciones son los sectores que más se visitaron y equivalen al 77% del total de la intervención realizada. Lo anterior se justifica porque estos sectores son los de más importancia en el país desde el punto de vista de generación de empleo y vocación industrial[1].

En las Figura 5 y Figura 6 se tiene la distribución total de las empresas intervenidas por sector y tamaño respectivamente.

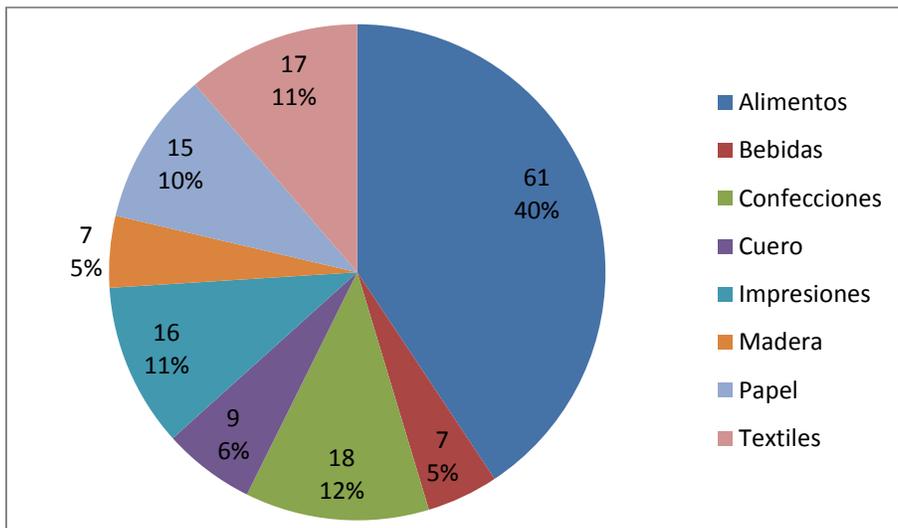


**Figura 5 Distribución por sector industrial de las empresas empresas intervenidas con visita o encuesta.**

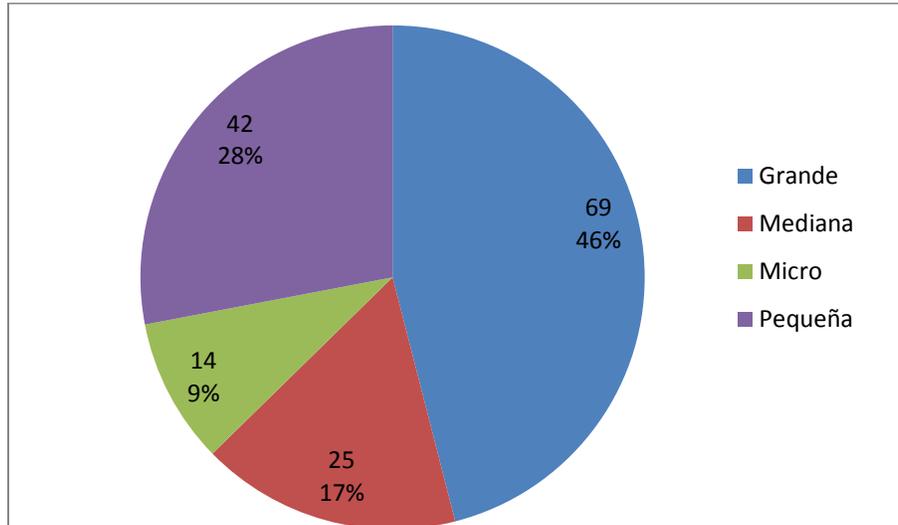


**Figura 6 Distribución por tamaño de las empresas intervenidas con visita o encuesta.**

De igual forma en la Figura 7 y Figura 8 se observa cómo se distribuyen las empresas visitadas por el equipo de trabajo según el sector y tamaño al que corresponden.



**Figura 7 Distribución de empresas visitadas por sector.**

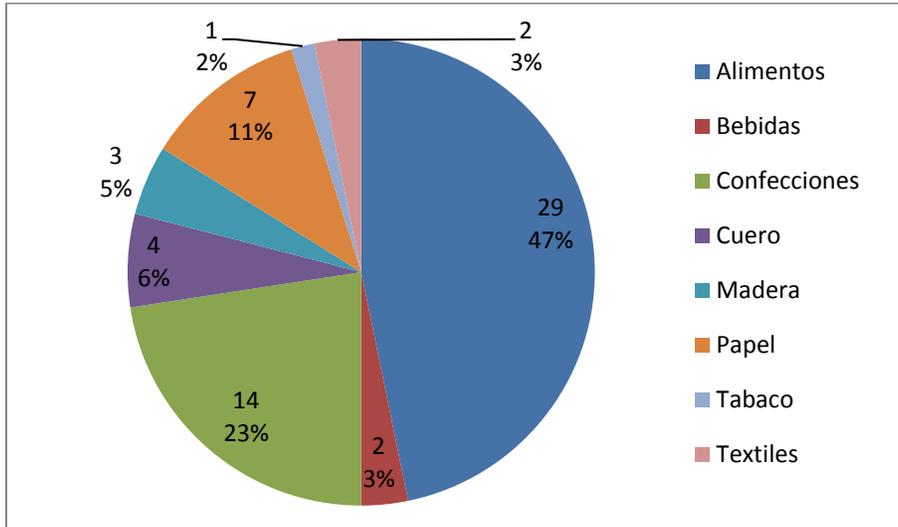


**Figura 8 Distribución de empresas visitadas por tamaño.**

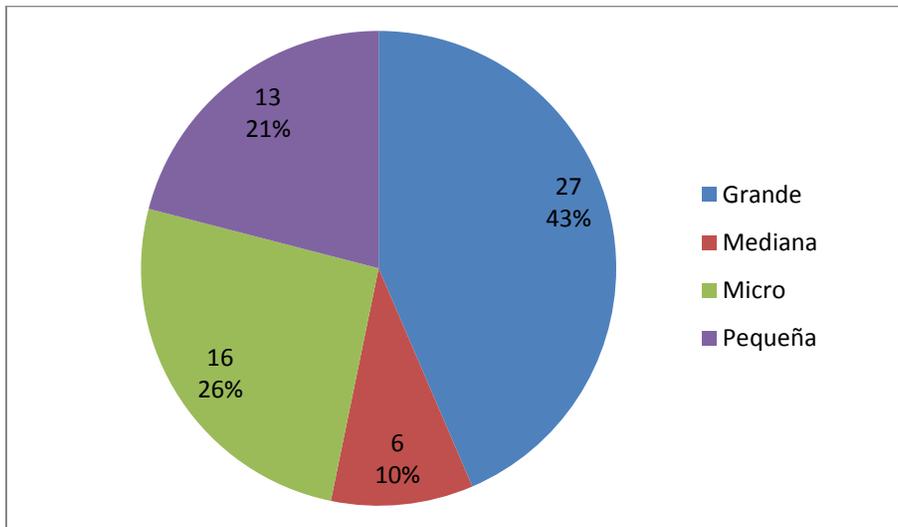
### 2.3 EMPRESAS ENCUESTADAS

El uso de la herramienta de encuesta virtual estuvo disponible por 8 meses. Se realizó una fase inicial a 138 empresas con el fin de perfeccionar los mecanismos de comunicación y seguimiento del diligenciamiento de la encuesta. Se exceptúan de este número de empresas, aquellas a las cuales ya se les ha realizado el diagnóstico energético.

Al compararse los resultados obtenidos respecto a la convocatoria realiza se pudo observar que la respuesta por parte de las empresas no es alta. Esto debido, principalmente, a un miedo de compartir información a pesar de la cláusula de confidencialidad presentada, a que existe un desconocimiento general ante los programas de mejoramiento de cualquier índole y en muchos casos las empresas no poseen la información que es pedida en el diligenciamiento de las encuestas, es decir, muchas empresas pequeñas y microempresas no tienen un registro de muchas de sus actividades y procesos. En las Figura 9 y Figura 10 se presenta la distribución de las empresas encuestas según su sector industrial y la distribución de las encuestas realizadas por tamaño de empresa.



**Figura 9 Distribución de empresas encuestadas por sector.**



**Figura 10 Distribución de empresas encuestadas por tamaño.**

Con el total entre las empresas visitadas y las empresas encuestadas, se llega a 212 empresas intervenidas que satisfacen el total del diseño muestral para todos los tamaños de empresa. Sobre esta base se realizan todos los análisis y comparaciones de las tecnologías y procesos utilizados en los sectores industriales estudiados en el proyecto.

## 2.4 RESUMEN

En la Tabla 1 se realiza un análisis comparativo entre las empresas según su tamaño, las empresas contempladas en el diseño muestral, las visitadas y las encuestadas.

**Tabla 1 Resumen comparativo de empresas.**

Tamaño	Empresas con encuesta	Empresas visitadas	Total intervenido	Diseño muestral
Grande	27	69	96	94
Mediana	6	25	31	31
Pequeña	13	42	55	55
Micro	16	14	30	30
<b>Total general</b>	<b>62</b>	<b>150</b>	<b>212</b>	<b>210</b>

## 3 CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS EMPRESAS VISITADAS

Se ha realizado el diagnóstico energético y sus respectivos análisis en 212 empresas, para lo cual se ha tenido en cuenta la distribución por tamaño, código CIU y ubicación regional. El análisis realizado en cada empresa tiene el siguiente contenido:

- Introducción y objetivos generales del proyecto.
- Identificación de la empresa.
- Caracterización del consumo energético.
- Indicadores energéticos.
- Oportunidades de reducción del consumo energético.

En el anexo 2, se presenta la lista del total de empresas intervenidas organizado por subsector industrial y de acuerdo con los códigos CIU a cuatro dígitos; en el anexo 3, se presenta una guía para la interpretación correcta de un diagrama de caja de bigotes y sus componentes; y en el anexo 4, se presenta las tablas complementarias a las gráficas y las tortas presentadas.

La caracterización y cuantificación del consumo energético específico en las empresas visitadas y encuestadas parte de determinar la cantidad de energía eléctrica y térmica consumida en un año continuo de operación. El consumo de energía eléctrica en kWh se determinó a través del registro de los históricos de consumo que la empresa reporta a partir de las facturas de servicios públicos, mientras que para el consumo de energía térmica se cuantificó la cantidad de combustible (carbón, gas natural, GLP, fuel oil, biomasa, etc) consumido por la empresa basado en facturas de compra, servicios públicos y registros internos de la propia empresa. La biomasa se entiende como los combustibles constituidos por cascarilla de café, fibras de fruto de palma, madera y polvillo de bagazo de caña. Si bien el bagazo de caña técnicamente es biomasa, en el presente documento se va a considerar como un tipo de combustible, dado que el consumo de bagazo de caña es significativo en los grandes ingenios. Estas cantidades se han convertido en kWh de energía térmica

al multiplicarlas por el poder calorífico superior de cada combustible. Los consumos consolidados de ambos tipos de energía cuantificados por sector en la muestra intervenida se presentan en la Tabla 2 y Figura 11.

**Tabla 2. Consumos totales de energía térmica y eléctrica por sector (arriba). Distribución de uso de combustibles en energía térmica (abajo).**

Consumos energéticos (MWh/año)		
Sector	Energía Eléctrica	Energía Térmica
Alimentos	446,438	3,291,940
Bebidas	63,061	222,783
Confecciones	78,152	141,373
Cuero	10,494	17,117
Impresiones	5,255	20
Madera	27,922	125,116
Papel	738,701	4,050,527
Tabaco	9,540	7,178
Textiles	151,594	1,176,215
<b>Total general</b>	<b>1,531,156</b>	<b>9,032,269</b>

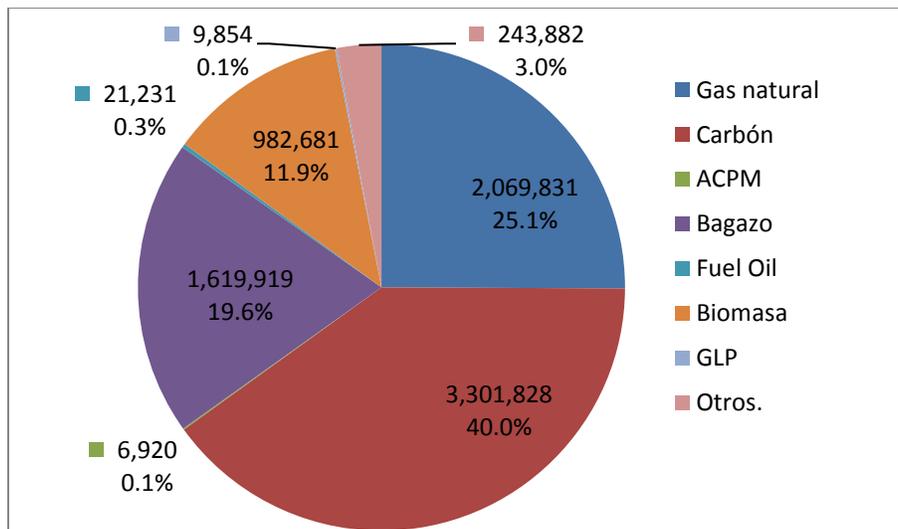
\* Para el cálculo de la relación Energía Térmica a Energía Eléctrica no se recomienda el uso de los datos de esta tabla dado que son consumos totales por sector que no tienen en cuenta la alta heterogeneidad de procesos. En las secciones subsiguientes se hace un análisis detallado de este aspecto.

Sector	Distribución energía Térmica (MWh/año)							
	Gas	Carbón	ACPM	Bagazo	Fuel Oil	Biomasa	GLP	Otros
Alimentos	633,714	546,566	5,060	1,619,919	14,259	36,420	4,906	606
Bebidas	201,895	0	68	0	0	0	0	18,115
Confecciones	99,887	3,065	1,615	0	0	0	62	0
Cueros	16,157	961	0	0	0	0	0	0
Impresiones	20	0	0	0	0	0	0	0
Madera	123,457	0	42	0	0	1	917	0
Papel	817,674	1,706,736	134	0	0	946,261	35	223,865
Textil	177,027	1,044,500	0	0	6,972	0	3,933	1,295
<b>Total general</b>	<b>2,069,831</b>	<b>3,301,828</b>	<b>6,920</b>	<b>1,619,919</b>	<b>21,231</b>	<b>982,681</b>	<b>9,854</b>	<b>243,882</b>

Sector	Distribución energía Térmica (%)							
	Gas natural	Carbón	ACPM	Bagazo	Fuel Oil	Biomasa	GLP	Otros
Alimentos	22.0	19.0	0.2	56.3	0.5	1.3	0.2	0.0
Bebidas	91.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2
Confecciones	95.5	2.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA.  
INFORME FINAL

Sector	Distribución energía Térmica (%)							
	Gas natural	Carbón	ACPM	Bagazo	Fuel Oil	Biomasa	GLP	Otros
Cueros	94.4	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Impresiones	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Madera	99.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0
Papel	22.1	46.2	0.0	0.0	0.0	25.6	0.0	6.1
Textil	14.3	84.7	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	0.1
<b>Total general</b>	<b>25.0</b>	<b>39.9</b>	<b>0.1</b>	<b>19.6</b>	<b>0.3</b>	<b>11.9</b>	<b>0.1</b>	<b>2.9</b>



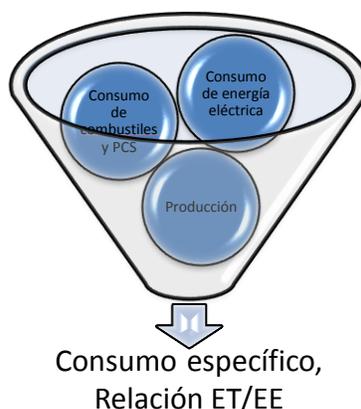
**Figura 11. Distribución de energía térmica en MWh/año de acuerdo al combustible utilizado, para todos los sectores.**

Una vez obtenidos los consumos de ambos tipos de energía, ambos se dividen por la producción de la empresa en el mismo año en el que se obtuvieron los consumos energéticos y esta relación constituye el consumo específico de energía eléctrica y energía térmica, tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 12. Similarmente, al dividir el consumo de energía térmica entre el consumo de energía eléctrica, se obtiene la relación ET/EE. En la Tabla 3, se presenta un resumen del análisis estadístico de los consumos específicos y la relación ET/EE por sector, el cual será ampliado en las secciones subsiguientes.

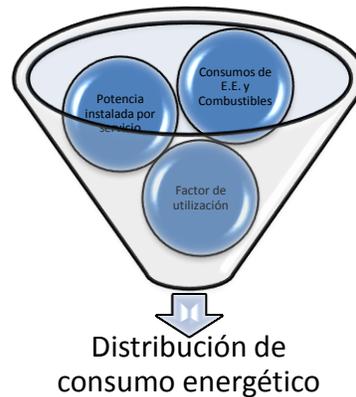
**Tabla 3. Consumos específicos térmicos, eléctricos y la relación entre los dos consumos por sector**

Sector Industrial	Unidades de Producción	Consumo específico eléctrico (kWh/U. Producción)				Consumo específico térmico (kWh/ U. Producción)				Relación ET/EE			
		Mínimo	Mediana	Promedio	Máximo	Mínimo	Mediana	Promedio	Máximo	Mínimo	Mediana	Promedio	Máximo
Alimentos	Toneladas	0,3713	146,3	449,6	6995,3	0,226	592,5	62987,4	4635545,2	0,0	2,76	690,6	35870,3
Bebidas	Hectolitros	1,828	5,22	9,78	30,86	1,382	6,57	12,56	52,276	0,0	1,28	1,52	5,39
Confecciones	Toneladas	20,48	1934,2	15402,4	82803,5	513,5	2761,1	9617,46	60176,5	0,0	0,0	0,547	3,35
Cueros	Unidades	0,27	1,93	4,40	18,1	0,146	4,54	12,01	38,8	0,0	0,0	0,8	3,52
Impresiones	Toneladas	0,15	439,8	531,9	1442,12	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Madera	Toneladas	13,92	124,43	227,36	766,53	4,63	342,5	606,4	1732,3	0,0	0,17	1,76	9,94
Papel	Toneladas	21,67	636,6	809,9	2726,6	6,68	2567,6	2846,5	8246,2	0,0	2,6	2,6	6,75
Textil	Toneladas	226,29	1424,1	1354,7	3107,2	0,141	10253	10462	24412,5	0,0	0,9	4,542	16,16

El cálculo de la distribución del uso de la energía eléctrica y térmica en distintos procesos y servicios generales por sector se realizó con base en los tiempos de operación mensual o factor de utilización que las empresas reportan para cada equipo eléctrico o térmico en procesos o servicios, según se muestra esquemáticamente en la Figura 13. La estimación del consumo energético de cada proceso o servicio se calculó multiplicando las horas de operación por la potencia instalada de cada equipo del proceso, o en el caso de equipos térmicos, el consumo total de combustible de cada equipo por mes cuando estos tenían instalados mediadores de consumo directo. Estos consumos se totalizan por sector y luego se construye la distribución de cada servicio según la contribución en el consumo absoluto de cada sector. De la Figura 14 a la Figura 22 se muestra la información consolidada de las distribuciones de consumo energía eléctrica y térmica de las empresas visitadas y encuestadas.



**Figura 12. Esquema del procedimiento de cálculo de los indicadores de consumo específico y relación entre Energía Térmica (ET) y Energía Eléctrica (EE).**

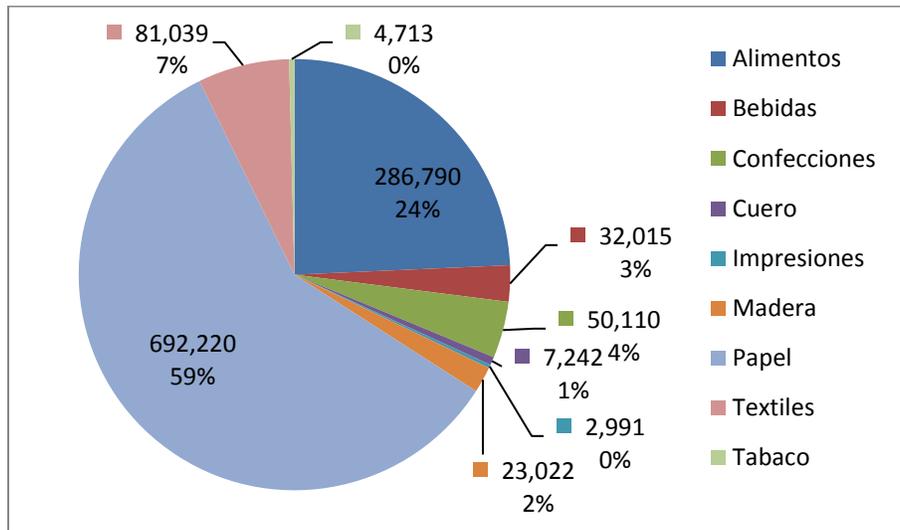


**Figura 13. Esquema del procedimiento de cálculo de la distribución de consumo de energía eléctrica y térmica en procesos y servicios por sector**

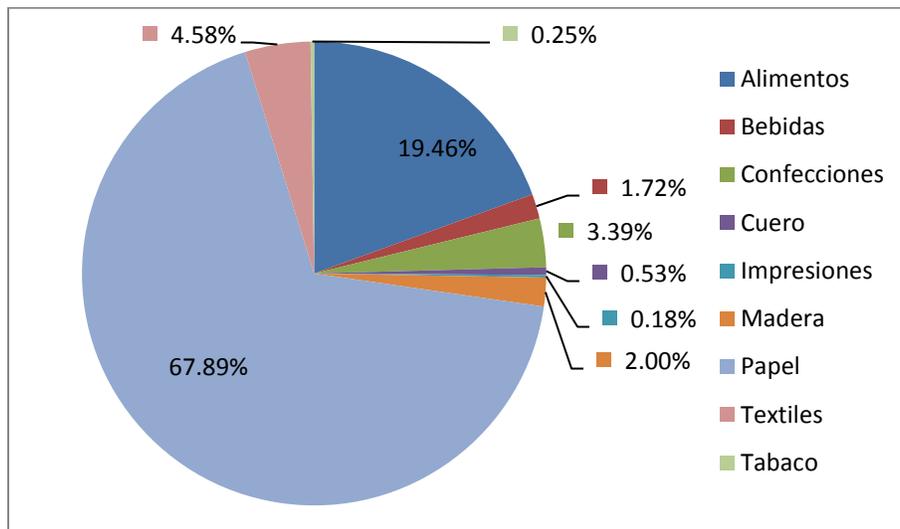
En la Figura 14 se presenta la distribución de consumo de energía eléctrica cuantificada en las empresas intervenidas para la operación de equipos generadores de fuerza motriz, que es una operación transversal a todos los sectores visitados. En esta clasificación, se tuvieron en cuenta todos aquellos equipos de generación de movimiento de rotación o traslación para agitación, bombeo, ventilación, transporte y otros tipos de transmisión de potencia por medio de acople directo, bandas, correas y otros medios. La fuerza motriz para equipos de refrigeración y aire comprimido se consideraron en una caracterización aparte que se mostrará más adelante.

Como la distribución mostrada en la Figura 14a está condicionada por la cantidad de empresas intervenidas en cada sector, algunas de ellas con mayor magnitud de consumo de energía eléctrica, se construyó la Figura 14b, en la que se presenta la distribución del consumo de energía eléctrica en fuerza motriz por sector ponderado por la contribución relativa que tiene este uso en el consumo eléctrico total de cada sector. Esta distribución ponderada se aplicará posteriormente al análisis de los demás usos de la energía eléctrica y térmica.

Según la distribución que se ilustra en la Figura 14b, el sector papel (CIU 17) es el mayor consumidor de energía eléctrica para generación de fuerza motriz, seguido por los sectores de alimentos, textiles y confecciones, lo cual coincide con la distribución de consumo absolutos de la Figura 14a. La alta contribución del sector papel a este consumo obedece a que posee la mayor población de motores eléctricos de alta potencia (mayor a 1000 hp)



a)

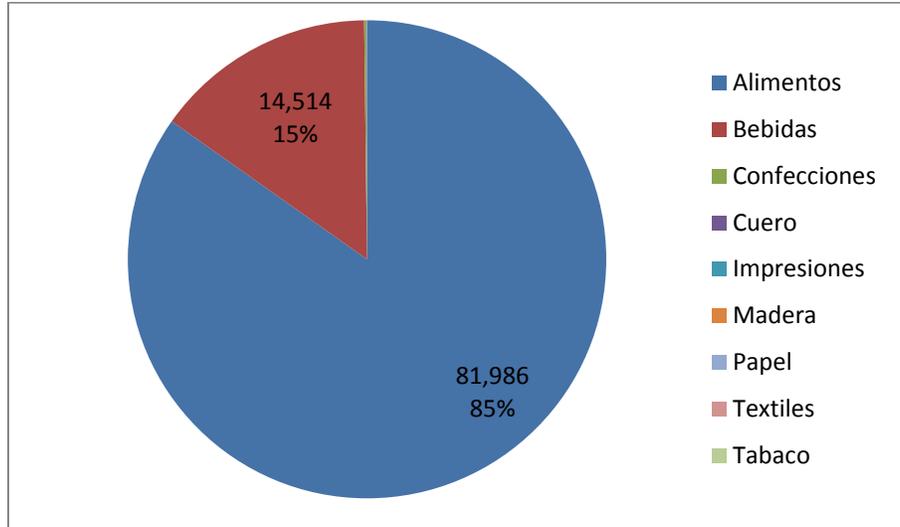


b)

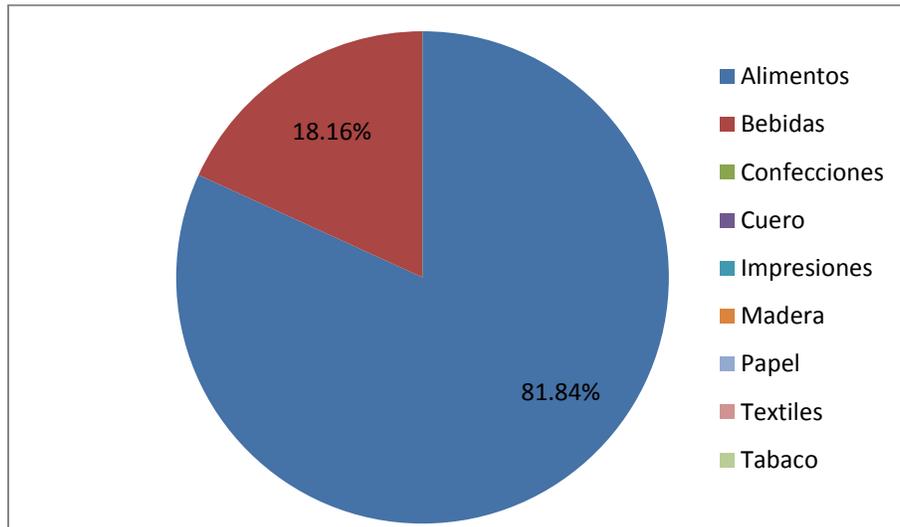
**Figura 14. Distribución del consumo de energía eléctrica en fuerza motriz por subsector. a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

En la Figura 15 se presenta la distribución de consumo absoluto y consumo ponderado de energía eléctrica para la operación de equipos de refrigeración, donde se encontró este tipo de uso en los sectores de alimentos (CIU 10), bebidas (CIU 11), confecciones (CIU 14), cueros (CIU 15), impresiones (CIU 18) y textiles (CIU 13). En esta clasificación, se tuvieron en cuenta todos aquellos equipos generadores de frío tales como compresores y ventiladores de ciclos de refrigeración por compresión de vapor, chillers y torres de enfriamiento. La distribución reflejada por la caracterización de consumo absoluto y ponderado apunta hacia el sector de alimentos como el

principal consumidor de energía para refrigeración, casi cuadruplicando el consumo del sector de bebidas. La refrigeración en los demás sectores tiene una participación marginal que no alcanza el 0,1% del consumo eléctrico para este servicio.



a)

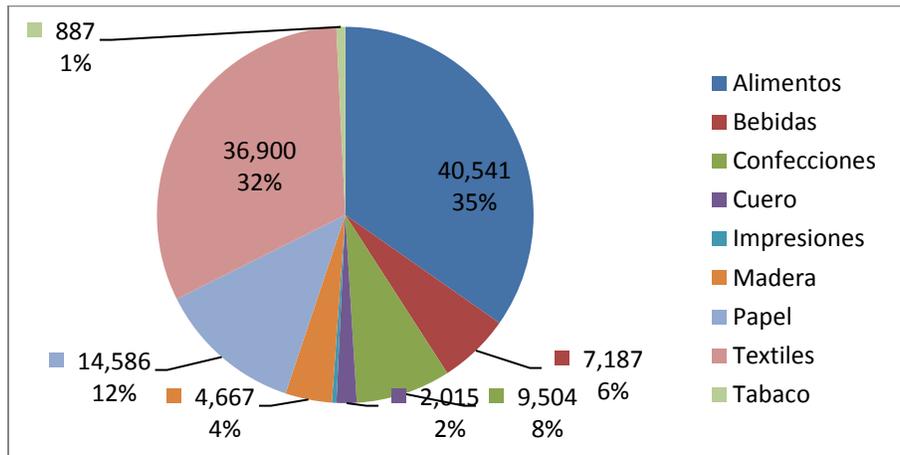


b)

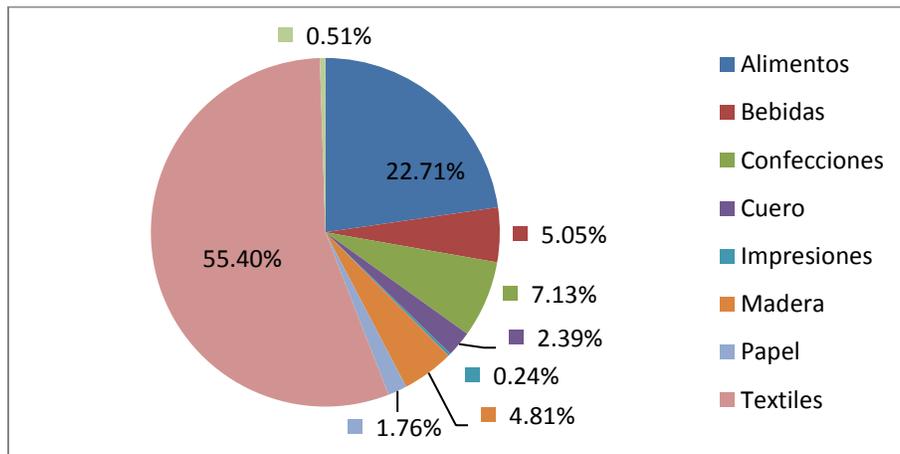
**Figura 15. Distribución del consumo de energía eléctrica en refrigeración por subsector. a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

En la Figura 16 se presenta la distribución de consumo absoluto y ponderado de energía eléctrica para la operación de equipos de aire comprimido, el cual fue transversal a todos los sectores estudiados, aunque es importante aclarar que no todas las empresas de los distintos sectores

poseen este servicio y los datos reportados son consumos generales para identificar tendencias. Las mediciones en las empresas intervenidas muestran a los sectores de textiles (CIU 13) y alimentos (CIU 10) como los principales consumidores absolutos de aire comprimido, seguidos de lejos por los sectores de papeles (CIU17) y confecciones (CIU 14). Es en estos sectores donde se ha identificado la mayor potencia instalada en compresores de aire. En la Figura 16b se resalta el alto consumo de aire comprimido que tiene la industria de textiles con respecto a los demás sectores y se destaca que a diferencia de la distribución de consumo absoluto, el consumo ponderado del sector de bebidas es mayor que el del sector papel. El uso de aire comprimido en los sectores de mayor consumo mencionados obedece principalmente al accionamiento de sistemas neumáticos de operación y de control.



a)



b)

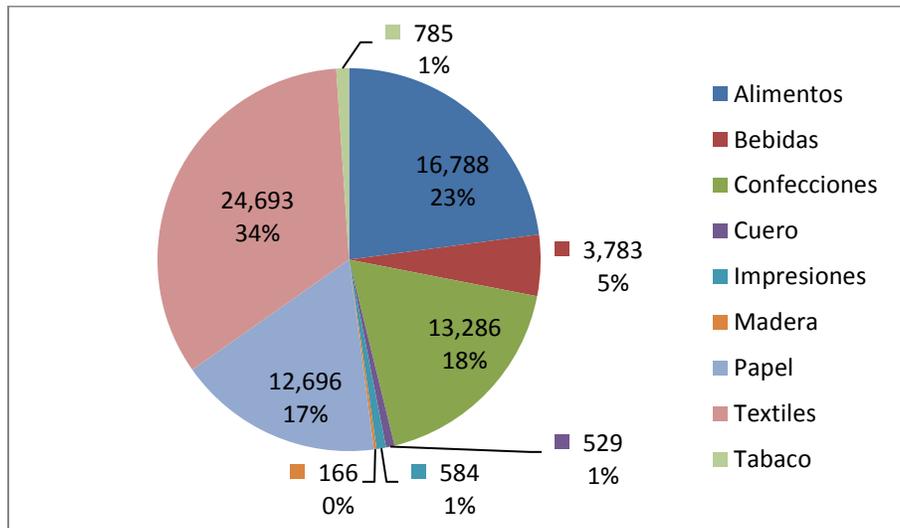
**Figura 16. Distribución del consumo de energía eléctrica en aire comprimido por subsector a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

En la Figura 17 se presenta la distribución de consumo absoluto y ponderado de energía eléctrica para la iluminación, representada por distintos tipos de luminarias que se analizarán en el siguiente capítulo. Los resultados de consumo absoluto encontrados muestran al sector textil (CIU 13) como el principal consumidor de energía para iluminación, seguido por el sector de alimentos y confecciones. No obstante, el consumo ponderado resalta la alta proporción que la iluminación tiene en el sector de confecciones, el cual se consolida como el segundo de mayor consumo detrás del sector textil. Estos dos sectores en particular son grandes demandantes del servicio de iluminación debido a que la calidad de sus productos depende significativamente de la observación y la identificación de detalles y para ello poseen en su mayoría luminarias de alto consumo de potencia.

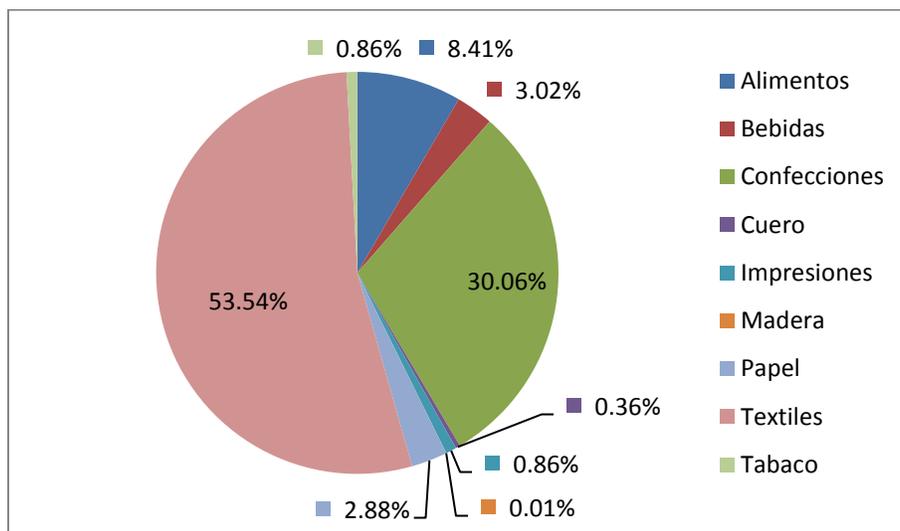
En la Figura 18 se describe la distribución de consumo absoluto y ponderado de energía eléctrica para el aire acondicionado, donde el sector de papel constituye el mayor consumidor absoluto de este servicio, seguido por los sectores de alimentos, textiles y bebidas, con contribuciones menores de los otros sectores. En el consumo de aire acondicionado se consideraron tanto las unidades pequeñas tipo Split para acondicionamiento de oficinas y bodegas, como unidades centralizadas de alta potencia en aire acondicionado.

El mayor consumo de aire acondicionado ponderado que se muestra en la industria papelera obedece a un tema regional, ya que las empresas de mayor capacidad instalada de producción en este sector están ubicadas en la región suroccidente, donde la temperatura ambiental motiva el uso significativo de este servicio. De otro lado, llama la atención la alta proporción del servicio de aire acondicionado en el sector tabaco, aunque hay que aclarar que este consumo deriva de la intervención de una empresa grande y representativa del sector, que valga la pena decirlo, no tiene muchas empresas para una caracterización más amplia.

El consumo absoluto y ponderado de energía eléctrica para equipos de oficina se puede observar en la Figura 19, donde se incluyeron equipos de cómputo, impresión, UPS y servidores. Tanto la distribución de consumo absoluto, como de consumo ponderado dieron al sector de alimentos como el más consumidor de este servicio, seguido en el consumo ponderado por el sector de bebidas y confecciones, aunque los dos primeros concentran más de la mitad de la energía para este uso.

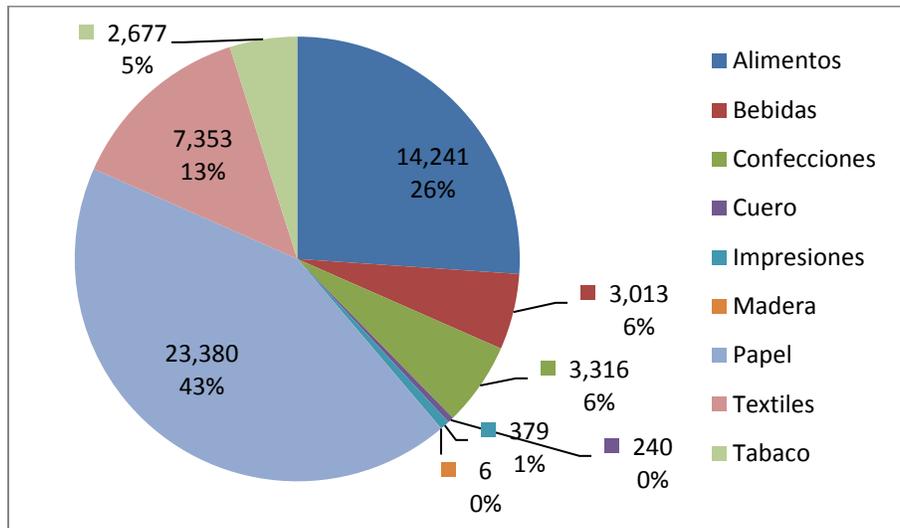


a)

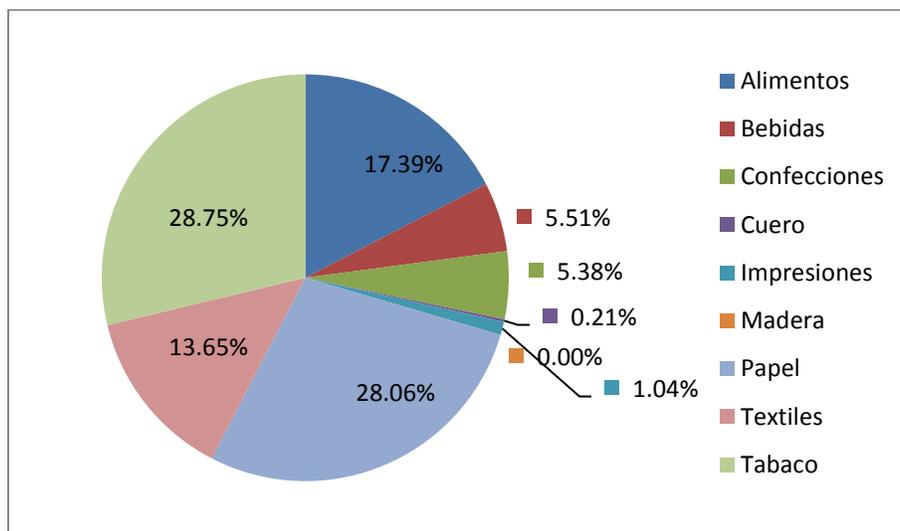


b)

**Figura 17. Distribución del consumo de energía eléctrica en iluminación por subsector a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

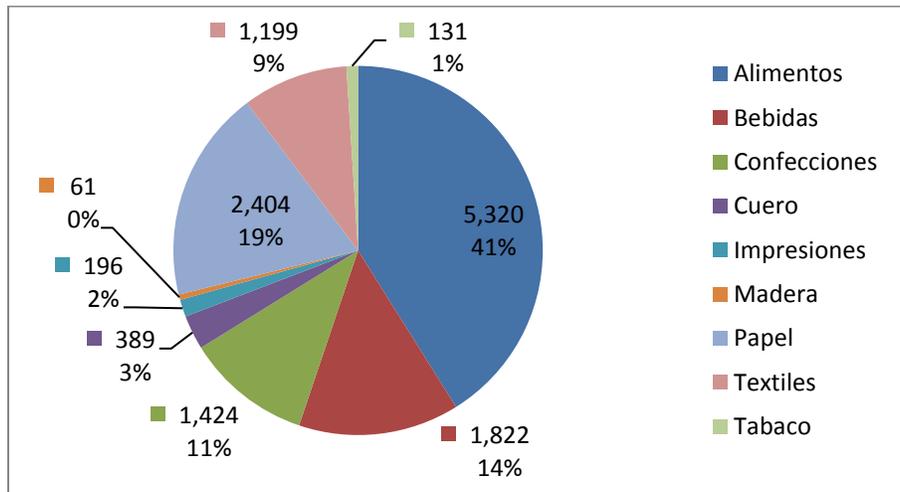


a)

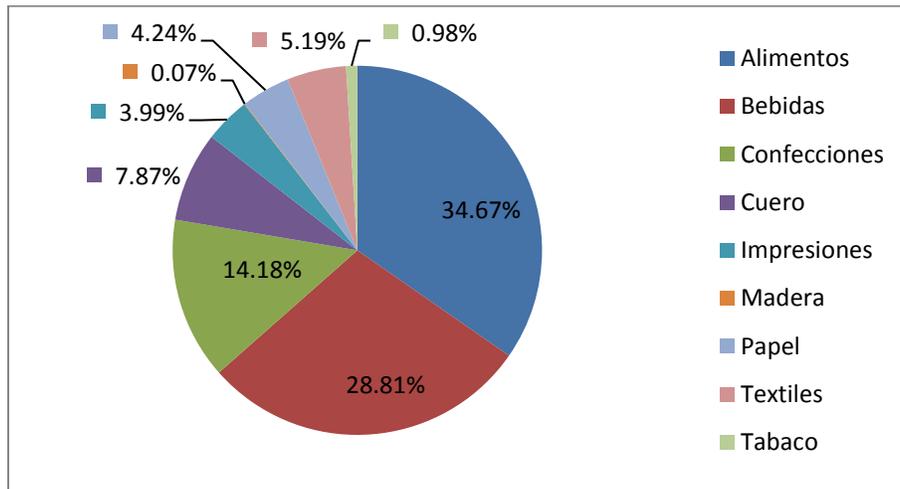


b)

**Figura 18. Distribución del consumo de energía eléctrica en aire acondicionado por subsector. a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**



a)

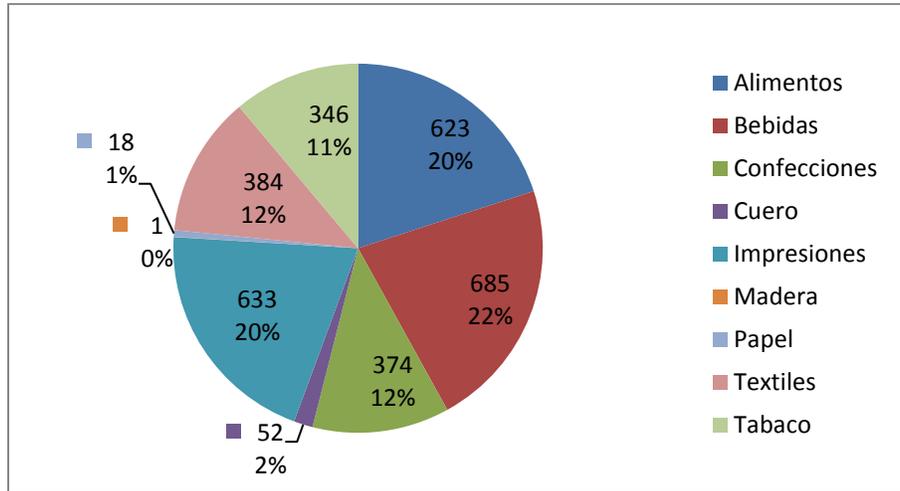


b)

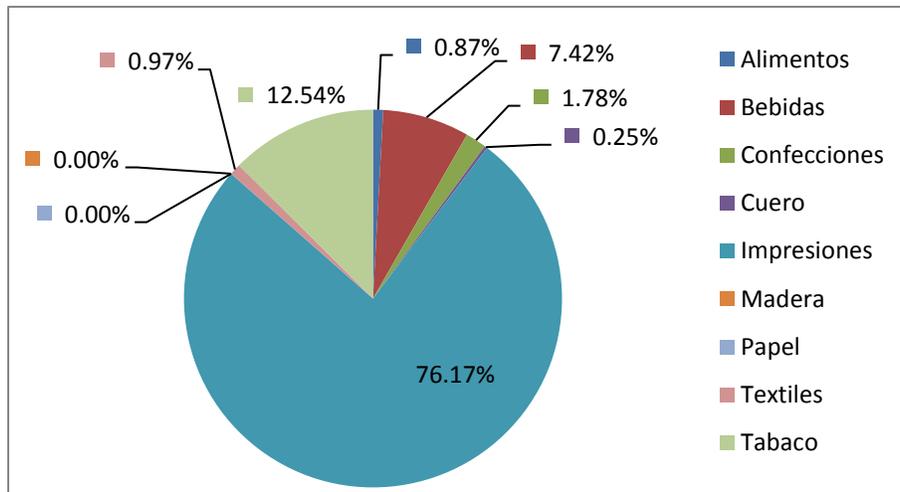
**Figura 19. Distribución del consumo de energía eléctrica en equipos de oficina por subsector. a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

En la Figura 20 se detalla la distribución de consumo absoluto y ponderado por sector para la operación de equipos de calentamiento directo con energía eléctrica que en la mayoría de los casos está representado por calentamiento con radiación ultravioleta y el uso de resistencias eléctricas para calentamiento de fluidos por convección, radiación infrarroja o calentamiento de láminas por contacto. En este tipo de uso de energía predominan los consumos absolutos de los sectores de confección (CIU 14) e impresión (CIU 18), en los cuales es común el uso de planchas, lámparas UV y radiación infrarroja por resistencias eléctricas para el planchado de prendas y fijación y secado de tintas y otros aditivos en el material impreso.

En los sectores de alimentos, textiles y bebidas también se encontró el uso de este tipo de calentamiento, principalmente para operaciones de secado y empaque de producto. Sin embargo, el consumo ponderado arrojó al sector de impresiones con más del 93% del consumo de electricidad para calentamiento directo seguido del sector de confecciones, lo cual es consecuente con lo observado en las empresas intervenidas, donde la mayoría de equipos cuentan con estos sistemas de calentamiento para el procesamiento y acabado final de los distintos productos. Los otros sectores no mostraron una participación significativa en este uso energético.



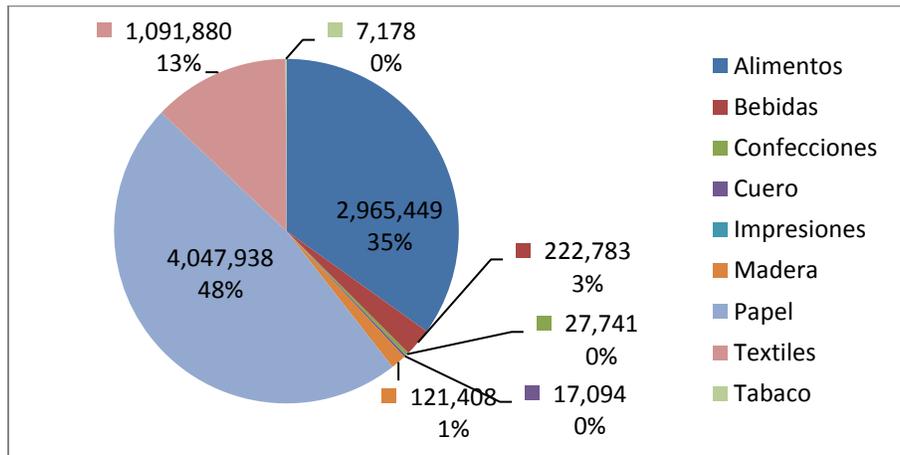
a)



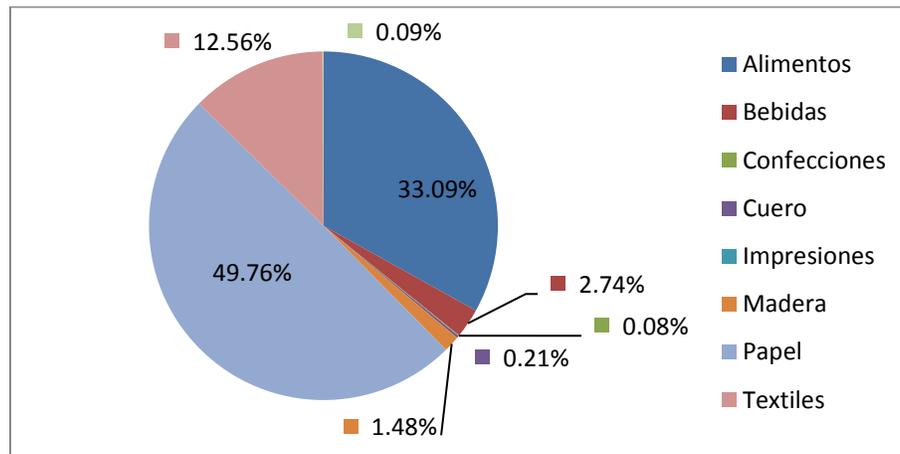
b)

**Figura 20. Distribución del consumo de energía eléctrica en calentamiento directo por subsector.**  
**a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

En la Figura 21 se presenta la distribución del consumo absoluto y ponderado de energía térmica derivada de la combustión para la generación de vapor y posterior calentamiento indirecto en procesos que se realizan principalmente por medio de serpentines, chaquetas y radiadores. De acuerdo con el diagnóstico del diseño muestral, ambas distribuciones de consumo muestran al sector de papel (CIU 17) como el mayor consumidor de vapor con casi la mitad de la demanda total, seguido por el sector de alimentos con el 33% y el sector textil con 13%. Los otros sectores industriales tienen un consumo de vapor debajo del 5% del consumo total, mientras que en el sector de impresión no se encontró el uso de este energético. En este punto se menciona que se encontraron empresas en los tres sectores más consumidores de vapor que poseen sistemas de cogeneración basados en turbina de vapor, lo que generan un alto consumo de este energético.



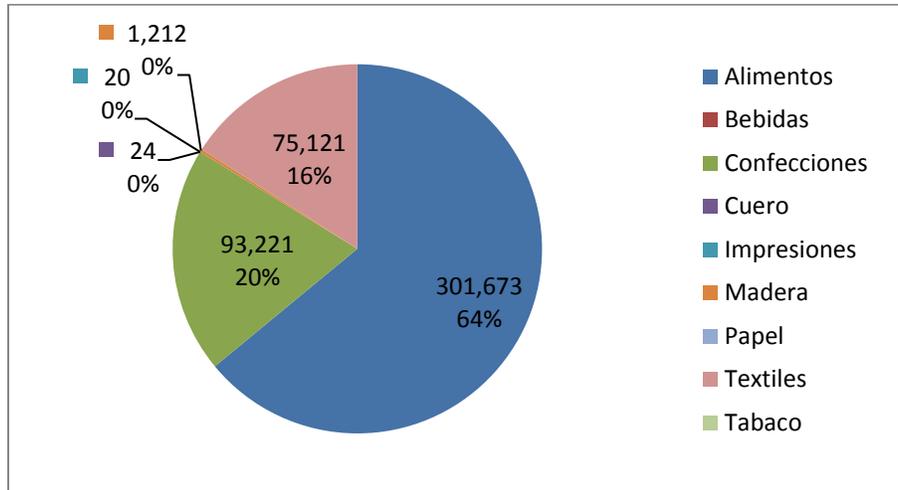
a)



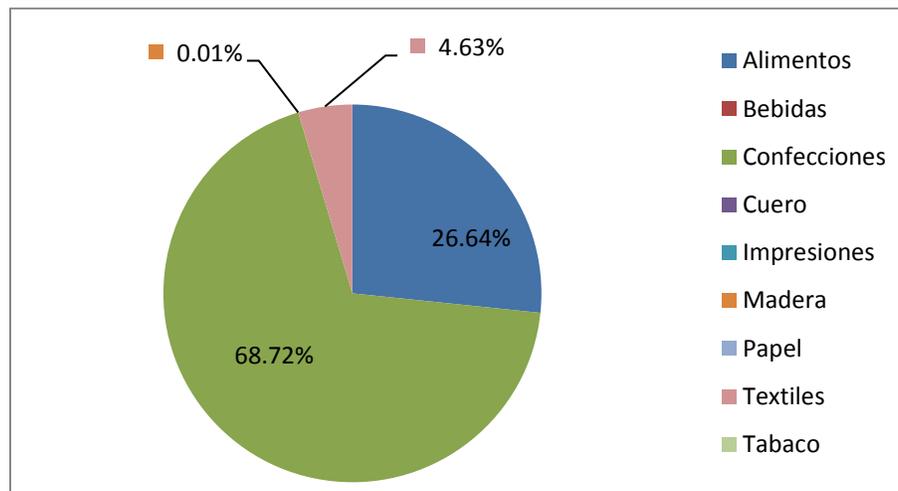
b)

**Figura 21. Distribución del consumo de energía térmica en calentamiento indirecto con vapor por sector a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

Paralelo al uso de la combustión para la generación de vapor, se caracterizó el uso de combustibles en el calentamiento directo, principalmente en operaciones de alistamiento de fibras textiles, secado y cocción. Esta caracterización del consumo absoluto y ponderado se presenta en la Figura 22 y muestra la tendencia del sector de alimentos (CIU 10) como el principal usuario del calentamiento directo con energía térmica, con el 62% del consumo absoluto. En el ponderado el sector confecciones acapara el 81,3% del consumo, ya que en términos relativos consume más que el sector alimentos. Aunque se identificó este uso energético en los sectores de madera para operaciones de secado principalmente, su contribución al consumo total es marginal.



(a)



(b)

**Figura 22. Distribución del consumo de energía térmica en calentamiento directo por sector a) Distribución de consumo absoluto en MWh b) Distribución de consumo ponderado**

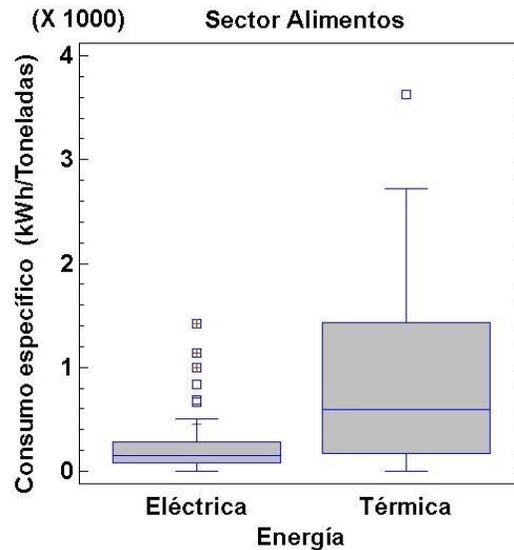
### 3.1 SECTOR ALIMENTOS

La caracterización del sector de alimentos estuvo marcada por la variabilidad de procesos de producción en los que no intervienen todos los servicios generales como refrigeración, aire comprimido, aire acondicionado, ni el calentamiento directo o indirecto con energía térmica o eléctrica. Además, la cuantificación de la producción no es uniforme ya que mientras unas empresas reportan toneladas de material procesado o de producto final, otras llevan registros de unidades de producto con diversas características y especificaciones. Además, algunas empresas de este sector generan varias referencias de productos, algunos de los cuales no hacen parte de la actividad industrial del respectivo código CIU.

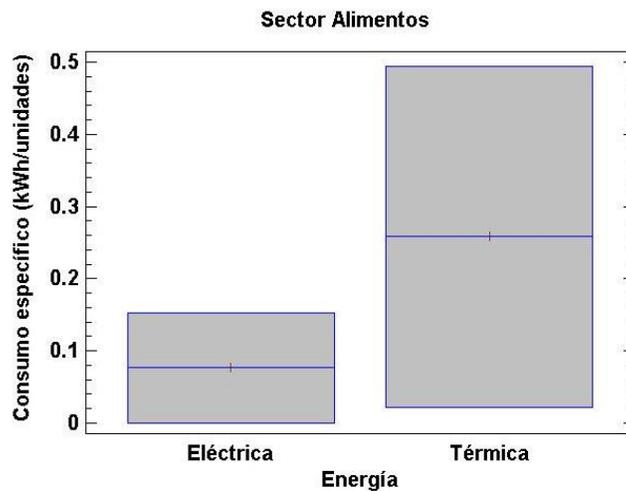
A pesar de esas limitaciones, en la Figura 23 y Figura 24 se presentan los indicadores de consumo energético por toneladas y por unidades de producción, respectivamente. Se aclara en este punto que el análisis estadístico de consumo específico de energía térmica de este sector y los demás sectores de este informe no incluyó aquellas empresas que no usan este tipo de energía con el fin de no crear un sesgo inferior en la tendencia de los datos.

En la Figura 23 y la Figura 24 se puede observar la alta variabilidad en cada indicador, revelando la heterogeneidad de los procesos de este sector industrial. En la Figura 23 se observa que las medianas de consumo energético eléctrico y térmico tienen un orden magnitud similar, con valores de 146 y 585 kWh/ton, respectivamente. Sin embargo, ambos indicadores presentan algunos casos particulares de altos consumos que incluso se consideran atípicos para el sector desde el punto de vista estadístico como es el caso puntos por encima de 2.700 kWh/ton de energía térmica que se han encontrado en empresas fabricante de arepas, gelatinas y snacks del subsector de otros productos alimenticios (CIU 108), ingenios (CIU 107), aceites (CIU 103) y café (CIU 106); y mayores a 500 kWh/ton en energía eléctrica en empresas productora de gelatina y reempaque de salsas (CIU 109), una empresa de lácteos (CIU 102) y un ingenio (CIU 107).

La alta variabilidad de consumos específicos también se presenta cuando la producción se reporta en unidades de productos como se puede observar en la Figura 24, donde el consumo específico de energía eléctrica y térmica tiene medianas de 0,079 y 0,26 kWh/unidad, respectivamente, pero con amplios intervalos de variabilidad, sobre todo en el caso de la energía térmica.



**Figura 23. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de productos alimenticios CIU 10 con base en toneladas de producción**



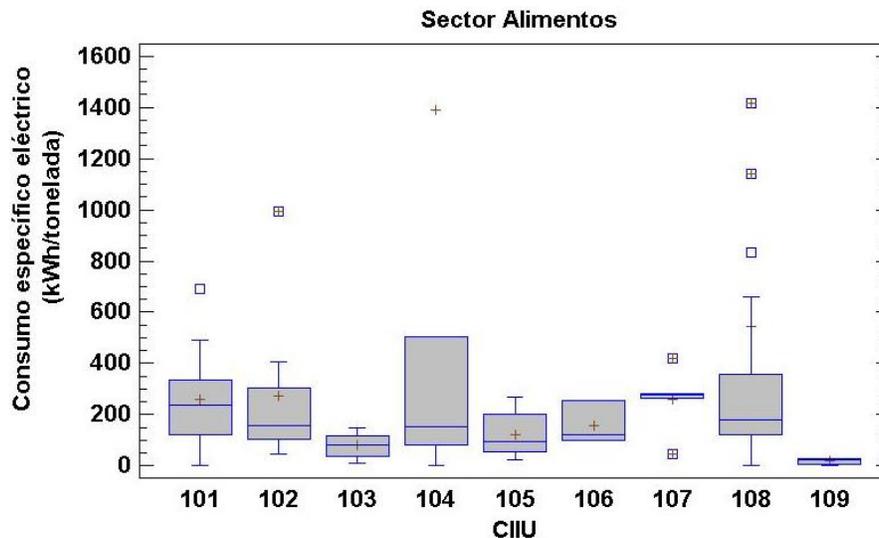
**Figura 24. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de productos alimenticios CIU 10 con base en unidades de producción**

La alta variabilidad observada en las Figuras anteriores se explica por la heterogeneidad de procesos que se realizan en cada subsector de alimentos, esto es, un indicador global para el sector de alimentos no refleja la realidad de los indicadores de cada subsector. Por esta razón, en la Figura 25 y Figura 26 se presentan los consumos específicos eléctricos y térmicos de cada subsector de tres dígitos del sector de alimentos. Los resultados muestran que en la mayoría de subsectores, se logra una mayor convergencia de los indicadores específicos alrededor de un valor medio, aunque hay subsectores en los que persiste la heterogeneidad de procesos aun cuando los productos finales están relacionados. Este es el caso de los subsectores cárnicos (CIU 101), frutas y verduras (CIU 102).

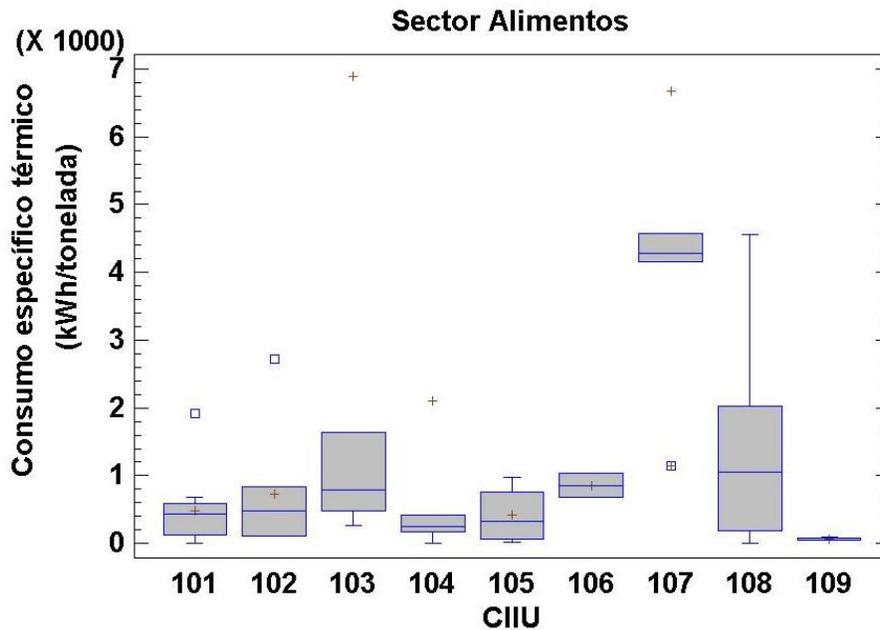
*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

102), lácteos (CIU 104) y otros productos alimenticios (CIU 108), en los cuales hay una gran variedad de productos que requieren en mayor o menor medida el uso de equipos de alto consumo de potencia eléctrica para la operación de motores, compresores, refrigeración y calentamiento directo. De acuerdo con estos resultados, el sector de azúcares tienen los consumos específicos de energía eléctrica más altos con una mediana de consumo alrededor de 290 kWh/ton, que resulta mayor al del sector global de alimentos.

La variabilidad de procesos también explica la alta dispersión del consumo de energía térmica en los subsectores de productos de lácteos (CIU 104), azúcares (CIU 107) y otros productos alimenticios (CIU 108), ya que dentro de estos subsectores hay empresas que se dedican al procesamiento de materias primas para la obtención de un producto base, productos intermedios y/o productos terminados con alto consumo de vapor, mientras que otras transforman los productos base en productos terminados con mayor grado de refinación, donde el consumo de vapor se reduce. Además, en los subsectores de azúcares (CIU 107) y otros productos alimenticios (CIU 108) se han encontrado sistemas de cogeneración con turbina de vapor, la cual no es común a todas las empresas del subsector y por lo tanto incrementa la dispersión en los consumos específicos de energía térmica. Esta dispersión es más evidente en el caso de los subsectores de azúcares (CIU 107) y otros productos alimenticios (CIU 108), ya que mientras la mediana del sector de alimentos es 585 kWh/ton, estos subsectores tienen medianas de 4304 y 1040 kWh/ton respectivamente. Incluso hay dos casos de micro empresas del código CIU 108 que presentan consumo específico mayores a 18000 kWh/ton. Todo esto permite concluir que la clasificación industrial por código CIU no es un buen sistema para categorizar el uso de la energía y por lo tanto se requiere otro sistema que agrupe las empresas con base en la homogeneidad de sus procesos productivos.



**Figura 25. Consumo específico de energía eléctrica por subsector de productos alimenticios CIU 10 con base en toneladas de producto**

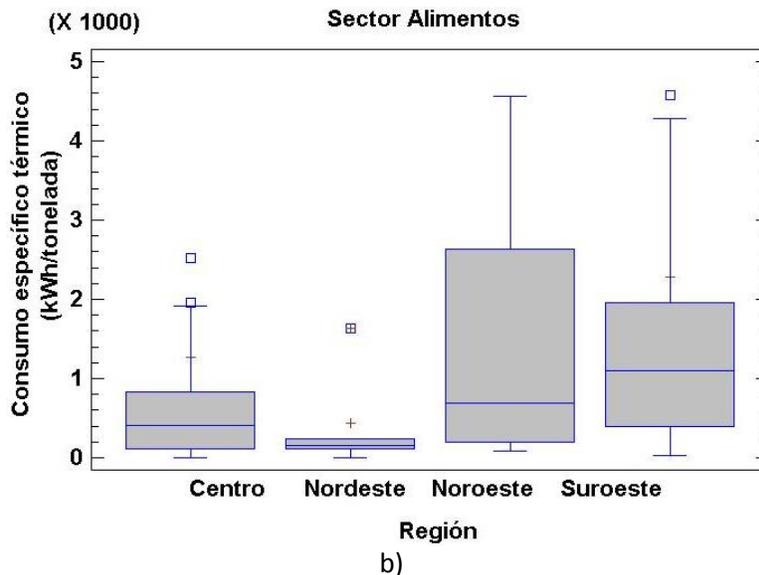
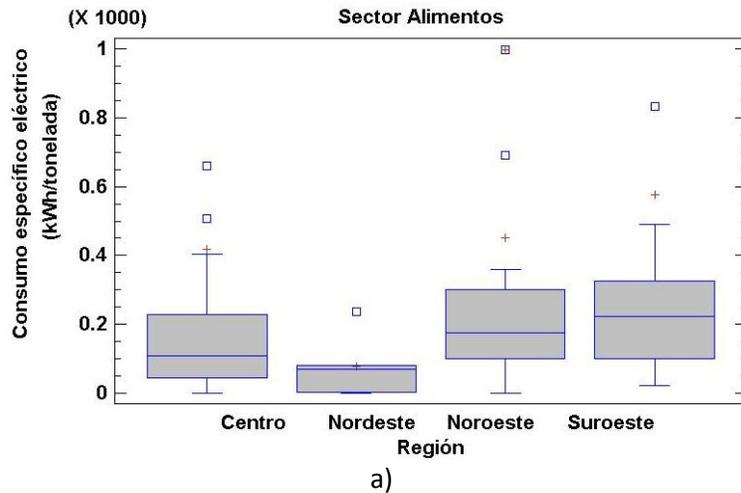


**Figura 26. Consumo específico de energía térmica en el sector de productos alimenticios CIU 10 con base en toneladas por subsector CIU (solo para empresas que consumen energía térmica)**

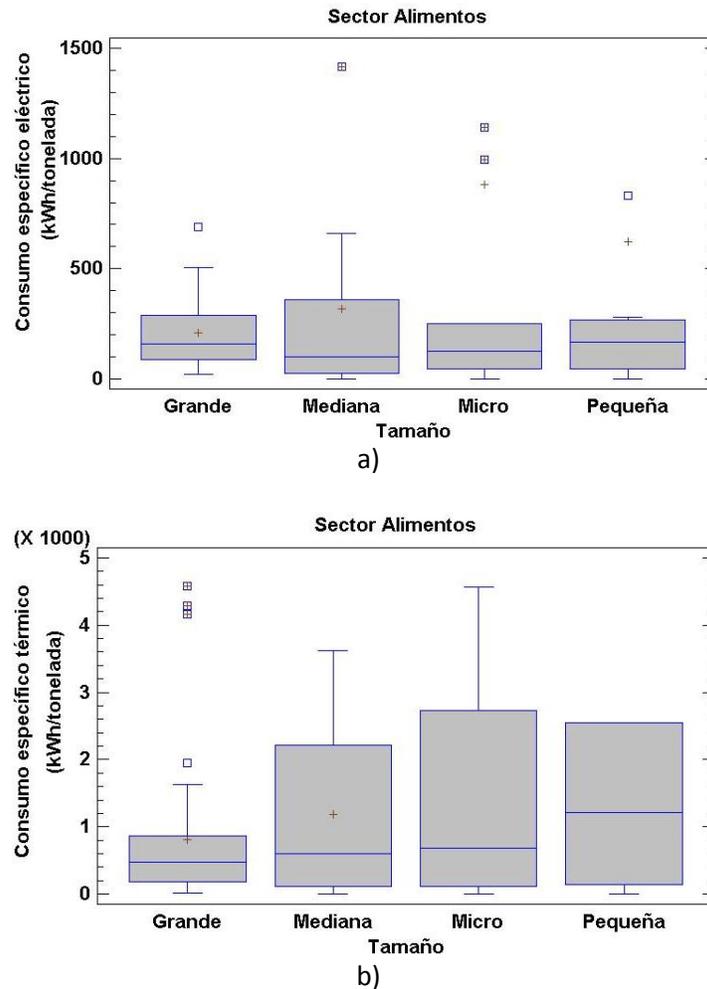
En la Figura 27 se presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en las regiones donde hay mayor representatividad de empresas intervenidas del sector de alimento. Mientras que en la región centro y noroeste los consumo específicos de energía eléctrica son similares, con mediana alrededor de 150 kWh/ton en energía eléctrica, la región suroeste presentan los consumo específicos más altos con una mediana de 225 kWh/ton. Esta tendencia es consecuencia de la existencia de varios ingenios pertenecientes al subsector CIU 107 en esta región, los cuales generan altos consumo específicos de energía eléctrica como se vio en la Figura 25. Con respecto al consumo específico de energía térmica por región, la región nordeste tuvo los menores consumos específicos con una mediana alrededor de 190 kWh/ton, seguido por las regiones centro y noroeste con medianas de 405 y 730 kWh/ton, respectivamente, mientras que la región suroeste posee los mayores consumos específicos con una mediana de 1.120 kWh/ton. En este caso también sobresale el efecto de las grandes empresas de azúcar (CIU 107) de la región suroeste, donde también existen varios sistemas de cogeneración con turbina de vapor.

En la Figura 28 se presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica por tamaño de empresa en el sector de alimentos. Se puede observar que las industrias medianas presentan un comportamiento particular debido a que aunque tienen el consumo específico de energía eléctrica más bajo con una mediana de 97 kWh/ton, tienen la dispersión más grande de todas, lo cual puede obedecer al sobredimensionamiento de los equipos eléctricos con respecto a los volúmenes de producción en las empresas medianas. Las empresas grandes y pequeñas tuvieron consumos específicos de energía eléctrica con medianas alrededor de 180 kWh/ton, pero con mayor cantidad de datos atípicos en las industrias pequeñas. Con respecto a los consumos de energía térmica, todos los tamaños de empresa tuvieron una alta variabilidad, siendo

las microempresas las de mayor heterogeneidad y mayores valores, pero con empresas grandes que tienen puntos atípicos de alto consumo específico. Por comparación de medianas, las empresas grandes tienen los consumos específicos más bajos alrededor de 480 kWh/ton, lo cual se puede explicar por los altos volúmenes de producción, mientras que las empresas pequeñas y microempresas tuvieron los valores de mediana más altos alrededor de 1250 y 700 kWh/ton, es decir, casi el doble y triple de las industrias grandes, lo que hace pensar en un sobredimensionamiento de los equipos consumidores de energía térmica con respecto a los volúmenes de producción en estas empresas.

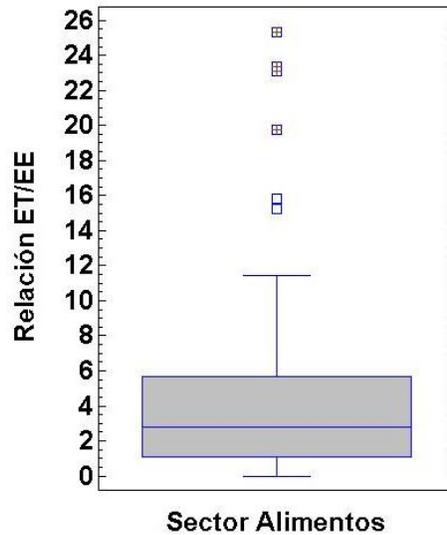


**Figura 27. Consumo específico en el sector de alimentos por regiones a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**

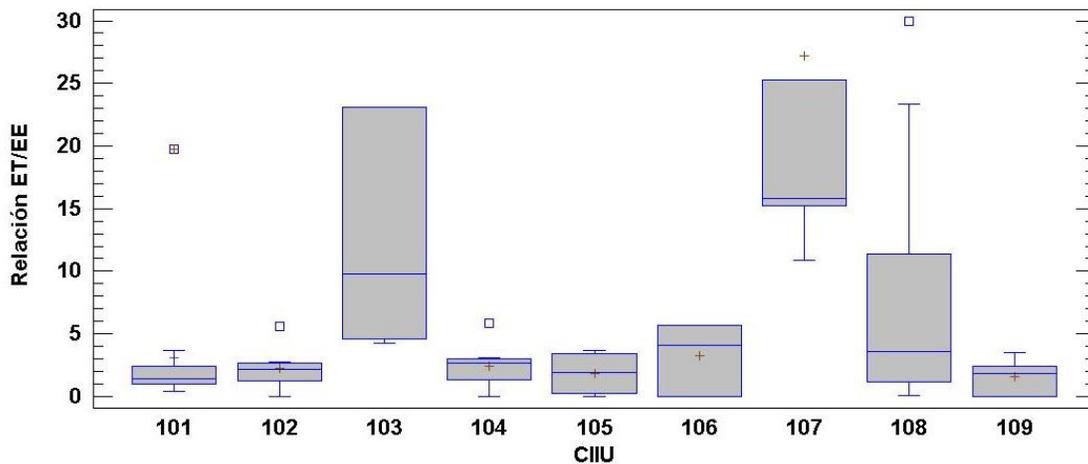


**Figura 28. Consumo específico en el sector de alimentos por tamaño de empresa a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**

En general, el sector de alimentos tiene mayor consumo de energía térmica que eléctrica, tal como se muestra en la Figura 29 y Figura 30. La relación entre energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos tiene una mediana de 2,6 kWh/kWh pero hay subsectores en los que esta relación puede ser tan alta como 30 kWh/kWh o puede ser incluso 0 kWh/kWh en empresas donde solo se hace uso de la energía eléctrica, como es el caso de empresas que se dedican al empaque y comercialización de productos alimenticios, más no a su producción. Los sectores de elaboración de azúcar (CIU 107) y elaboración de aceites y grasas (CIU 103) se destacan por poseer las mayores relaciones de energía térmica a energía eléctrica con una mediana alrededor de 15,8 y 9,8 kWh/kWh, respectivamente y una alta dispersión de este indicador, aunque el subsector de otros productos alimenticios como panadería y sal (CIU 108) alcanza valores atípicos del orden de 24 kWh/kWh a 30. kWh/kWh Parte de estos valores atípicos obedeció al uso poco eficiente del calentamiento térmico directo e indirecto, tal como se constató en las visitas, donde se detectaron quemadores con baja eficiencia de combustión y altos excesos de aire.



**Figura 29. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos CIU 10**

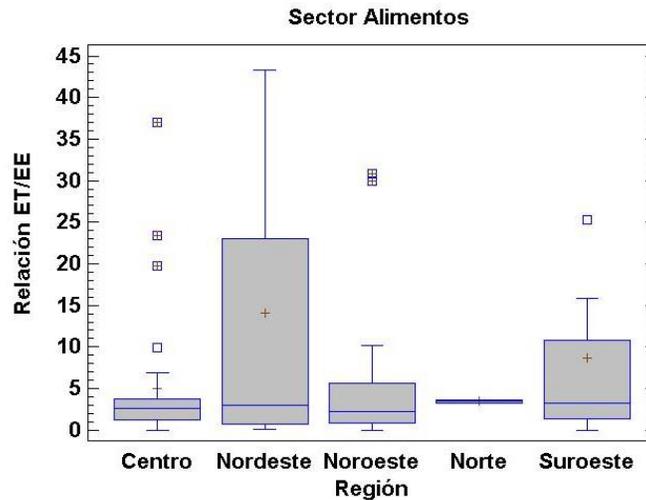


**Figura 30. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en los subsectores de alimentos CIU 101 a 109**

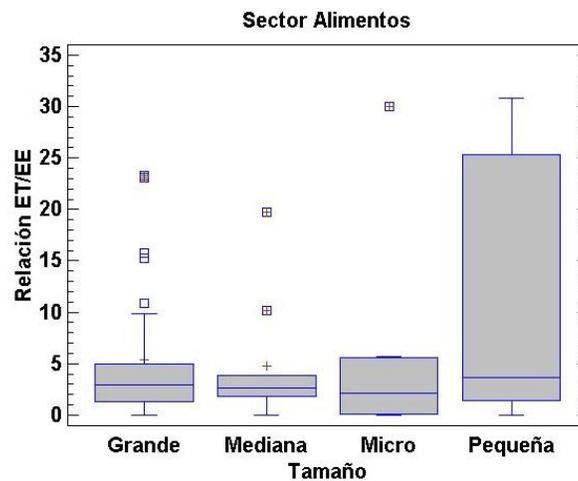
En la Figura 31 se presenta la distribución de relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica por región de las empresas visitadas del sector de alimento. La mediana en todas las regiones es similar, con valores alrededor de 3,0 kWh/kWh, pero la región nordeste presenta la mayor dispersión y la región centro la mayor cantidad de puntos atípicos con valores que alcanzan 38 kWh/kWh. La región noroeste y suroeste también presenta puntos atípicos que pueden ser tan altos como 30 kWh/kWh, en empresas del sector de otros productos alimenticios (CIU 108) donde se detectaron altos consumos de combustible por sistemas de combustión de baja eficiencia.

Similarmente, en la Figura 32 se presenta la distribución de la relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica por tamaño de empresa en el sector de alimentos. Aunque las medianas

de la relación son similares, las empresas pequeñas poseen la mayor relación con una mediana alrededor de 3,5 kWh/kWh, comparada con 1,9 kWh/kWh de las microempresas. No obstante, hay empresas grandes, micro y pequeñas con altos consumos de energía térmica que son atípicos, debido a la existencia de sistemas de cogeneración en las empresas grandes, por una parte, y al uso de sistemas de calentamiento ineficientes en las empresas pequeñas y microempresas.



**Figura 31. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos por región**



**Figura 32. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos por tamaño de empresa**

En la Figura 33 y Figura 34 se presenta la desagregación del consumo de energía eléctrica en distintos procesos y servicios general para el sector de alimentos consolidado y los distintos subsectores que lo componen. Los resultados indican que la fuerza motriz, la refrigeración y el aire

comprimido representan los mayores consumos de energía eléctrica para el sector. No obstante, en el subsector de carnes (CIU 101), el principal consumidor de energía eléctrica es la refrigeración, sin embargo este servicio no tiene la mayor participación en el sector ya que en empresas de otros subsectores no se encontró o se utiliza en menor medida.

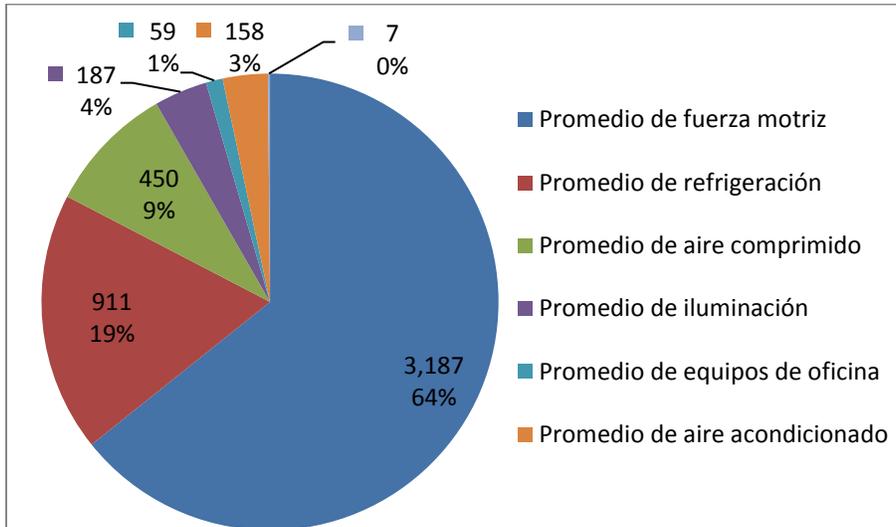
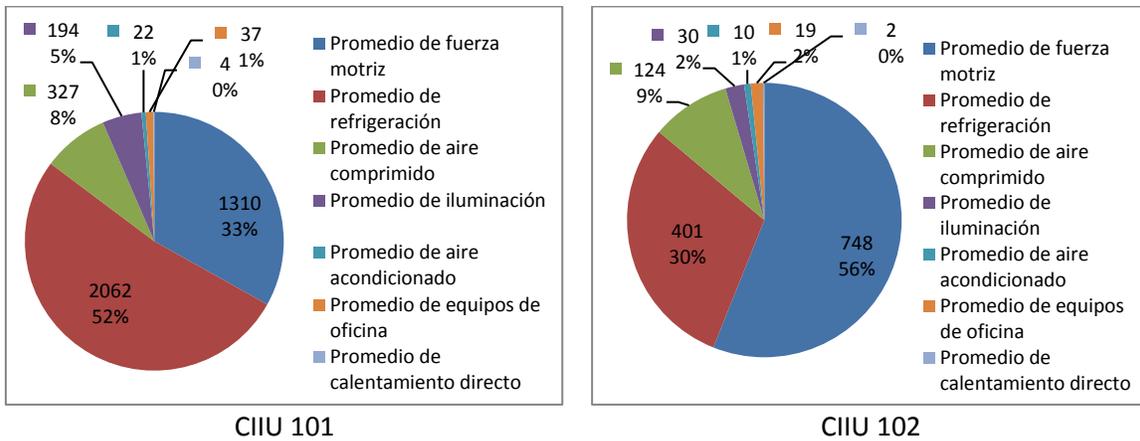
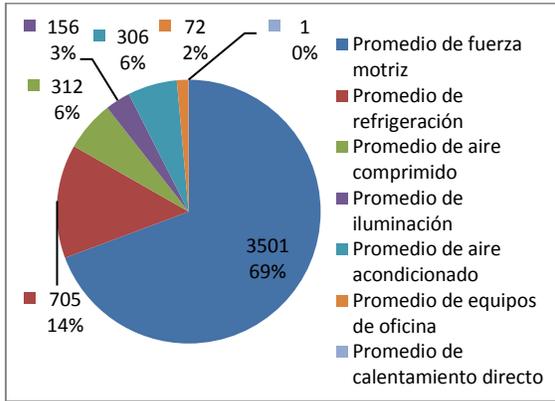
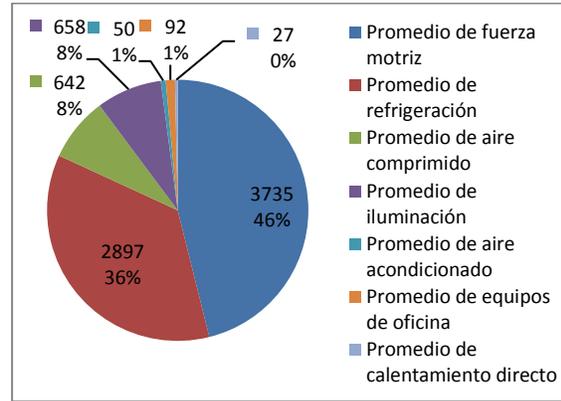


Figura 33. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector de alimentos CIU 10 (MWh)

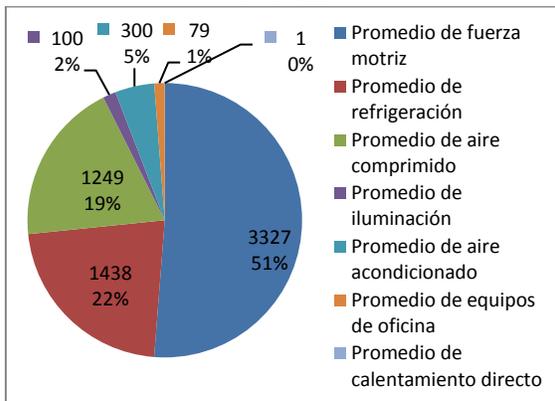




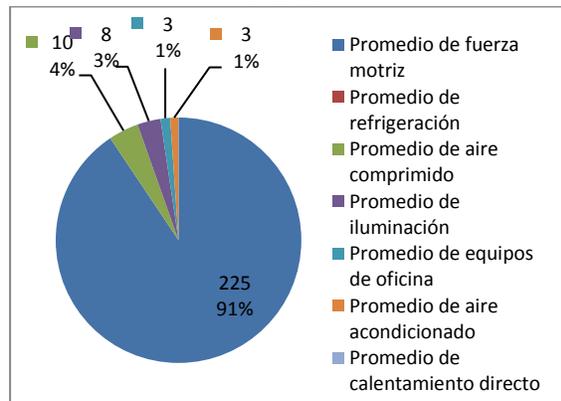
CIU 103



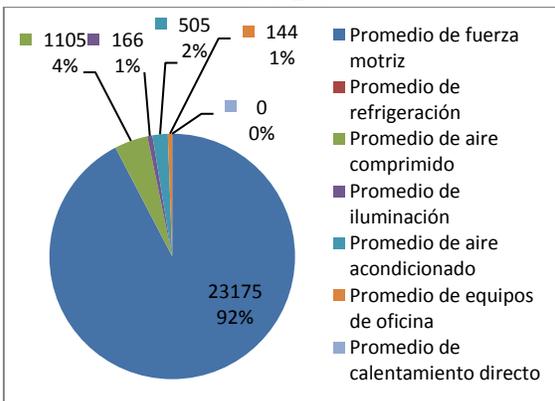
CIU 104



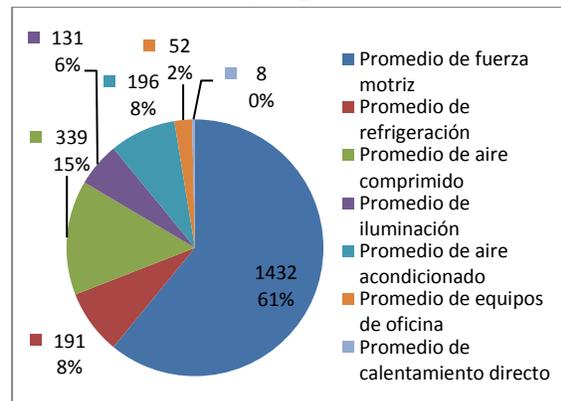
CIU 105



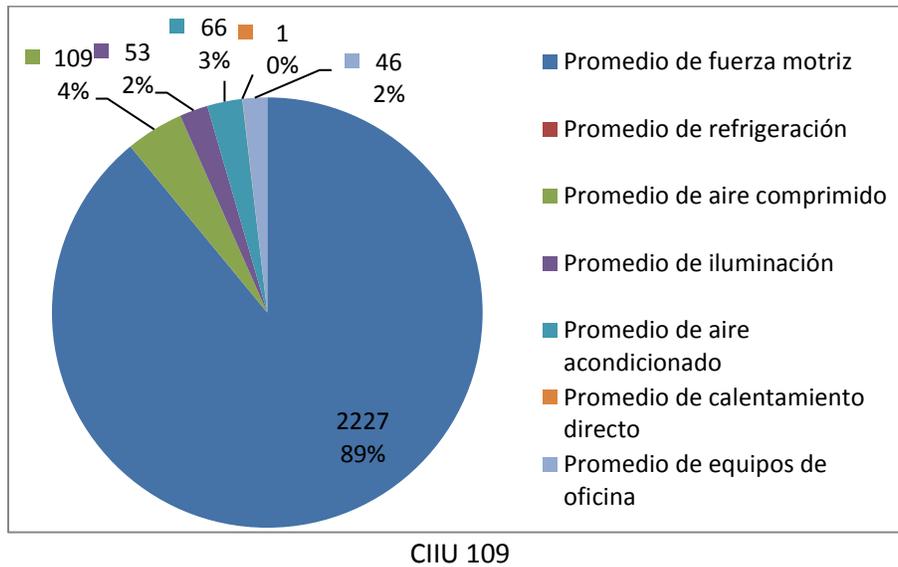
CIU 106



CIU 107

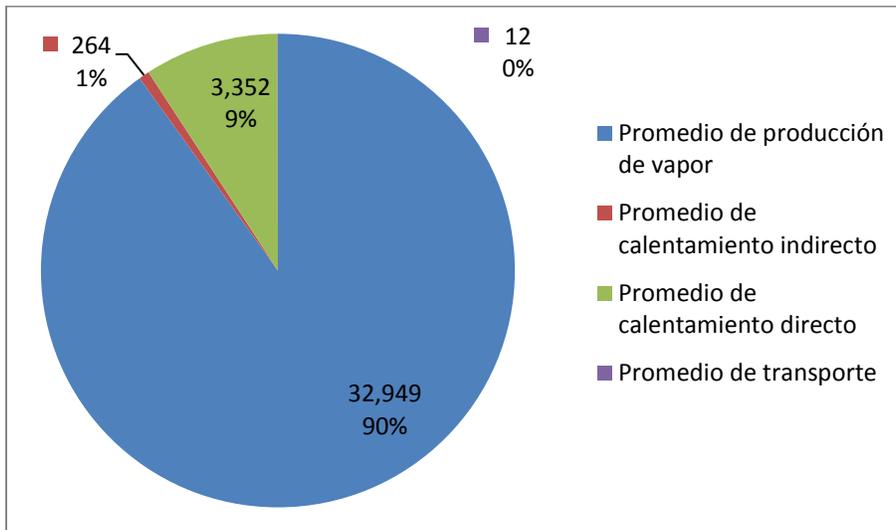


CIU 108

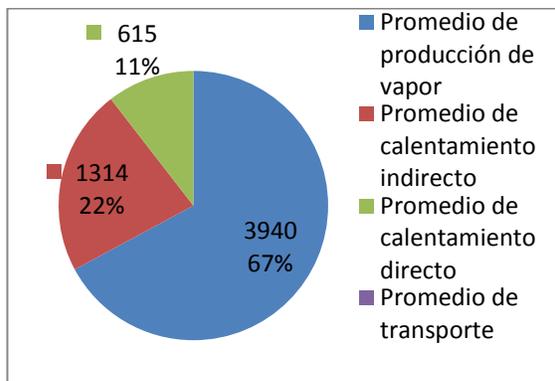


**Figura 34. Distribución del uso de la energía eléctrica en subsectores de alimentos (MWh)**

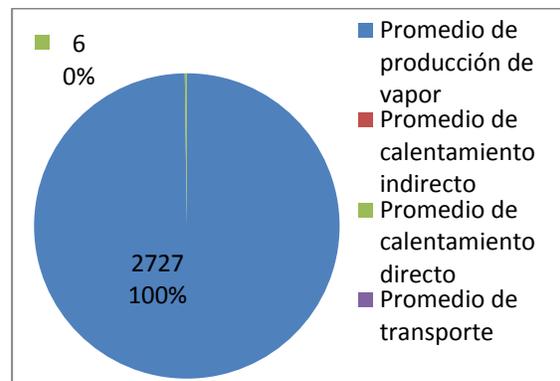
En la Figura 35 y Figura 36 se presenta la desagregación del uso de la combustión para calentamiento indirecto por medio de vapor y aceite térmico y calentamiento directo. Los resultados muestran que la gran mayoría del consumo de combustibles en el sector de alimentos se usa para la generación de vapor y a excepción del subsector de alimentos para animales, en todos los demás subsectores se usa en menor proporción el calentamiento directo, principalmente para operaciones de cocción y secado. Llama la atención que en el subsector de café (CIU 106) se presenta un uso total de calentamiento directo por medio de combustión, sin la intervención del vapor. En el subsector de alimentos para animales (CIU 109) todo el consumo térmico se debe a la generación de vapor y por lo tanto no se muestra en la Figura 36.



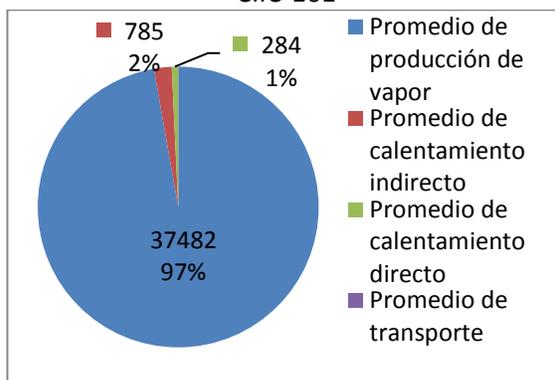
**Figura 35. Distribución del uso de la energía térmica en el sector de alimentos CIU 10 (MWh)**



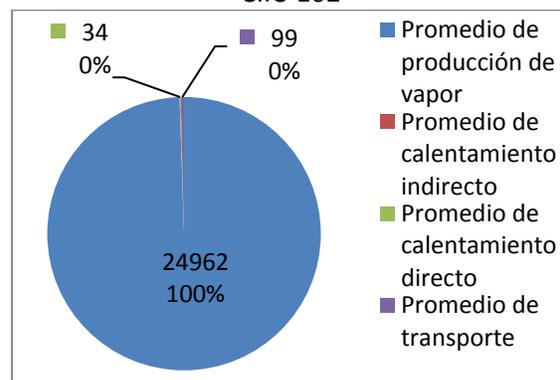
CIU 101



CIU 102



CIU 103



CIU 104

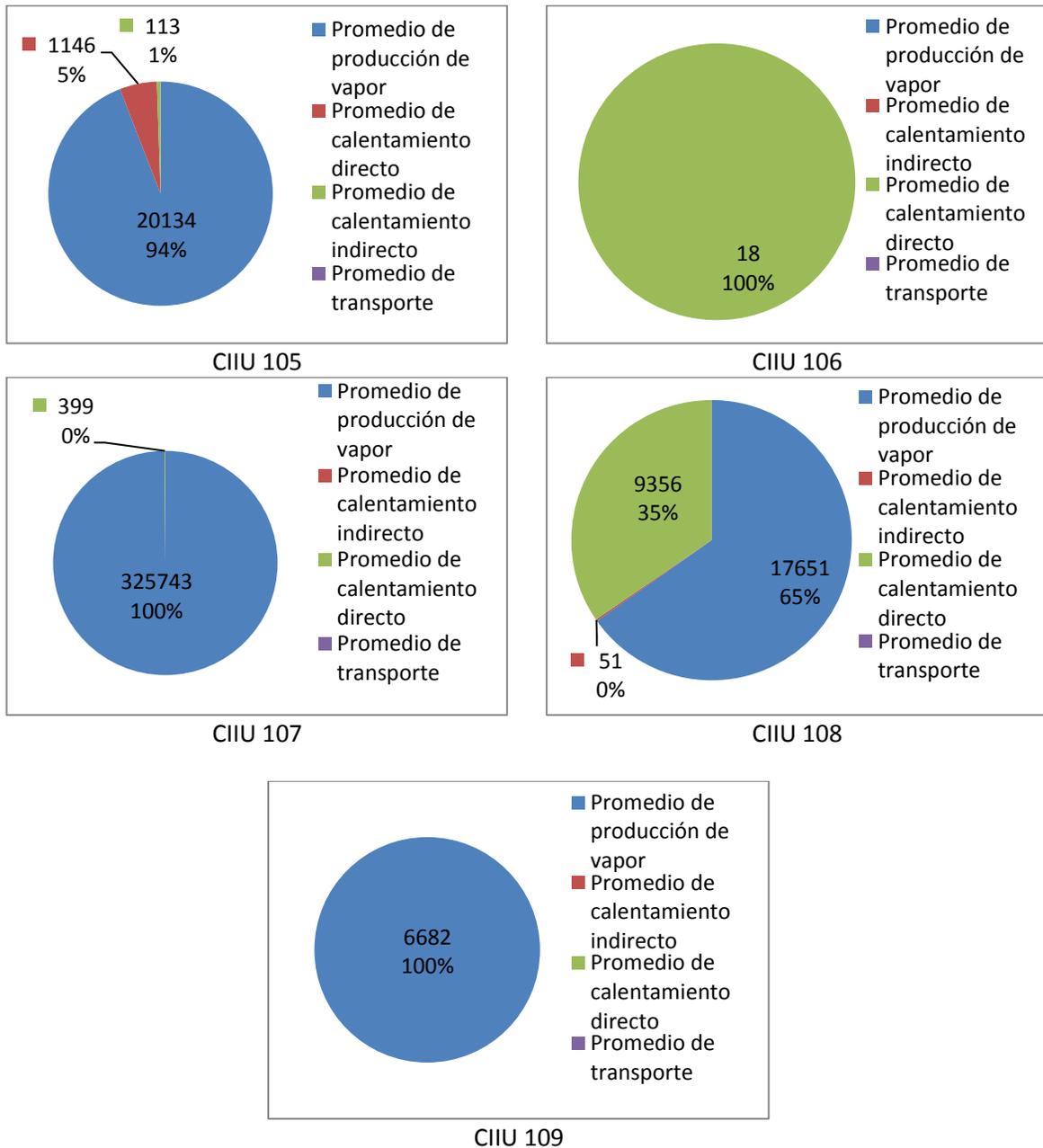


Figura 36. Distribución del uso de la energía térmica en subsectores de alimentos (MWh)

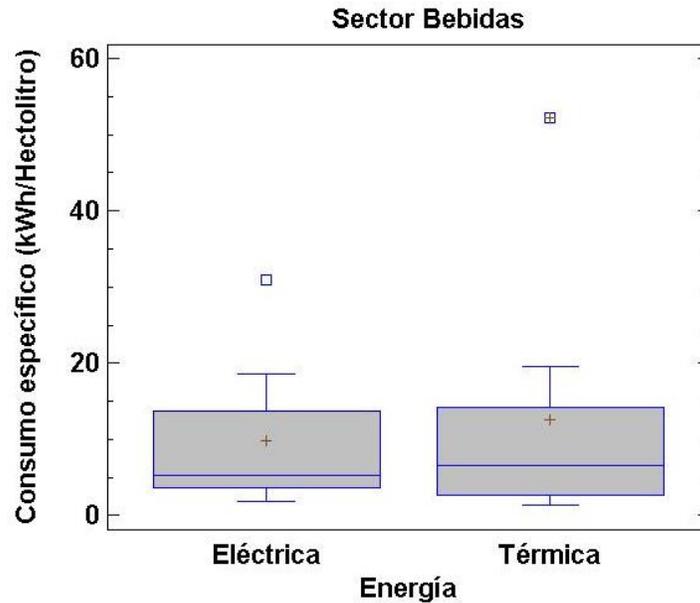
### 3.2 SECTOR BEBIDAS

En el sector de elaboración de bebidas (CIU 11) se han intervenido empresas de tres subsectores: producción de bebidas alcohólicas (CIU 1101), producción de cervezas y maltas (CIU 1103) y elaboración de bebidas no alcohólicas (CIU 1104). En estas empresas se ha encontrado una alta variabilidad en los indicadores de consumo específico de energía eléctrica como se muestra en la Figura 37. Las medianas de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica son

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

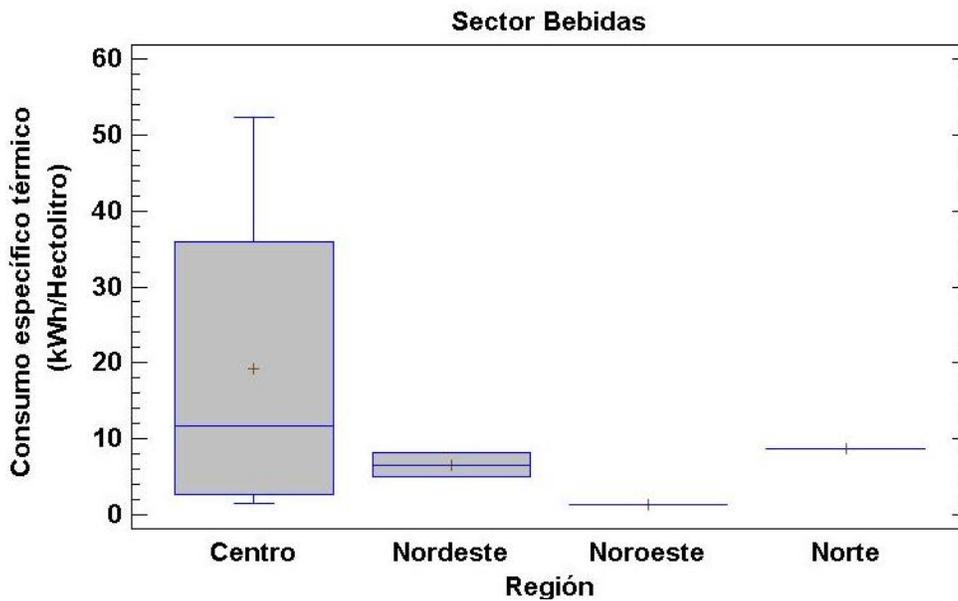
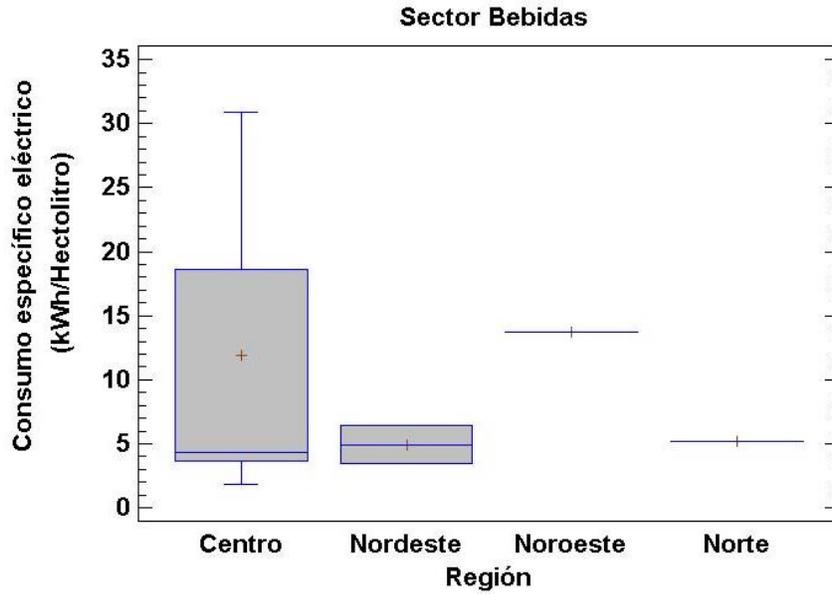
respectivamente 6,9 y 5,1 kWh/Hectolitro, aunque se identificó una empresa de licores que alcanzó un consumo de energía específico de energía eléctrica y térmica de 639 y 814 kWh/Hectolitro, los cuales se consideran puntos atípicos y no se muestran en la Figura. En este sector la consolidación del resultado se ha facilitado por el manejo de la producción en unidades homogéneas de volumen.

En la Figura 38, se muestran los indicadores de consumo específico de ambos tipos de energía identificados por región, donde se muestra a la región centro como la de mayor heterogeneidad, mientras que en la región norte y nordeste solo se han intervenido una empresa en cada una.



**Figura 37. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de bebidas CIU**

11



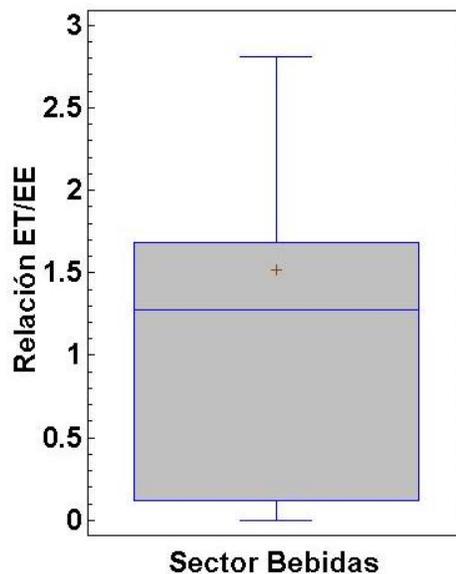
**Figura 38. Consumo específico de energía eléctrica y térmica en el sector de bebidas CIU 11 por región**

En la Figura 39 se ilustra la relación entre el consumo de energía térmica y energía eléctrica del sector en el que la mediana indica que la energía térmica tiene un consumo de 1,3 veces mayor al de la energía eléctrica. El valor más alto de este indicador fue de 2,81 kWh/kWh, lo que refleja cierto grado de uniformidad del uso de la energía en este sector, aunque se identificaron empresas cuya principal actividad es el embotellamiento de bebidas y no el procesamiento de las mismas, lo cual hace que su consumo de energía térmica sea muy bajo o incluso nulo, como es el caso de una

empresa de embotellamiento de licores en la región centro. En este punto, es importante destacar que todo el consumo de energía térmica que se identificó corresponde al uso de vapor para calentamiento indirecto.

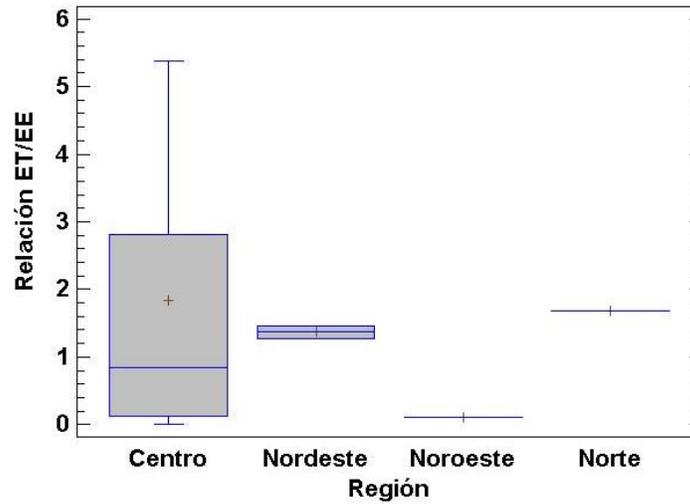
En la Figura 40, se discrimina el indicador por regiones y se observa que la región centro es la de mayor heterogeneidad, dado que se intervinieron cinco empresas distribuidas en todos los subsectores, aunque fue la región nordeste la de mayor relación ET/EE con una mediana alrededor de 1,4 kWh/kWh.

La energía eléctrica en el sector de bebidas se usa principalmente en la generación de fuerza motriz, principalmente para bombeo de fluidos, seguido por la refrigeración y el aire comprimido, tal como se muestra en la Figura 41. El bombeo en este sector se lleva a cabo por medio de bombas centrífugas, mientras que la refrigeración se realiza con ciclos de compresión de vapor para empresas medianas y pequeñas, mientras que las empresas grandes presentan mayor utilización de refrigeración industrial con amoníaco y condensadores evaporativos del tipo torres de enfriamiento.

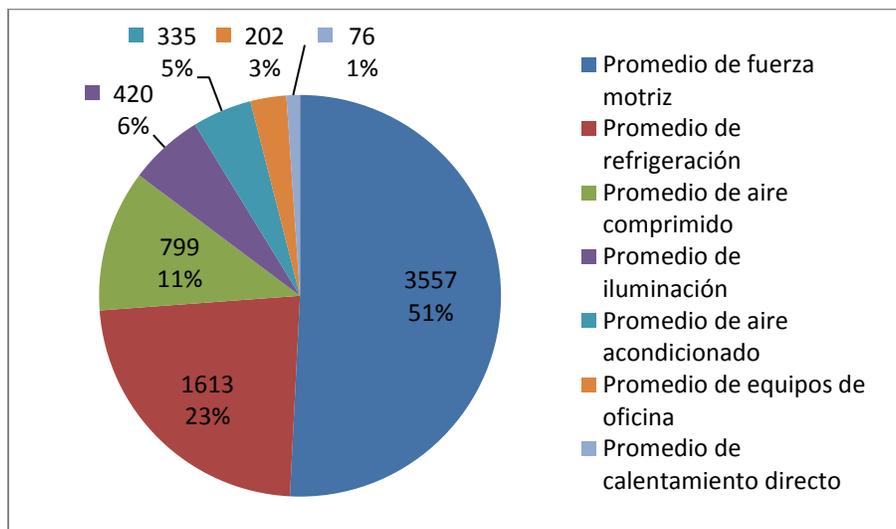


**Figura 39. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de bebidas CIU 11**

**Sector Bebidas**



**Figura 40. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de bebidas CIU 11 por región**



**Figura 41. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector de bebidas CIU 11 (kWh)**

### 3.3 SECTOR TABACO

El diseño muestral establece el análisis de una empresa productora de cigarrillos de tabaco. La empresa visitada tiene una producción anual cercana a 6.041 toneladas donde emplea de manera intensa energía eléctrica y térmica en cada una de las etapas de proceso.

La demanda promedio mensual de energía eléctrica es de 794.975 kWh, lo que representa un consumo anual de 9.539,7 MWh. La energía eléctrica se emplea principalmente en fuerza motriz,

generación de aire comprimido, acondicionamiento de ambiente (aire acondicionado), calentamiento por resistencias eléctricas en la etapa de empaque para el encelofanado de la terminación del producto, y en iluminación de las zonas de las zonas de trabajo e instalaciones.

Gran parte de la fuerza motriz se emplea en diversos motores para el mantenimiento del sistema de bandas transportadoras, al igual que el sistema de transporte para el almacenamiento y distribución en bodegas de despacho.

El suministro de gas natural se lleva a cabo en los procesos de combustión asociados a la producción de vapor en las calderas. El consumo promedio mensual de gas natural corresponde a 57.402 m<sup>3</sup>/mes, que corresponde a un consumo energético anual de 7.177,6 MWh, empleando un poder calorífico del gas natural de 10,42 kWh/m<sup>3</sup>.

Con base en los anteriores datos de consumo de energía y de producción proporcionados por la empresa, se ha determinado que los consumos específicos de energía eléctrica y térmica son de 1579 y 1188 kWh/ton, respectivamente, mientras que la relación entre energía térmica y energía eléctrica es 0,75 kWh/kWh.

La energía térmica se emplea principalmente para la generación de vapor, para lo cual la empresa cuenta con tres calderas instaladas de potencia de 500, 725 y 500 BHP respectivamente, las cuales fueron construidas en 1984, 1985, y 1985, respectivamente. La caldera de 725 BHP es de tipo acuatubular y es empleada como respaldo ante cualquier eventualidad o fallo de las otras dos calderas, contando como combustible asociado ACPM o fuel oil tal como se muestra en la Tabla 4. Las calderas de 500 BHP son pirotubulares y utilizan gas natural.

Si bien la empresa cuenta con tres calderas, la empresa suple sus necesidades diarias de vapor sólo con una caldera de 500 BHP, variando la utilización de la caldera 1 y 3 con un factor de operación diario de 10 horas por día, para una operación mensual de 100 horas para cada una de ellas. Los requerimientos de vapor de la planta oscilan cercanos a 4.350 kg/h de vapor diarios con un factor de carga de las calderas oscilante de 45% al 60%. La presión de generación de vapor es de 130 psi. La principal utilización del vapor se lleva a cabo en dos procesos: (1) para el proceso de acondicionamiento donde se humidifica la lámina de tabaco para permitir la apertura de los poros de la hoja y posterior mezclado con ingredientes, y (2) para el proceso de secado de forma indirecta donde se emplea el vapor para calentar aire y mantener un perfil de temperatura de 40°C a 100°C en 4 etapas.

La empresa cuenta con un sistema de retorno de condensado, por una tubería con aislamiento en el cual se recupera gran cantidad de agua a una temperatura aproximada de 65 a 75°C.

**Tabla 4 Parámetros de las calderas**

<b>Parámetro</b>	<b>Caldera 1</b>	<b>Caldera 2</b>	<b>Caldera 3</b>
Tipo	Pirotubular	Acuatubular	Pirotubular
Capacidad (BHP)	500	725	500
Combustible	Gas natural	ACPM y Fuel oil	Gas natural

Parámetro	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3
Factor de utilización (horas/mes)	100	Solo en situaciones de fallo	100
Presión de vapor	130	130	130
Producción nominal de vapor (kg/h)	4350		4350
Temperatura de condensados (°C)	65-75		65-75
Año de fabricación	1984	1985	1985

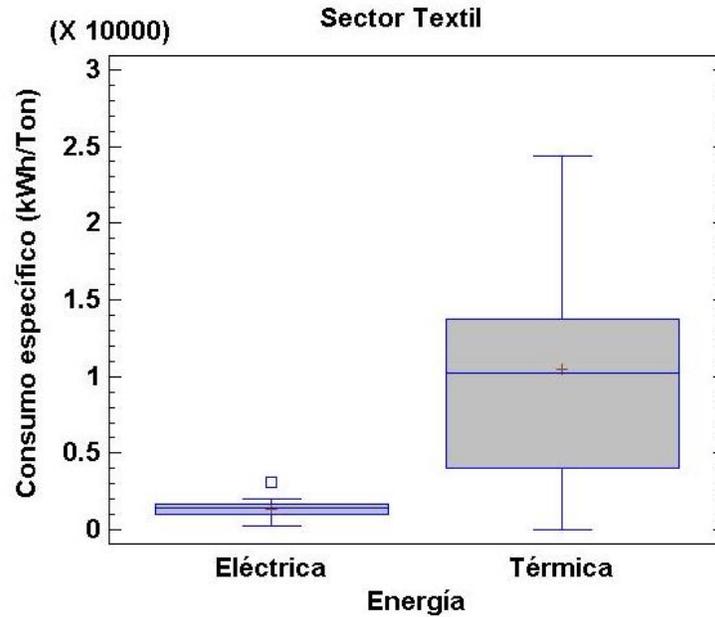
El sistema de aire comprimido presenta una distribución centralizada a través de dos compresores tipo tornillo de una potencia de 333 y 345 hp los cuales cuentan con un sistema deshumidificador de aire antes de suplir al tanque pulmón de 8,6m<sup>3</sup>. La presión de descarga es de 100 psi.

### 3.4 SECTOR TEXTIL

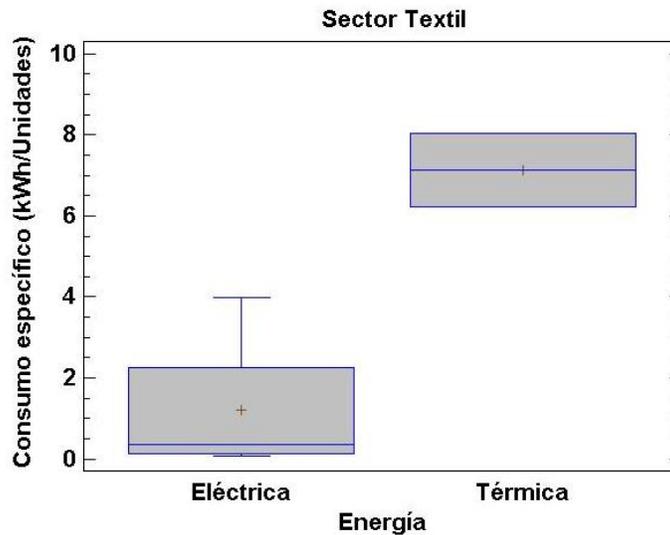
En la caracterización del sector textil se encontró una importante variabilidad de procesos de producción en los que a pesar que intervienen casi todos los mismos servicios generales y el calentamiento directo e indirecto con energía térmica, la demanda de energía no conserva homogeneidad. Además, la cuantificación de la producción no es uniforme, ya que mientras unas empresas reportan toneladas de material procesado o de producto final, otras llevan registros de unidades de producto con diversas características y especificaciones. Además, algunas empresas de este sector generan varias referencias de productos.

En la Figura 42 y Figura 43 se presentan los indicadores de consumo energético por toneladas y por unidades de producción, respectivamente. Se halló que existe una alta variabilidad en cada indicador, sobre todo en el consumo de energía térmica, revelando la heterogeneidad de la demanda de energía de este sector industrial. En la Figura 42 se observan las medianas de consumo energético eléctrico y térmico, con valores de 1.052 y 10.102 kWh/ton, respectivamente. Sin embargo, el indicador de energía térmica presenta algunos casos particulares de altos consumos que son llamativos como es el caso del punto máximo de 24.200 kWh/ton correspondiente a una empresa grande de fabricación de tejidos de la región noroeste e incluso se detectó un punto atípico de 60.176 kWh/ton en una empresa de producción de medias, también en la región noroeste.

La alta variabilidad de consumos específicos de energía térmica también se presenta cuando la producción se reporta en unidades de productos como se puede observar en la Figura 43, donde el consumo específico de energía eléctrica y térmica tiene medianas de 0,36 y 7,12 kWh/unidad, respectivamente, pero con amplios intervalos de variabilidad que alcanzan valores de 8,1 kWh/unidad en consumo específico de energía térmica. Aquí es necesario aclarar que para el consumo de específico de energía térmica en unidades de producción sólo se consideraron dos empresas que efectivamente consumían este tipo de energía.



**Figura 42. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector textil CIU 13 con base en toneladas de producción**

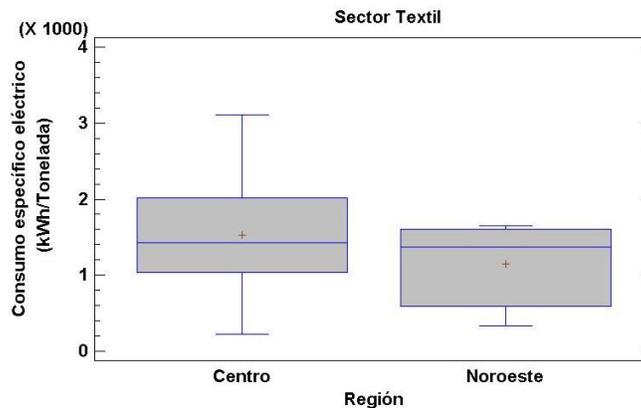


**Figura 43. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector textil CIU 13 con base en unidades de producción**

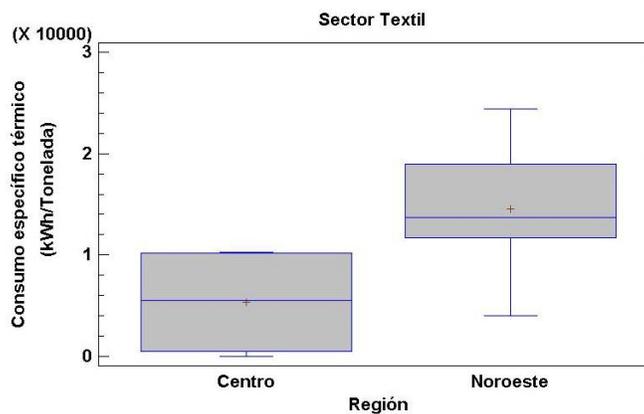
En la Figura 44 se presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en las dos regiones donde hay mayor representatividad de empresas intervenidas del sector textil. En la región centro y noroeste se presentan consumos específicos similares de energía eléctrica con una mediana alrededor de 1.400 kWh/ton. No obstante, en el consumo de energía

térmica la región noroeste tiene el mayor consumo específico con una mediana de 13.912 kWh/ton contra 5920 kWh/ton de la región centro, y además existe mayor variación de la distribución en la región noroeste, donde se alcanzan valores máximos de 24.400 kWh/ton y hasta puntos atípicos de 60.176 kWh/ton de energía térmica.

Similarmente, en la Figura 45 se presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en tres tamaños de empresa donde hay representatividad muestral de empresas visitadas y encuestadas en el sector textil, aclarando que solo se han intervenido dos empresas pequeñas. Se puede observar que las industrias pequeñas tienen mayores consumos específicos de energía eléctrica con mediana de 1.716 kWh/ton, contra 795 kWh/ton de las empresas medianas. En el caso de la energía térmica sin embargo, ambos consumos específicos son comparables alrededor de 11.000 kWh/ton. Llama la atención que aún con una muestra de sólo dos empresas, las empresas medianas tienen un consumo específico de energía eléctrica mayor al de las empresas grandes alrededor de 12.00 kWh/ton, por lo que se podría pensar en que estas empresas tienen equipos sobredimensionados para los niveles de producción que manejan. En las empresas pequeñas de este sector no tuvieron consumos de energía térmica.

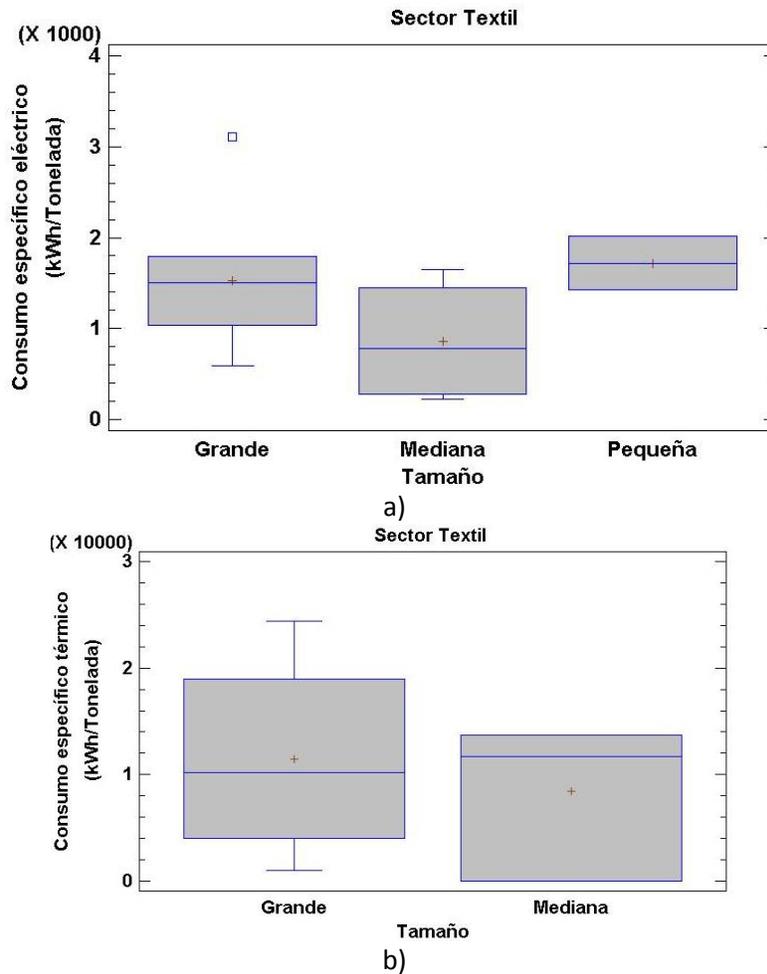


a)



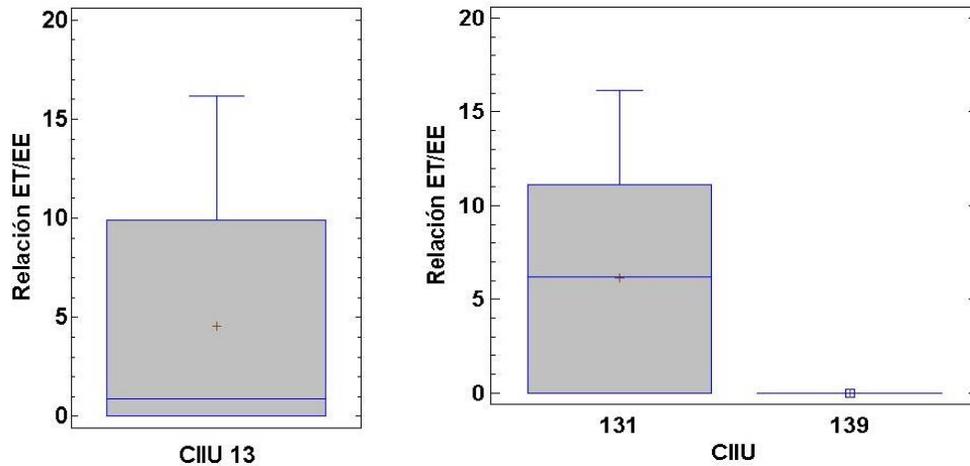
b)

**Figura 44. Consumo específico en el sector textil por regiones a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**



**Figura 45. Consumo específico en el sector textil por tamaño de empresa a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**

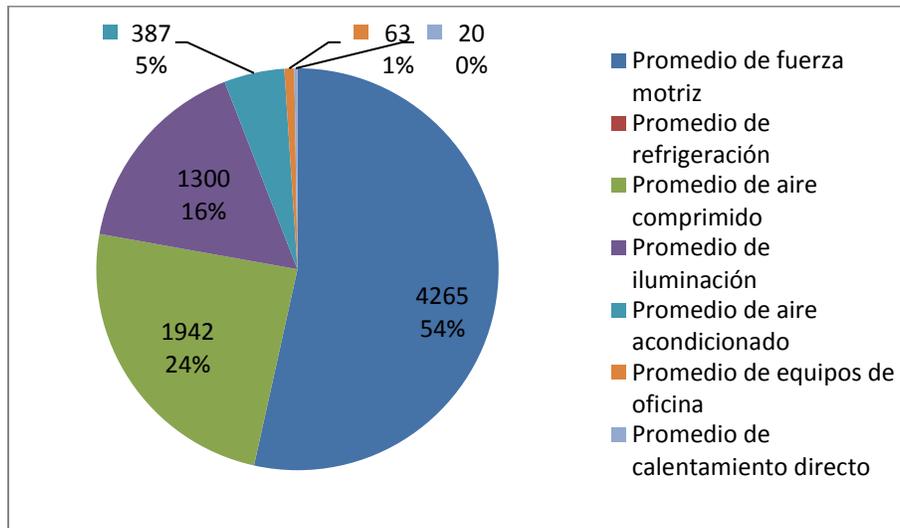
La tendencia general consolidada en el sector de textiles mostró consumos de energía térmica similares a los de energía eléctrica, tal como se muestra en la Figura 46, en la que la relación entre energía eléctrica y energía térmica en el sector tiene una mediana alrededor de 1,0 kWh/kWh. Sin embargo, hay subsectores en los que esta relación puede ser tan alta como 16,2 kWh/kWh en preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles. (CIU 131), con un punto atípico alrededor de 36,8 kWh/kWh en una empresa de tintorería y acabados, o puede ser incluso 0 kWh/kWh en empresas donde solo se hace uso de la energía eléctrica en este mismo subsector. El sector de fabricación de otros productos textiles (CIU 139) tuvo una relación de energía térmica a energía eléctrica de 0,0 kWh/kWh, ya que en este subsector se intervinieron dos empresas que no hacen procesamiento textil sino que realizan acabados que no requieren el uso de energía térmica.



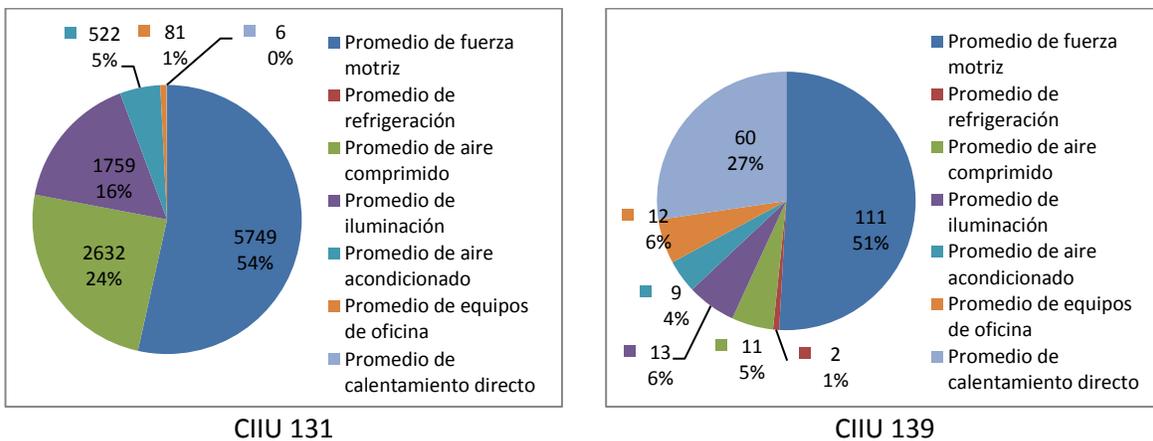
**Figura 46. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector textil CIU 13 y subsectores CIU 131 y CIU 139**

En la Figura 47 y Figura 48 se presenta la desagregación del consumo de energía eléctrica en distintos procesos y servicios generales para el sector consolidado y los dos subsectores que lo componen. Los resultados indican que la fuerza motriz, el aire comprimido y la iluminación representan los mayores consumos de energía eléctrica para el sector, teniendo la fuerza motriz la mayor proporción. El alto impacto de la iluminación se debe principalmente al uso de luminarias de alto consumo como las de metal haluro de 400 W y poco aprovechamiento de la luz natural. No obstante, en el subsector de fabricación de otros productos textiles (CIU 139) es evidente el dominio que tiene la fuerza motriz y el calentamiento directo con resistencia eléctrica sobre los otros usos de la energía eléctrica, que tienen menos del 25% de participación en el consumo.

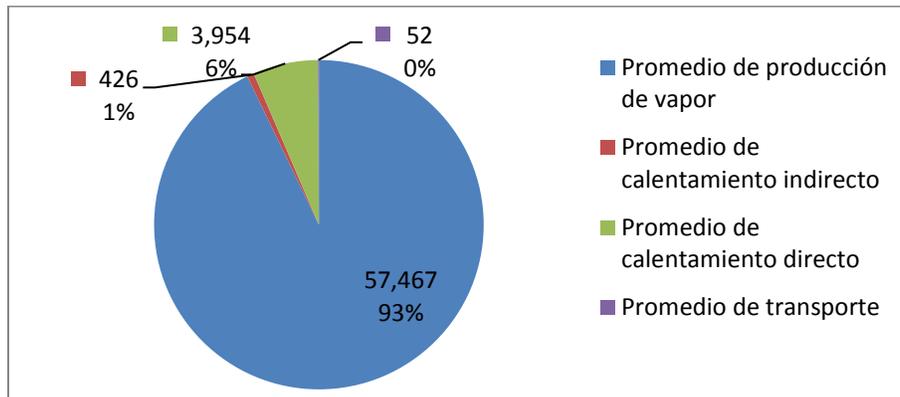
Por otra parte, en la Figura 49 y Figura 50 se presenta la desagregación del uso de la combustión para calentamiento indirecto por medio de vapor, calentamiento directo, calentamiento indirecto por medio de aceite térmico y uso de combustibles para vehículos de transporte interno tipo montacargas. Los resultados muestran que el consumo de combustibles para generación de vapor es considerablemente superior a los otros tipos de uso de la energía térmica, lo cual concuerda con la alta demanda de vapor que se ha encontrado en el sector textil y que se mostró en la Figura 21.



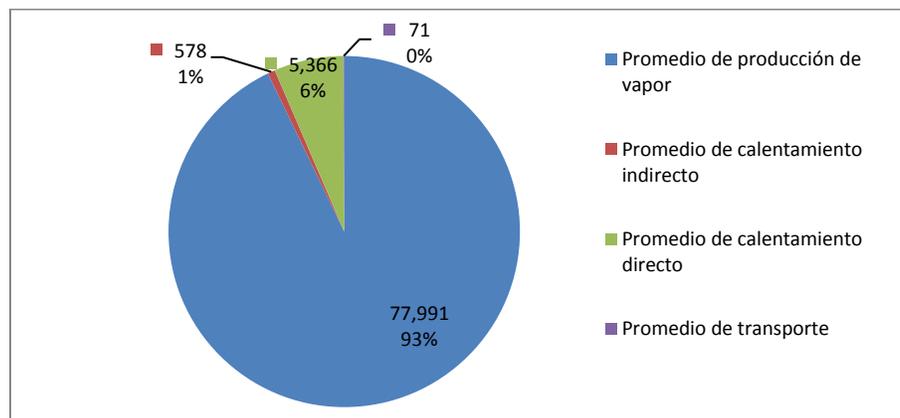
**Figura 47. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector textil CIU 13 (MWh)**



**Figura 48. Distribución del uso de la energía eléctrica en subsectores de textiles (MWh)**



**Figura 49. Distribución del uso de la energía térmica en el sector textil CIU 13 (MWh)**



**Figura 50. Distribución del uso de la energía térmica en subsectores textiles (MWh) subsector CIU 131**

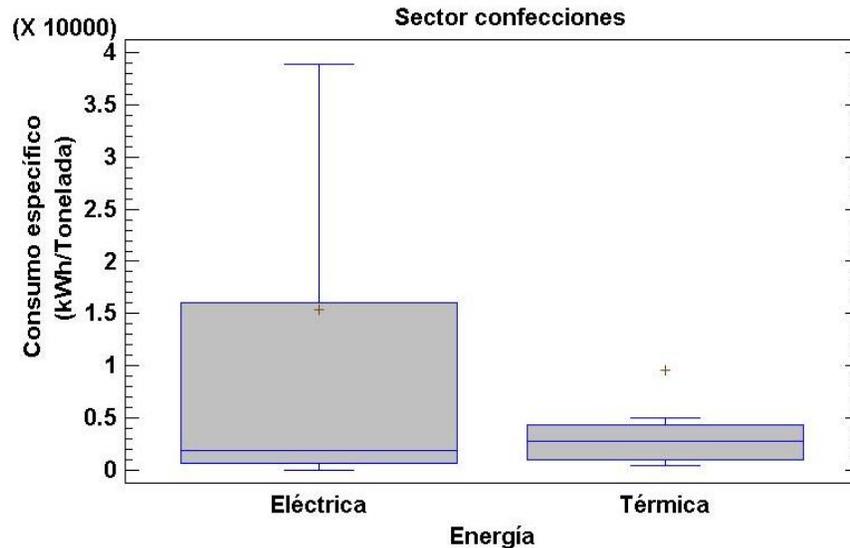
### 3.5 SECTOR CONFECCIONES

En el sector de confección (CIU 14) se han intervenido empresas del subsector de confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel (CIU 141). En la caracterización del sector de confecciones se encontró una importante variabilidad de procesos de producción en los que a pesar que intervienen casi todos los mismos servicios generales y el calentamiento indirecto con vapor en algunas de las empresas, la demanda de energía no conserva homogeneidad. Además, la cuantificación de la producción no es uniforme ya que mientras unas empresas reportan toneladas de material procesado o de producto final, otras llevan registros de unidades de producto con diversas características y especificaciones. Además, algunas empresas de este sector generan varias referencias de productos que varían con las especificaciones de cada unidad, sobre todo en tamaño y acabados

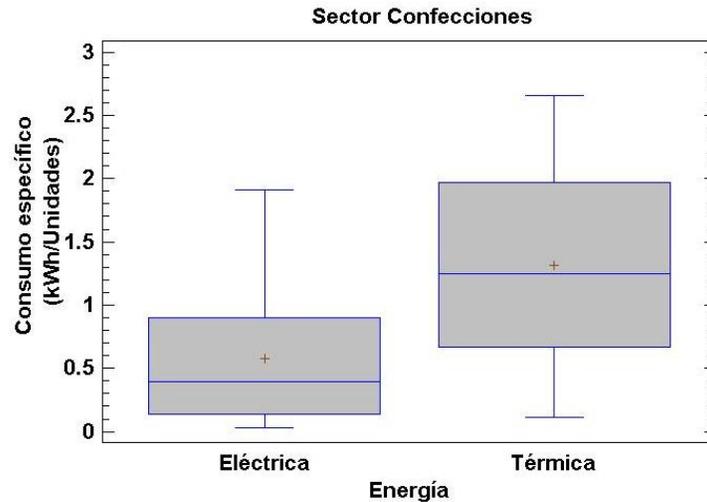
En la Figura 51 y Figura 52 se presentan los indicadores de consumo energético por toneladas y por unidades de producción, respectivamente. Estas figuras ilustran la alta variabilidad en cada indicador, revelando la heterogeneidad de la demanda de energía de este sector industrial. En la *DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

Figura 51 se observan las medianas de consumo energético eléctrico y térmico, con valores de 1.915 y 3.010 kWh/ton, respectivamente. Sin embargo, el indicador de energía térmica presenta algunos casos particulares de altos consumos que son llamativos como es el caso del punto máximo de 5.023 kWh/ton correspondiente a una empresa mediana de fabricación de ropa deportiva de la región centro, mientras que en el consumo específico de energía eléctrica se identificaron puntos atípicos de 38.500 y 49.589 kWh/ton en empresas de confección de jeans y ropa deportiva, respectivamente, en la región noroeste y centro.

La alta variabilidad de consumos específicos de energía térmica también se presenta cuando la producción se reporta en unidades de productos como se puede observar en la Figura 52, donde el consumo específico de energía eléctrica y térmica tiene medianas de 0,41 y 1,27 kWh/unidad, respectivamente, pero con amplios intervalos de variabilidad que alcanzan valores de 2,66 kWh/unidad en consumo específico de energía térmica. Aquí es necesario aclarar que para el consumo de específico de energía térmica en unidades de producción sólo se consideraron tres empresas que efectivamente consumían este tipo de energía.



**Figura 51. Consumo específico de energía eléctrica y térmica en el sector confección CIU 14 con base en toneladas de producto**



**Figura 52. Consumo específico de energía eléctrica y térmica en el sector confección CIU 14 con base en unidades de producto**

La Figura 53 presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica en las tres regiones donde hay representatividad de empresas intervenidas del sector de confecciones, aclarando que en la región suroeste solo se ha intervenido una empresa que reporta su producción en toneladas. De las tres regiones, en la región noroeste se presenta el mayor consumo específico y la mayor dispersión con una mediana de 9.834 kWh/ton y un consumo máximo de 83.600 kWh/ton, mientras que en la región centro se observó un punto atípico en 38.800 kWh/ton.

Similarmente, en la Figura 54 se presenta la distribución de consumo específico de energía térmica por tamaños de empresa donde hay representatividad muestral de empresas visitadas y encuestadas en el sector de confecciones, aclarando que solo se ha intervenido una empresa mediana que reporta su producción en toneladas. Se puede observar que las industrias grandes tienen consumos específicos de energía térmica con mediana de 2.250 kWh/ton, pero con valores máximos hasta 3.682 kWh/ton. Llama la atención que aún con una muestra de sólo una empresa mediana se obtuvo un consumo específico de energía térmica mayor al de las empresas grandes alrededor de 5.000 kWh/ton, por lo que se podría pensar en que estas empresas tienen equipos sobredimensionados para los niveles de producción que manejan. En ninguna de las empresas pequeñas visitadas o encuestadas se encontró uso de energía térmica.

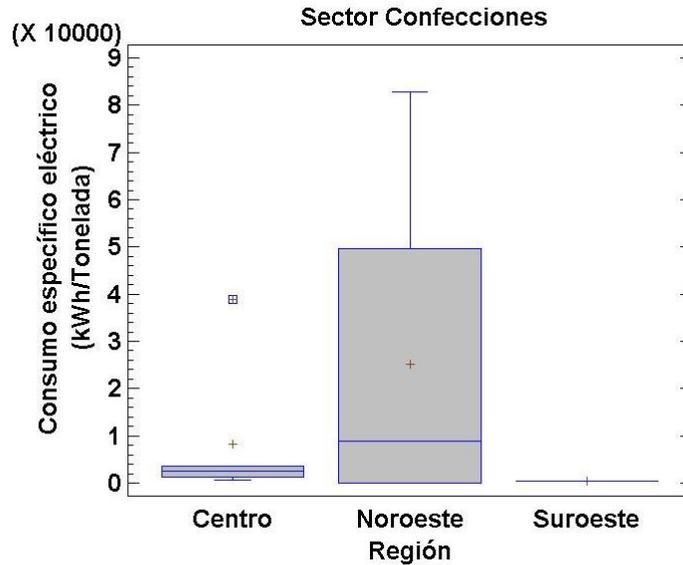


Figura 53. Consumo específico de energía eléctrica en el sector confección por regiones

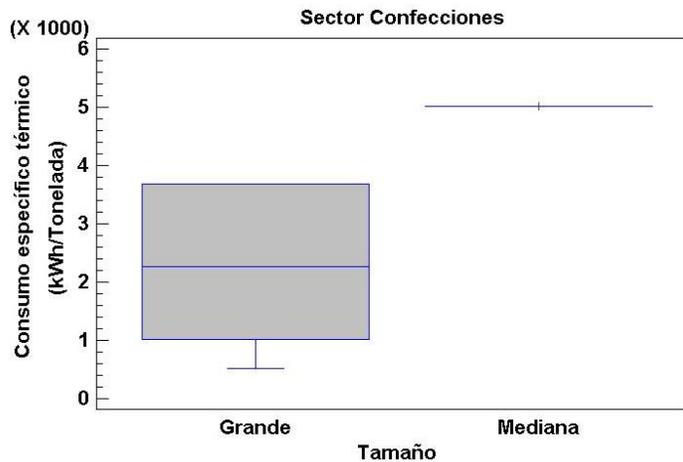
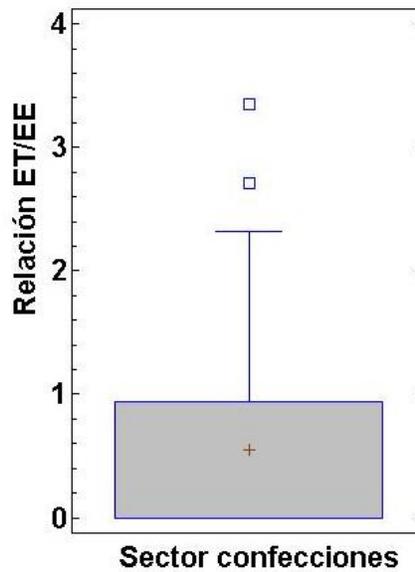


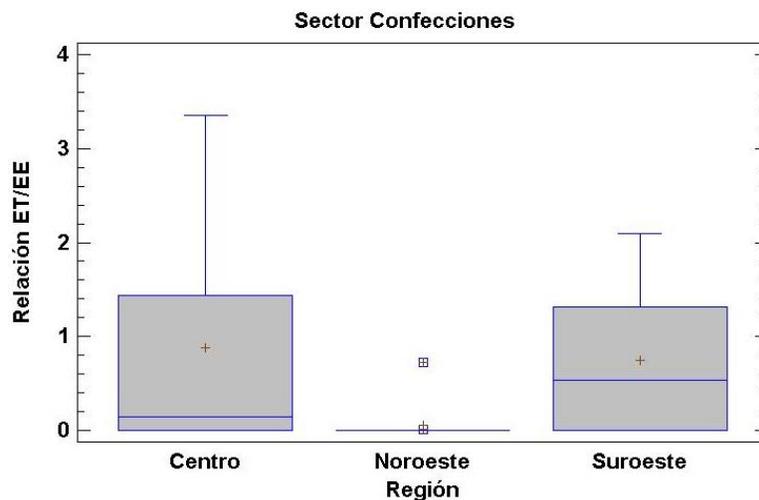
Figura 54. Consumo específico de energía térmica en el sector confección por tamaño de empresa

La tendencia general consolidada en el sector de confecciones mostró relaciones de consumo de energía térmica a energía eléctrica muy variables, tal como se muestra en la Figura 55, en la que la relación entre energía eléctrica y energía térmica en el sector tiene una media de 0,6 kWh/kWh, pero en algunas empresas, esta relación alcanzó valores de 2,7 kWh/kWh e incluso valores atípicos de 3,35. Estos altos valores se deben a que en algunas empresas se realizan procesos de teñido, planchado y secado de telas por medio de vapor y/o aire calentado por productos de combustión, operaciones que guardan similitud con las que se hacen en la industria textil. Sin embargo, la mayoría de empresas tuvieron una relación de 0 kWh/kWh ya que sólo se hace uso de la energía eléctrica para el diseño, confección y acabados de prendas por medio de máquinas eléctricas. Las mayores relaciones de energía térmica a energía eléctrica se encontraron en las regiones centro y

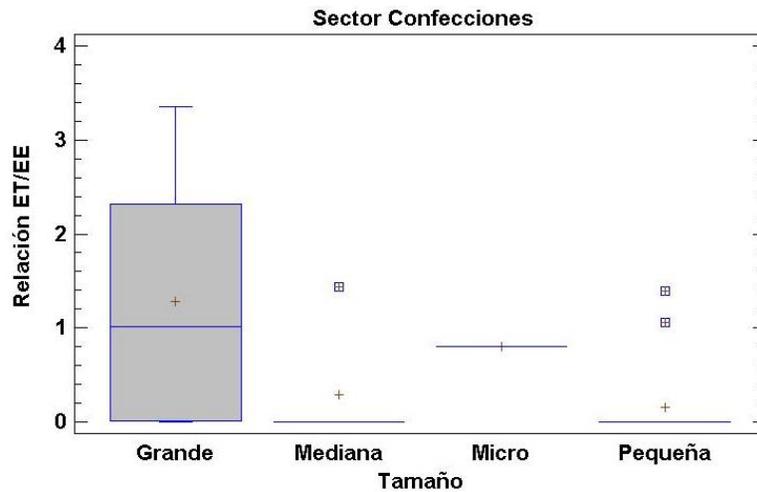
suroeste, como se muestra en la Figura 56, mientras que por tamaño, las empresas grandes tuvieron las mayores relaciones, aunque empresas pequeñas de fabricación de prendas infantiles alcanzaron valores de 1,39 kWh/kWh que son similares a la media de las empresas grandes, tal como se observa en la Figura 57. En este punto se aclara que en la Figura 56 y Figura 57 solo se incluyeron empresas de confecciones que usan energía térmica, lo cual explica que en la región noroeste y en tamaños de empresa mediana, pequeña y micro solo haya una empresa en cada categoría.



**Figura 55. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector confección CIU 14**

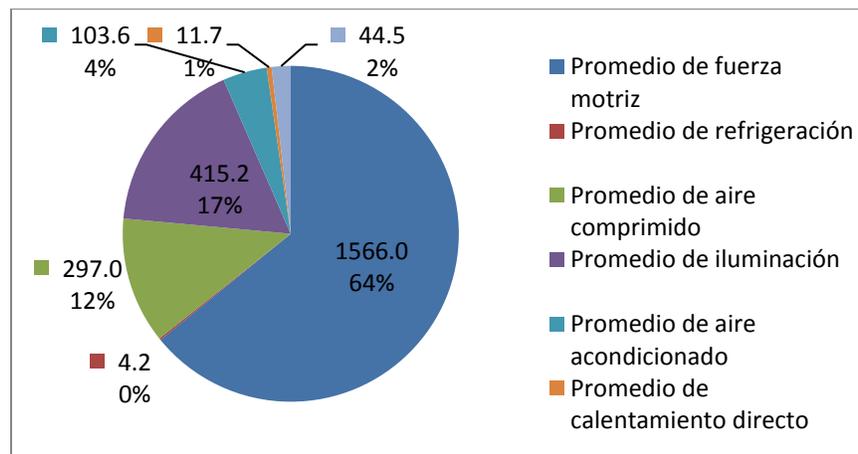


**Figura 56. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector confección CIU 14 por región**

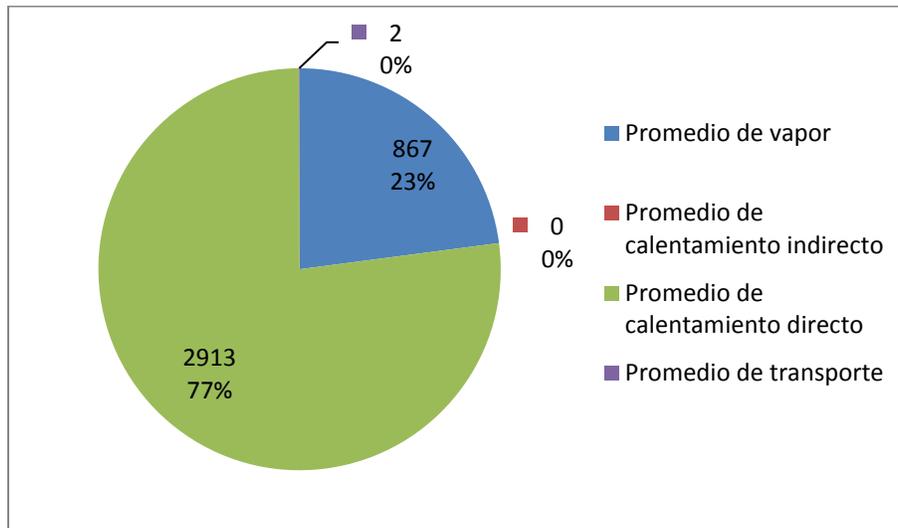


**Figura 57. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector confección CIU 14 por tamaño**

La energía eléctrica en el subsector de confecciones se usa principalmente en la generación de fuerza motriz principalmente para maquinaria de cocer con servomotores, seguido por la iluminación y el aire comprimido para accionamiento de sistemas de control neumático, tal como se muestra en la Figura 58. La alta participación de la iluminación en el consumo de energía en este tipo de empresas se debe a que la mayoría de ellas están ubicadas en locales donde no se puede hacer buen aprovechamiento de la luz natural. El calentamiento directo por energía eléctrica que representa el 0,5% del consumo se utiliza principalmente en operaciones de planchado de prendas. Por su parte, todo el uso de energía térmica en este sector se encuentra representado en el calentamiento indirecto por generación de vapor y en calentamiento directo, siendo este último el de mayor participación y empleado principalmente en operaciones de secado, como se muestra en la Figura 59.



**Figura 58. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector confección CIU 14 (MWh)**



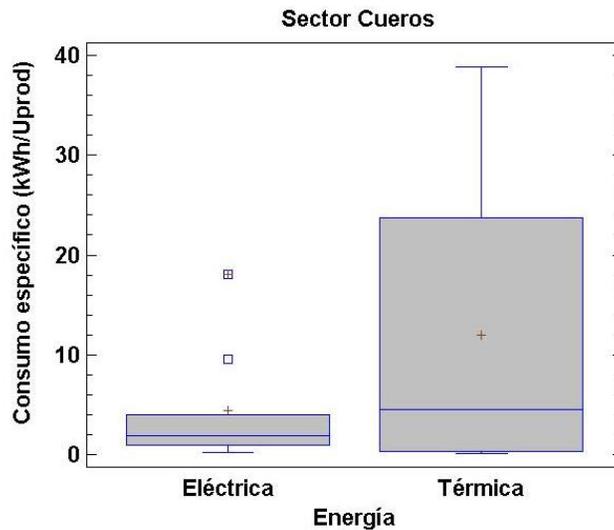
**Figura 59. Distribución del uso de la energía térmica en el sector confección CIU 14 (MWh)**

### 3.6 SECTOR CUERO

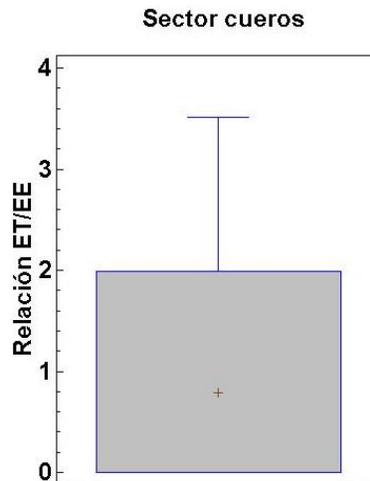
En el sector de curtido de cuero y fabricación de artículos de cuero (CIU 15) se han visitado empresas dedicadas al curtido y fabricación de artículos de cuero (CIU 151) y otras de fabricación de calzado (CIU 152). No obstante, a pesar de que algunas empresas comparten el mismo código CIU por subsector, se ha encontrado una alta variabilidad en los indicadores de consumo específico como se muestra en la Figura 60, ya que algunas empresas aplican en mayor o menor medida el calentamiento indirecto por energía térmica dependiendo de cada proceso. Las medianas de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica son respectivamente 1,9 y 4,6 kWh/unidad, aunque se lograron identificar empresas donde el consumo específico de energía eléctrica alcanzó 18,0 kWh/unidad como punto atípico y 38,8 kWh/unidad en energía térmica como valor máximo.

En este sector la consolidación del resultado no ha sido fácil ya que cada empresa maneja distintas unidades de producción desde toneladas de producto procesado, unidades de producto final o área de producto final. Para el cálculo de los indicadores en esta sección se seleccionaron ocho empresas por compartir su indicador en unidades de producción, aunque cada una de estas unidades tiene diferentes especificaciones con respecto a tamaño, acabados y geometrías.

En la Figura 61 se puede observar la relación entre el consumo de energía térmica y energía eléctrica del sector de cueros, en el que la mediana indica que la energía térmica tiene un consumo de un poco menos de la mitad del consumo de energía eléctrica alrededor de 0,36 kWh/kWh. No obstante, en empresas donde se hace curtido de pieles se identificaron relaciones entre 2,04 y 3,5 kWh/kWh, mientras que en otras empresas de fabricación de artículos de cuero no se evidenció uso de energía térmica, dado que se dedican a procesos de corte, ensamble, confección y acabados por medio de equipos eléctricos, lo que refleja el grado de heterogeneidad del uso de la energía en los distintos procesos de este sector.



**Figura 60. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de cueros CIU 15**



**Figura 61. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de cuero CIU 15**

La energía eléctrica en el sector de curtido de cuero y fabricación de artículos de cuero se usa principalmente en la generación de fuerza motriz, principalmente para transmisión de potencia en la rotación de fulones y agitación, seguido de lejas por el aire comprimido para control neumático y la iluminación, tal como se muestra en la Figura 62. Similarmente, en la Figura 63, se presenta la distribución del uso de la energía térmica en el sector de cueros, donde prácticamente todo el consumo de esta energía se usa para la producción de vapor destinado a operaciones de cocción de pieles, secado, blanqueo y teñido, existiendo casos donde se usa el calentamiento directo en las operaciones mencionadas anteriormente.

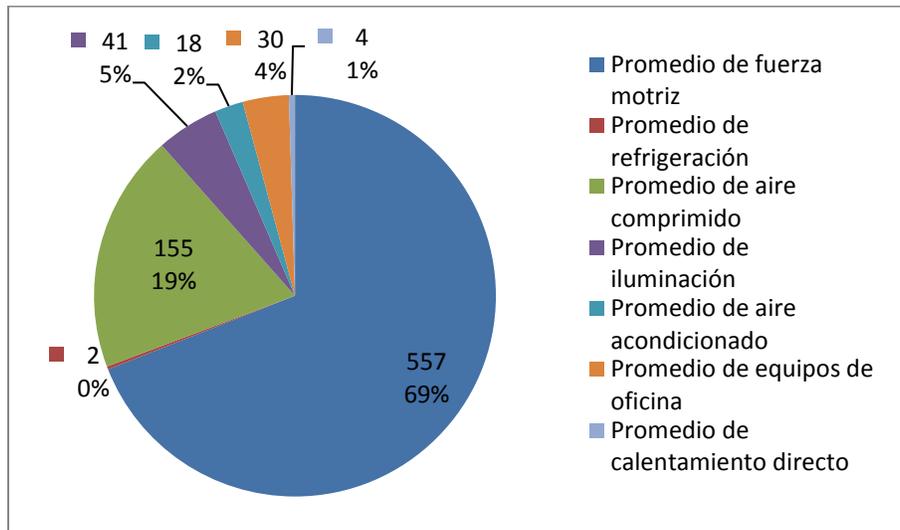


Figura 62. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector de cueros CIU 15 (MWh)

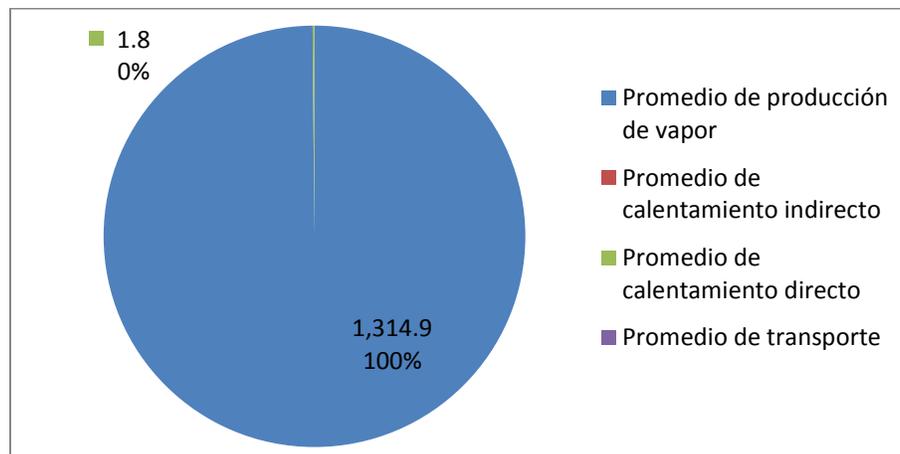
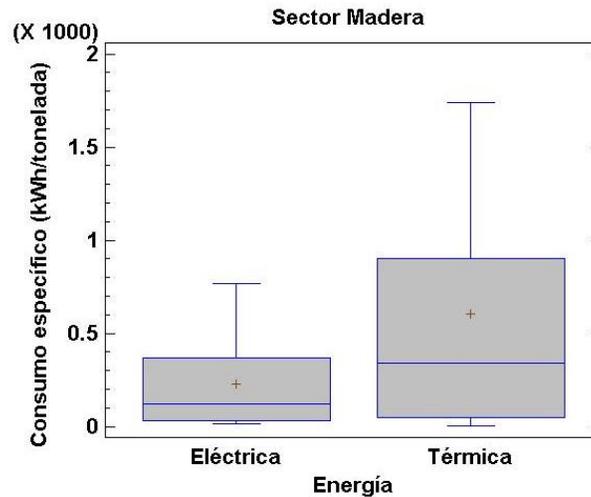


Figura 63. Distribución del uso de la energía térmica en el sector cueros CIU 15 (MWh)

### 3.7 SECTOR MADERA

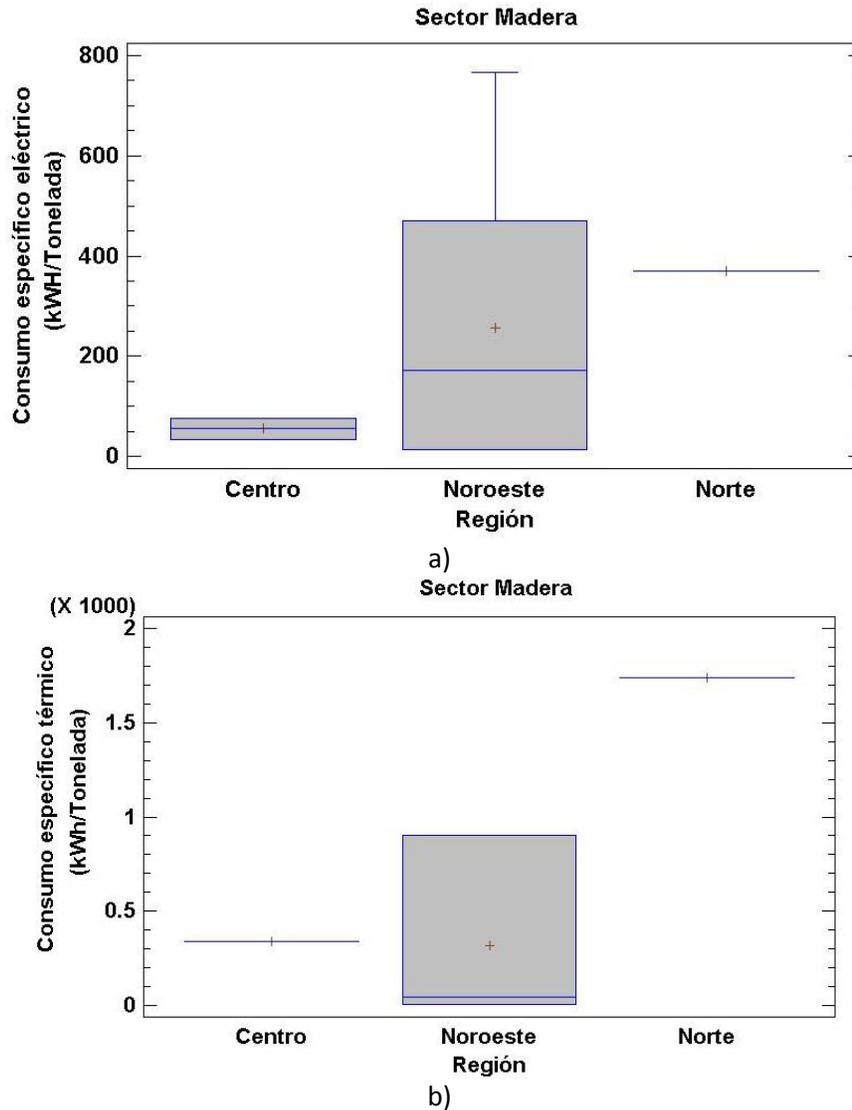
En el sector de transformación de la madera y fabricación de productos de madera (CIU 16), las empresas reportaron su producción en unidades distintas: unidad de producto terminado, toneladas y metros cúbicos. Para efectos de comparación, se ha homogenizado la unidad de producción en toneladas, con base en datos de densidad volumétrica y superficial. En este sector, a pesar de que varias empresas comparten el mismo código CIU por subsector, se encontró una alta variabilidad en los indicadores de consumo específico, tal como se muestra en la Figura 64, donde las medianas de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica son 124 kWh/ton y 680 kWh/ton, respectivamente, pero en energía térmica se alcanzaron consumos hasta 1732 kWh/ton y 766 kWh/ton en energía eléctrica.



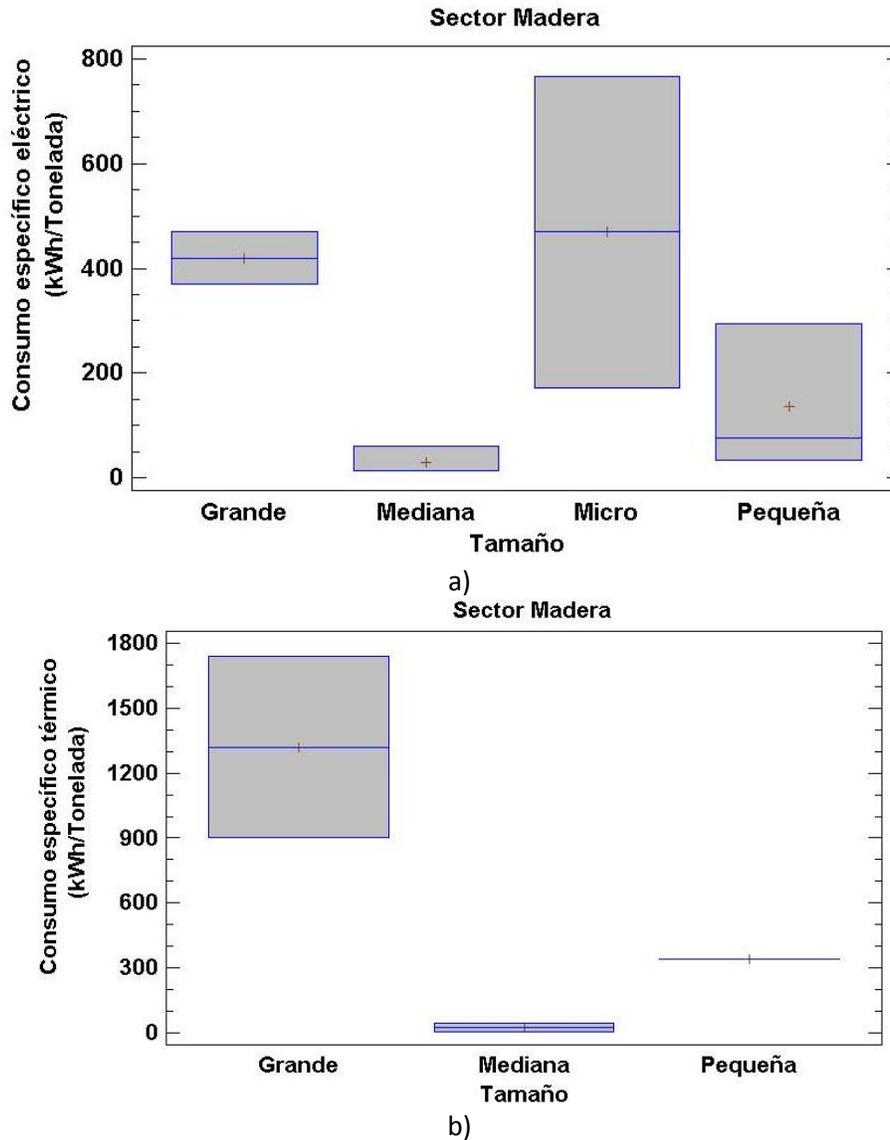
**Figura 64. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de madera CIU 16**

La Figura 65 presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en las regiones donde hay representatividad de empresas intervenidas del sector de maderas. En la región noroeste se presentan los mayores consumos específicos de energía eléctrica con una mediana alrededor de 170 kWh/ton, mientras que en la región centro tiene una mediana de 53 kWh/ton y menor dispersión. En el consumo de energía térmica no se conserva esta tendencia, ya la región noroeste tiene una mediana de 60 kWh/ton con una variación alta donde se alcanzan valores máximos de 898 kWh/ton en una microempresa de fabricación de artículos de madera y 972 kWh/ton para otra empresa grande de esa misma actividad. Llama la atención que aún con una muestra de sólo una empresa, la región norte tiene un consumo específico de energía eléctrica y térmica mayor al de las otras dos regiones alrededor de 365 y 1.740 kWh/ton, respectivamente. Se aclara que la región centro solo tiene una representatividad de una sola empresa en el consumo específico de energía térmica debido a que las demás empresas intervenidas en esa región no presentaron consumo de este tipo de energía.

Similarmente, en la Figura 66 se presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica por tamaño de empresa donde hay representatividad muestral de empresas visitadas y encuestadas en el sector de maderas. Se puede observar que las micro empresas tienen mayores consumos específicos de energía eléctrica mediana alrededor de 470 kWh/ton, que resulta mayor al de las empresas grandes con una mediana de 410 kWh/ton. Este hecho puede indicar que las microempresas de este sector tienen equipos sobredimensionados para los niveles de producción que manejan. Con respecto al consumo de energía térmica, solo dos empresas medianas y una pequeña utilizan este tipo de energía, mientras que las empresas grandes tienen un consumo específico alrededor de 1320 kWh/ton.



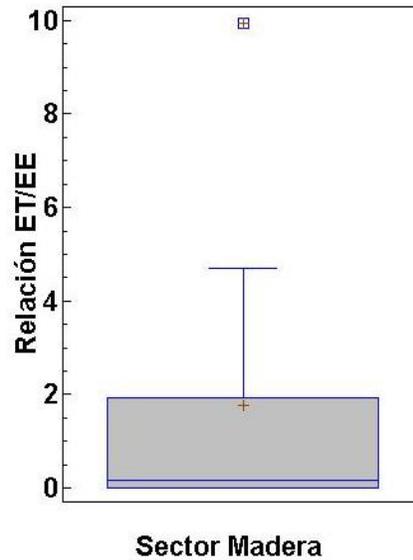
**Figura 65. Consumo específico en el sector de maderas por regiones a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**



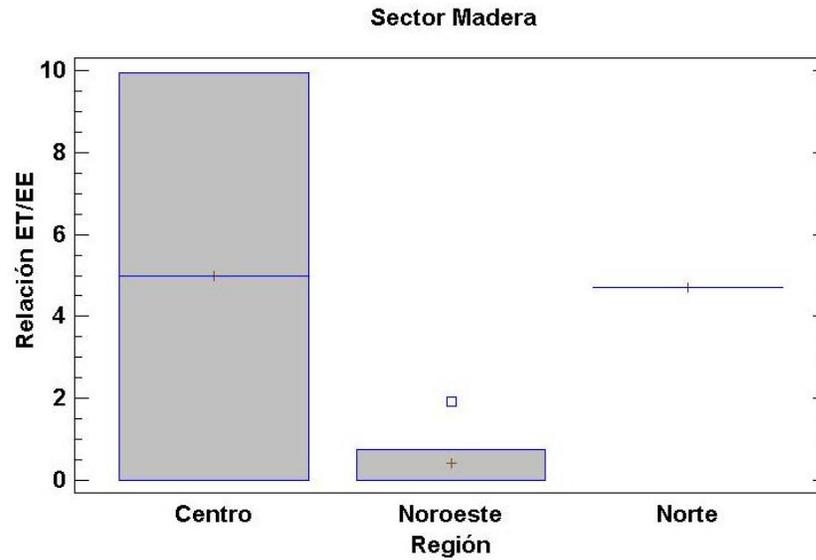
**Figura 66. Consumo específico en el sector de maderas por tamaño de empresa a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**

En la Figura 67 se ilustra la relación entre el consumo de energía térmica y energía eléctrica del subsector CIU 16 con base en los consumos suministrados por las empresas, en el que la mediana indica que la energía térmica tiene un consumo de 0,3 veces el consumo de energía eléctrica, aunque hubo empresas de producción de tableros, madera especial y otros productos de madera donde esta relación tuvo valores entre 2,0 y 9,8 kWh debido al consumo significativo de vapor principalmente para las operaciones de secado y ablandamiento de fibras de madera, mientras que en otras que basan su producción en la energía eléctrica para maquinado y ensamble de piezas de madera, esta relación es 0 kWh/kWh. Este hecho explica la alta varianza que se observa en la Figura 67.

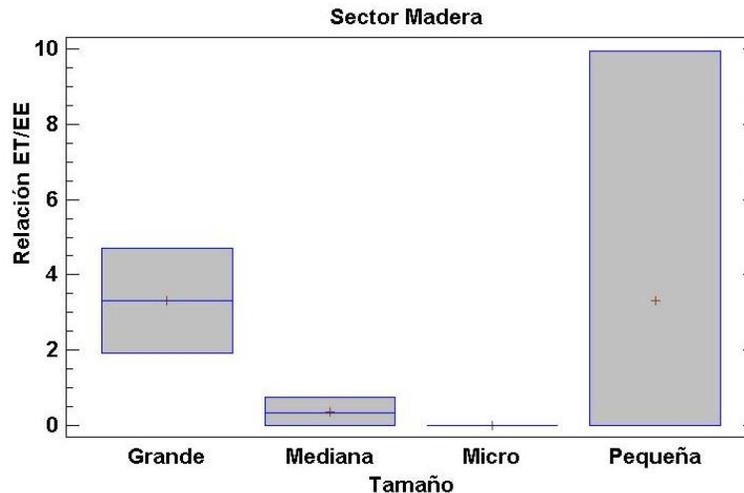
Las mayores relaciones de energía térmica a energía eléctrica se encontraron en la región centro, cómo se muestra en la Figura 68, aunque en la región norte, la única empresa intervenida tuvo esta relación comparable con la mediana de la región centro alrededor de 5,0 kWh/ton, mientras que por tamaño, la Figura 69 muestra que las empresas pequeñas tuvieron las mayores relaciones, aunque la muestra fue de solo dos empresas y una de ellas no consume energía térmica.



**Figura 67. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de madera CIU 16**



**Figura 68** Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de madera CIU 16 por región



**Figura 69.** Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de madera CIU 16 por tamaño de empresa

La energía eléctrica en las empresas visitadas del sector de madera se usa principalmente en la generación de fuerza motriz, principalmente para transmisión de potencia en equipos de corte y pulido, seguido por el aire comprimido que se usa para operar principalmente máquinas de encolado y pintura, tal como se muestra en la Figura 70. Los demás usos de la energía eléctrica tienen un aporte marginal al consumo de este tipo de energía. En este punto, es importante destacar que el consumo de energía térmica que se identificó en las empresas corresponde principalmente

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

al uso de vapor para calentamiento indirecto, como se muestra en la Figura 71. Distribución del uso de la energía térmica en el sector madera CIU 16 (MWh)

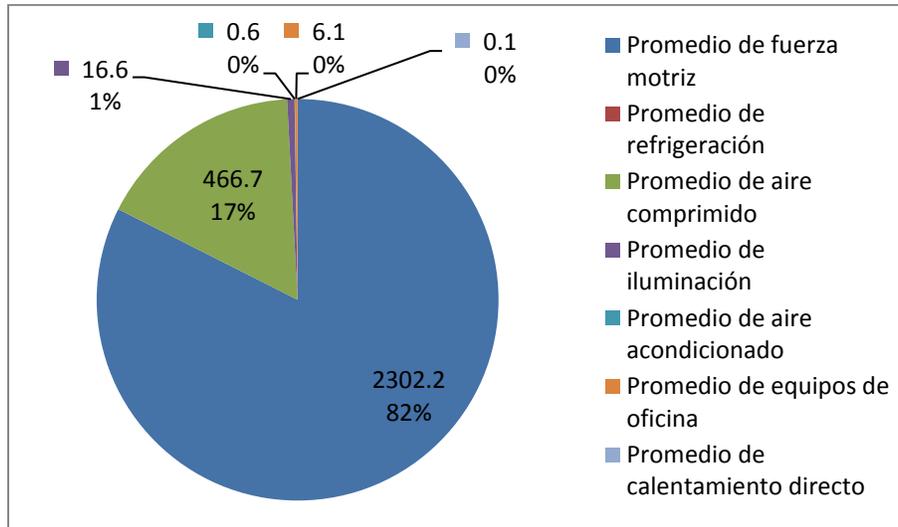


Figura 70. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector madera CIU 16 (MWh)

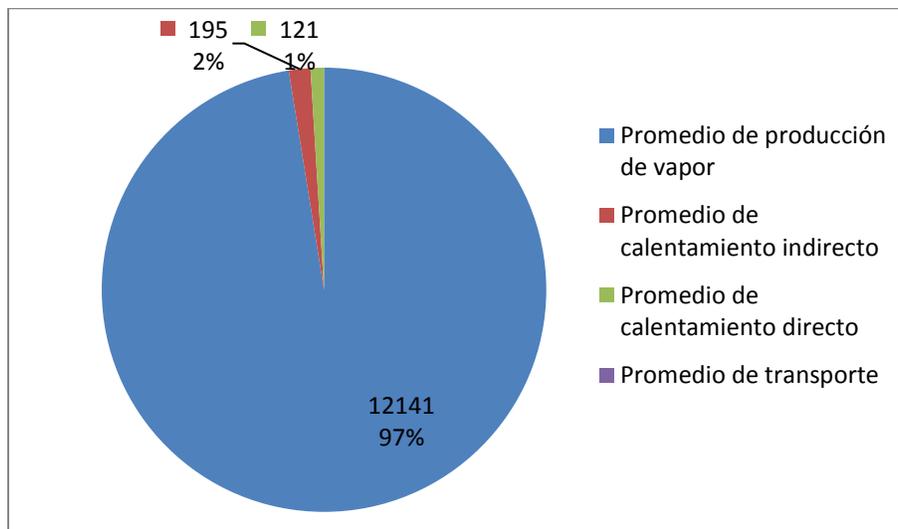


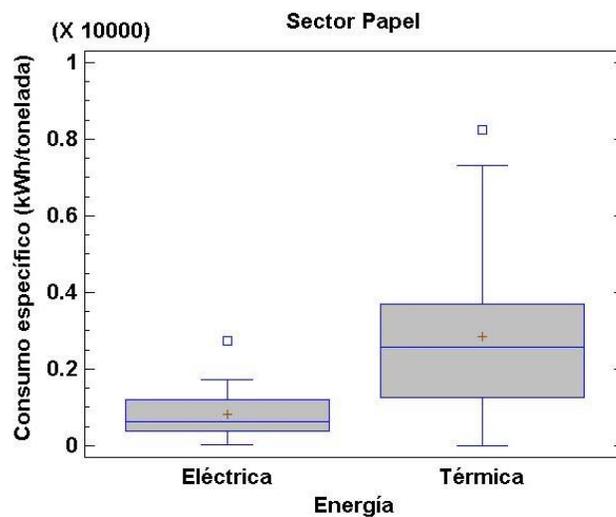
Figura 71. Distribución del uso de la energía térmica en el sector madera CIU 16 (MWh)

### 3.8 SECTOR PAPEL

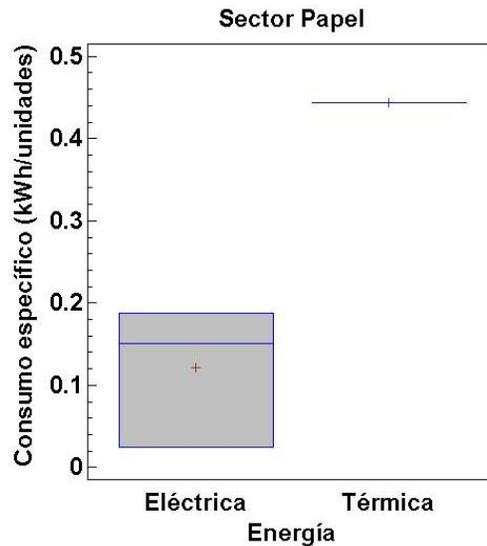
En el sector de fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (CIU 17) se han intervenido empresas dedicadas a la producción de pulpas, cartón y fabricación de artículos de papel, todas ellas agrupadas en el subsector CIU 170. No obstante, a pesar de compartir el mismo código CIU, se ha encontrado una alta variabilidad en los indicadores de consumo específico como se muestra en la Figura 72 y Figura 73, ya que algunas empresas aplican en mayor o menor medida el calentamiento indirecto por energía térmica dependiendo de cada proceso. Además, la cuantificación de la producción no es uniforme ya que mientras unas empresas reportan toneladas de material procesado o de producto final, otras llevan registros de unidades de producto con diversas características y especificaciones. Algunas empresas de este sector generan varias referencias de productos que varían en tamaño y geometría.

En la Figura 72 y Figura 73 se presentan los indicadores de consumo energético por toneladas y por unidades de producción, respectivamente. Estas figuras ilustran la alta variabilidad en cada indicador, revelando la heterogeneidad de la demanda de energía de este sector industrial. En la Figura 72 se observan las medianas de consumo energético eléctrico y térmico en las empresas de este sector, con valores de 604 y 2.508 kWh/ton, respectivamente, aunque se observaron valores tan altos como 2.708 y 8.346 kWh/ton de energía térmica en una empresa de fabricación de pulpa y papel, y fabricación de cartón, respectivamente, que poseen sistemas de cogeneración.

La alta variabilidad de consumos específicos también se presenta cuando la producción se reporta en unidades de productos como se puede observar en la Figura 73, donde el consumo específico de energía eléctrica y energía térmica tienen medianas de 0,15 y 0,43 kWh/unidad, pero teniendo en cuenta que solo una empresa de estas características usa energía térmica.



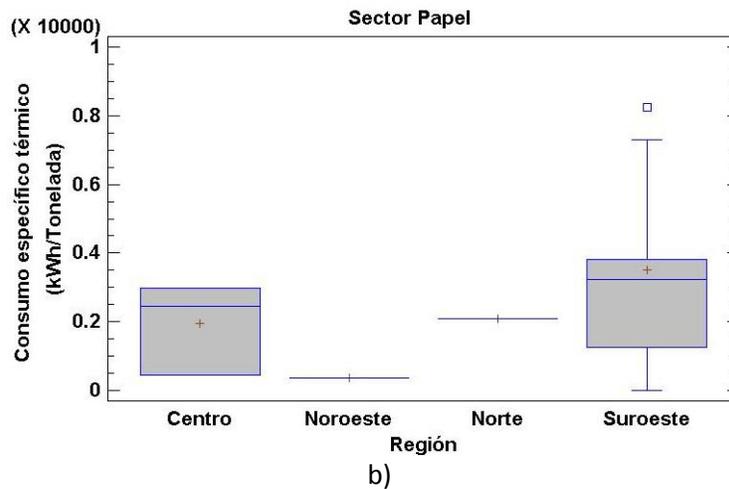
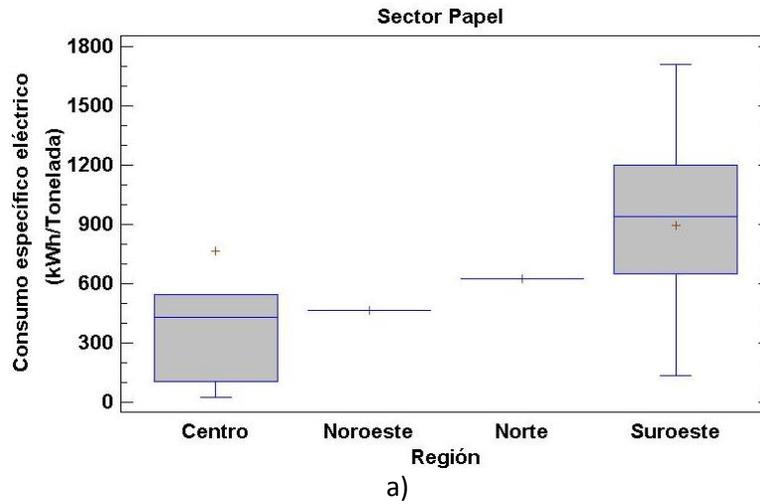
**Figura 72. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector papel CIU 17 con base en toneladas de producción**



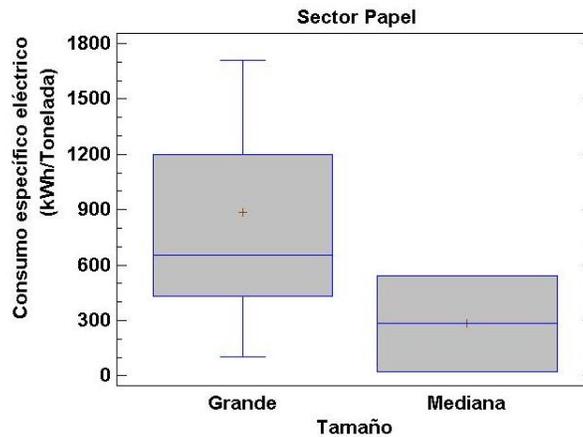
**Figura 73. Consumo específico de energía eléctrica en el sector papel CIU 17 con base en unidades de producción**

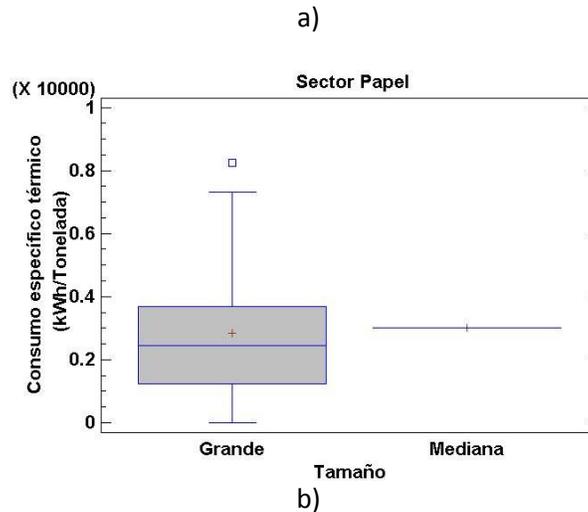
La Figura 74 presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en las regiones donde hay representatividad de empresas intervenidas del sector de papel. En la región suroeste se presentan los mayores consumos específicos de energía eléctrica y energía térmica con medianas alrededor de 950 y 3.300 kWh/ton, respectivamente, seguido por la región centro con medianas de 425 y 2.450 kWh/ton y menor dispersión. Se debe destacar en este punto que las empresas con mayor capacidad instalada para la producción de papel y cartón se encuentran en la región suroeste.

Similarmente, en la Figura 75 se presenta la distribución de consumo específico de energía eléctrica y energía térmica por tamaño de empresa donde hay representatividad de empresas visitadas y encuestadas en el sector de papel. Se puede observar que las empresas grandes tienen mayores consumos específicos de energía eléctrica con mediana alrededor de 670 kWh/ton, que resulta mayor al de las empresas medianas de 285 kWh/ton. No obstante, la única empresa mediana que consume energía térmica tienen mayor consumo específico de esta energía con mediana alrededor de 3000 kWh/ton con respecto a las empresas grandes de 2.500 kWh/ton, aunque con mayor dispersión en estas últimas que alcanzan valores tan altos como 8.246 en una empresa productora de cartón. Este hecho puede indicar que las empresas medianas de este sector tienen equipos sobredimensionados para los niveles de producción que manejan.



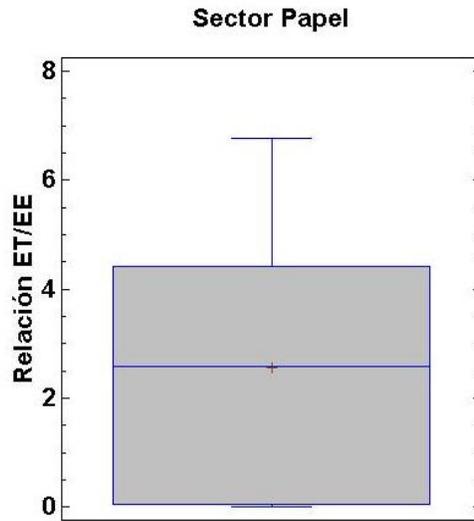
**Figura 74. Consumo específico en el sector papel por regiones a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**



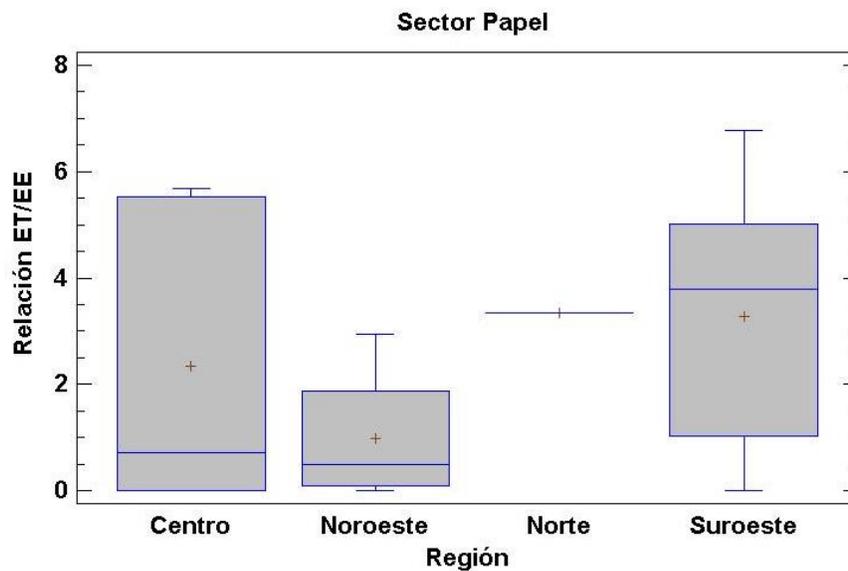


**Figura 75. Consumo específico en el sector papel por tamaño de empresa a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica**

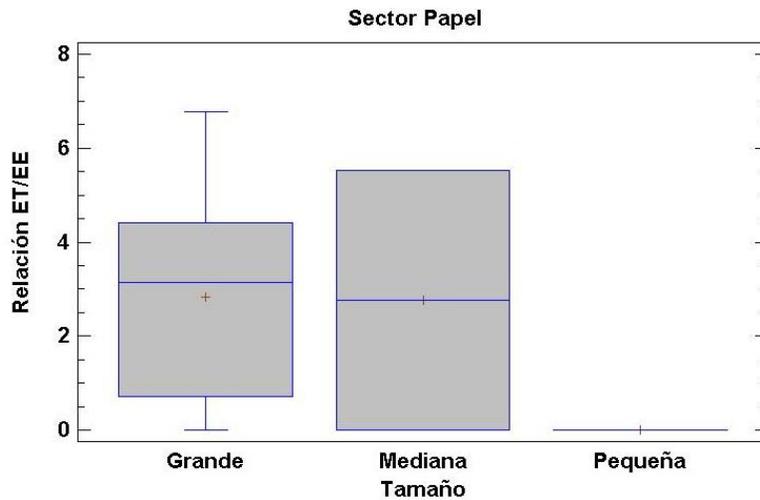
A pesar de la diferencia de procesos y de unidades en que se reportó la producción de cada empresa, en la Figura 76 se muestra la relación entre el consumo de energía térmica y energía eléctrica del subsector CIU 170 con base en los consumos suministrados por las empresas, en el que la mediana indica una relación de 2,6 kWh/kWh, pero hubo casos donde la relación alcanzó valores entre 3,0 y 7,5 kWh/kWh en empresa productoras de pulpa, papel y cartón, que usan altas cantidades de energía térmica para la generación de vapor que se emplea principalmente en operaciones de cocción de fibras y secado, mientras que en otras la producción se basa en la energía eléctrica para la operación de maquinaria que se encarga de dar formas, texturas, acabados al papel y el cartón, siendo esta relación 0 kWh/kWh. Este hecho explica la alta varianza que se observa en la Figura 76. Las mayores relaciones de energía térmica a energía eléctrica se encontraron en las regiones suroeste y centro, cómo se muestra en la Figura 77, donde en la región suroeste se encontraron empresas con sistemas de cogeneración. Por tamaño, las empresas grandes y medianas tuvieron relaciones similares con mediana alrededor de 3,0 kWh/kWh, tal como se muestra en la Figura 78, aunque la muestra fue de solo tres empresas medianas y dos de ellas no consumen energía térmica.



**Figura 76. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de papel CIU 17**

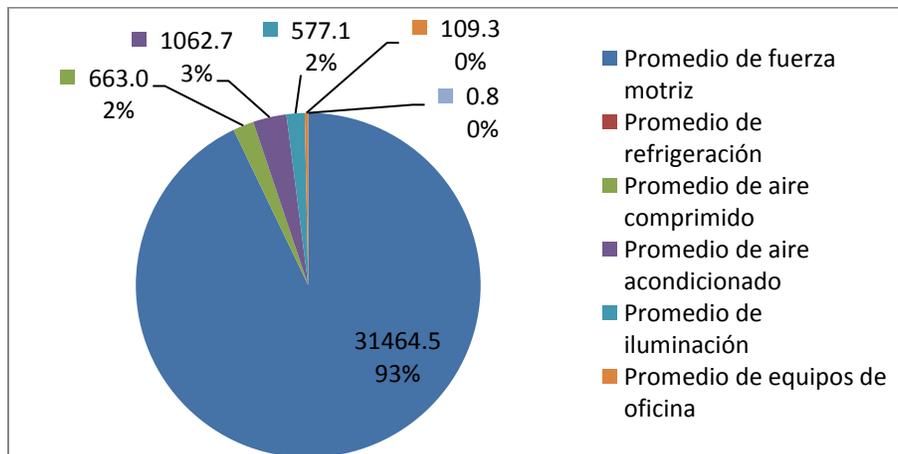


**Figura 77. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de papel CIU 17 por región**

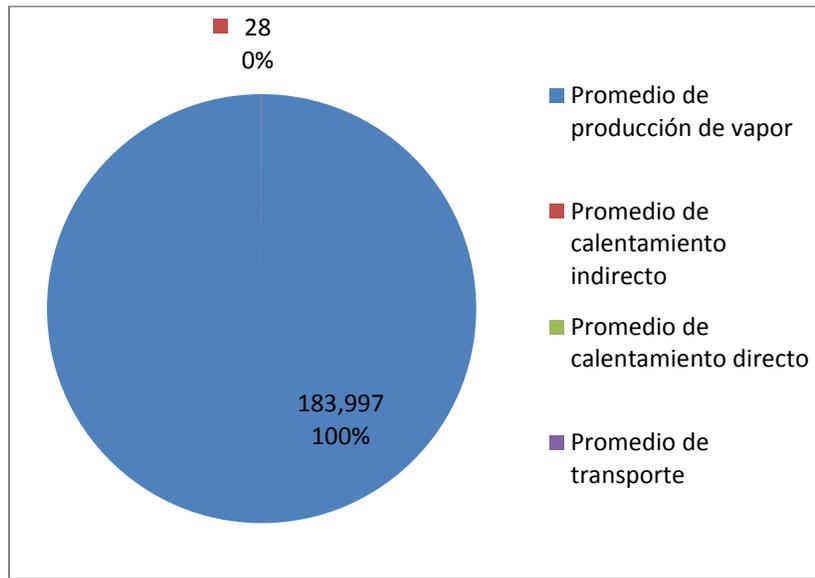


**Figura 78. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de papel CIU 17 por tamaño de empresa**

La energía eléctrica en el sector de fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón se usa principalmente en la generación de fuerza motriz, principalmente para transmisión de potencia en máquinas de papel, formado y agitación, seguido de lejos por aire acondicionado y el aire comprimido, tal como se muestra en la Figura 79. El calentamiento directo por resistencias, aunque es poco representativo para el sector global, es importante en empresas de fabricación de productos de papel y cartón, sobre todo aquellos donde se realizan procesos de termoformado. En este punto, es importante destacar que el consumo de energía térmica corresponde principalmente a calentamiento indirecto por medio de vapor, con algunas aplicaciones marginales de calentamiento indirecto por aceite térmico para secado, cómo se observa en la Figura 79.



**Figura 79. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector papel CIU 17 (MWh)**

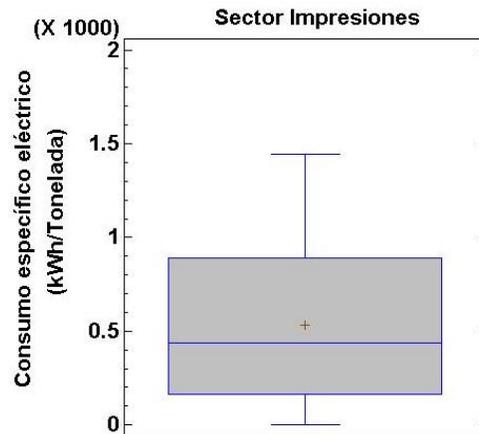


**Figura 80. Distribución del uso de la energía térmica en el sector papel CIU 17 (MWh)**

### 3.9 SECTOR IMPRESIÓN

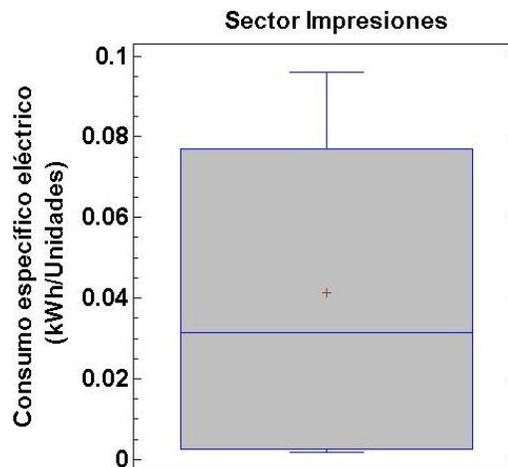
En el sector de impresión y producción de copias a partir de grabaciones originales (CIU 18) se han intervenido empresas dedicadas a la impresión de distintos tipos de material, la mayoría de ellas agrupadas en el subsector CIU 181 y sólo una del subsector CIU 182. No obstante, a pesar de compartir el mismo código CIU, se ha encontrado una alta variabilidad en los indicadores de consumo específico como se muestra en la Figura 81 y Figura 82, ya que las empresas varían la forma de reportar su producción: mientras algunas reportan toneladas de material procesado o de producto final, otras llevan registros de unidades de producto con diversas características y especificaciones. Además, algunas empresas de este sector generan varias referencias de productos como tamaños, tipo de papel y acabados, entre otros.

En la Figura 81 y Figura 82 se presentan los indicadores de consumo energético por toneladas y por unidades de producción, respectivamente. Estas Figuras ilustran la alta variabilidad en cada indicador, revelando la heterogeneidad de la demanda de energía de este sector industrial. En la Figura 81 se observa la mediana de consumo eléctrico en las empresas con un valor de 440 kWh/ton, con una amplia variabilidad que alcanza valores hasta 2.726 kWh/ton y un valor atípico de 11.429 kWh/ton en una empresa dedica a la fabricación y grabación de discos compactos y DVD a partir copias originales.



**Figura 81. Consumo específico de energía eléctrica en el sector de impresión CIU 18 con base en toneladas de producción**

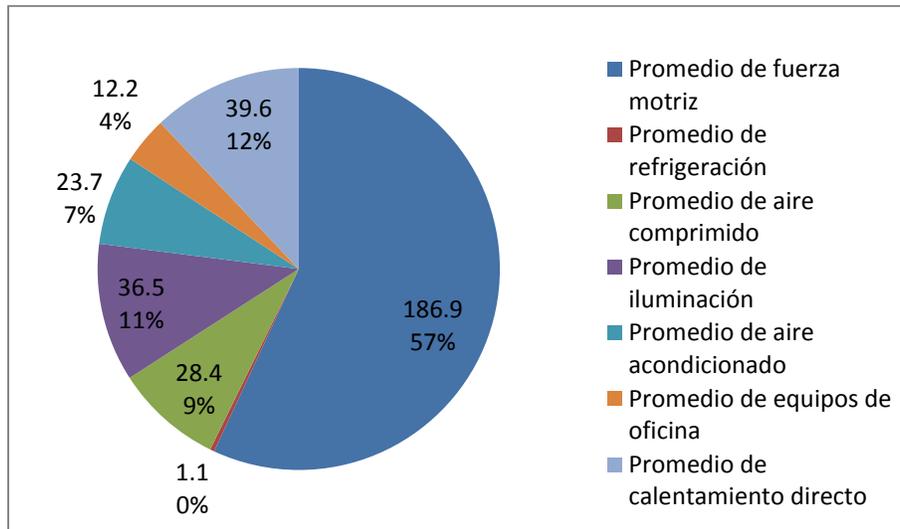
La alta variabilidad de consumos específicos también se presenta cuando la producción se reporta en unidades de productos como se puede observar en la Figura 82, donde el consumo específico de energía eléctrica tiene una mediana de 0,033 kWh/unidad, pero con un amplio intervalo de variabilidad que alcanzan valores tan bajos como 0,0025 y tan altos como 0,1 kWh/unidad, debido principalmente a la variedad de especificaciones que presentan los productos finales de este subsector.



**Figura 82. Consumo específico de energía eléctrica en el sector impresión CIU 18 con base en unidades de producción**

La energía eléctrica en el sector de impresión se usa principalmente en la generación de fuerza motriz, principalmente para transmisión de potencia en máquinas de impresión y corte, seguido de lejos por el calentamiento directo, la iluminación y el aire comprimido, tal como se muestra en la Figura 83. El calentamiento directo por resistencias eléctricas o por lámparas ultravioleta es

importante en empresas de este sector, sobre todo aquellas donde se realizan acabados al material impreso, mientras que la iluminación es un factor clave en algunos procesos de impresión donde la detección de defectos o el índice de rendición de color son esenciales para garantizar la calidad del producto final. El uso de aire acondicionado se presenta en algunos procesos donde es indispensable mantener la temperatura y la humedad del aire en niveles controlados, mientras que los equipos de oficina representados en computadores y UPS tienen un alto factor de utilización en las labores de diseño de los productos.



**Figura 83. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector de impresión CIU 18 (MWh)**

#### 4 ANÁLISIS DEL ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS USADAS EN LAS EMPRESAS VISITADAS

En este ítem se hace una descripción y caracterización de las tecnologías que son empleadas para el procesamiento de material en cada una de los sectores estudiados; uso del vapor, calentamiento directo, fuerza motriz, refrigeración, aire acondicionado, aire comprimido, secado, iluminación y sistemas de cogeneración. La elaboración de las gráficas y tortas se realizó con base en los inventarios de equipos suministrada por las empresas, de la lectura de las placas de identificación y por medición directa durante la realización de las visitas.

Los valores reportados y el estado de las tecnologías corresponden al análisis de 210 empresas de un total de 210 empresas intervenidas en visitas y encuestas, por lo que las distribuciones y magnitudes corresponden al 100% del diseño muestral propuesto. A continuación, se hace un análisis general del estado las tecnologías medulares en los sectores estudiados: estos son el uso del vapor, fuerza motriz, aire comprimido y refrigeración, y que son los que mayor demanda de energía presentan. En el anexo 5 se presentan fotografías del estado de las tecnologías encontradas en vapor, aire comprimido, motores eléctricos.

#### 4.1 VAPOR

En las industrias objeto del estudio del proyecto, el vapor se utiliza en los sectores de alimentos, bebidas, textiles y papel principalmente. Para un universo de 210 empresas analizadas se encontró que 116 de estas tiene instalado por lo menos una caldera y un sistema de distribución de vapor para procesos de calentamiento a temperaturas menores de 130°C y para uso directo en el producto. En la Figura 84 se encuentra que el tipo de caldera más utilizado en la industria son las calderas pirotubulares, con el 73.8% de la población de calderas (161 calderas), seguido por las calderas acuotubulares con el 22% (48 calderas).

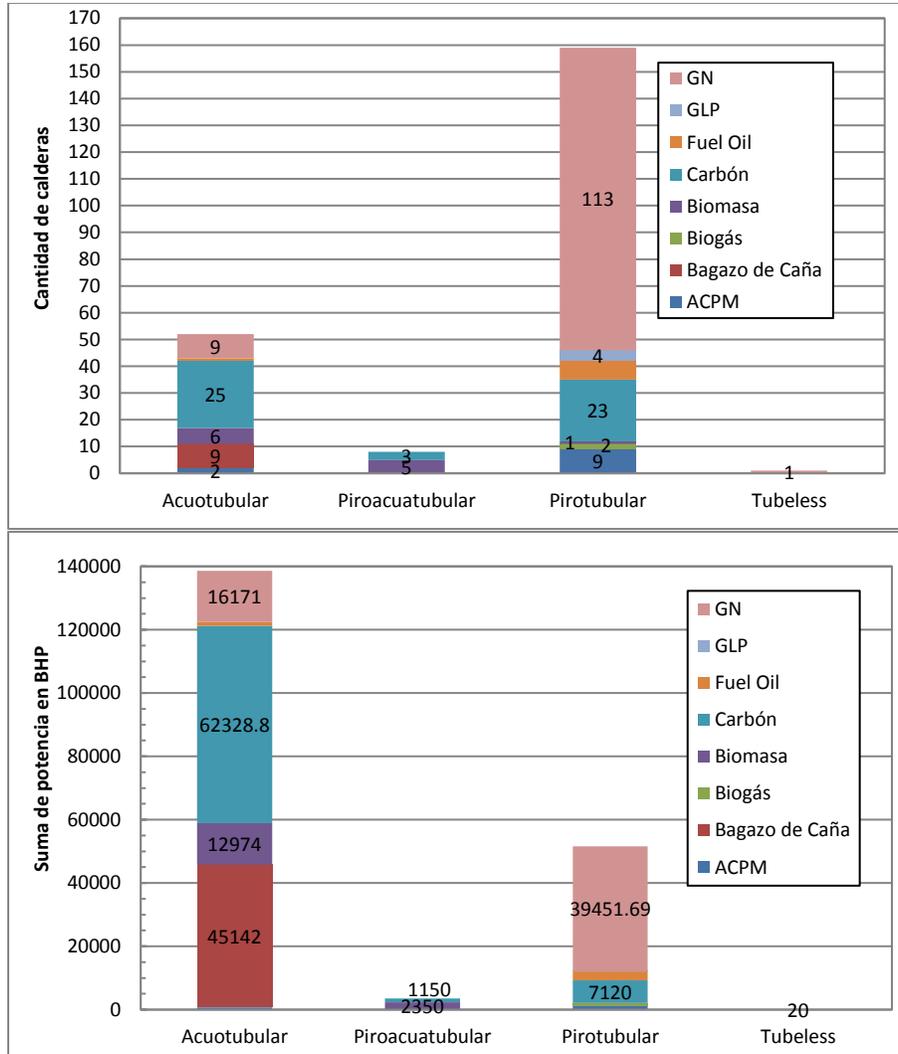


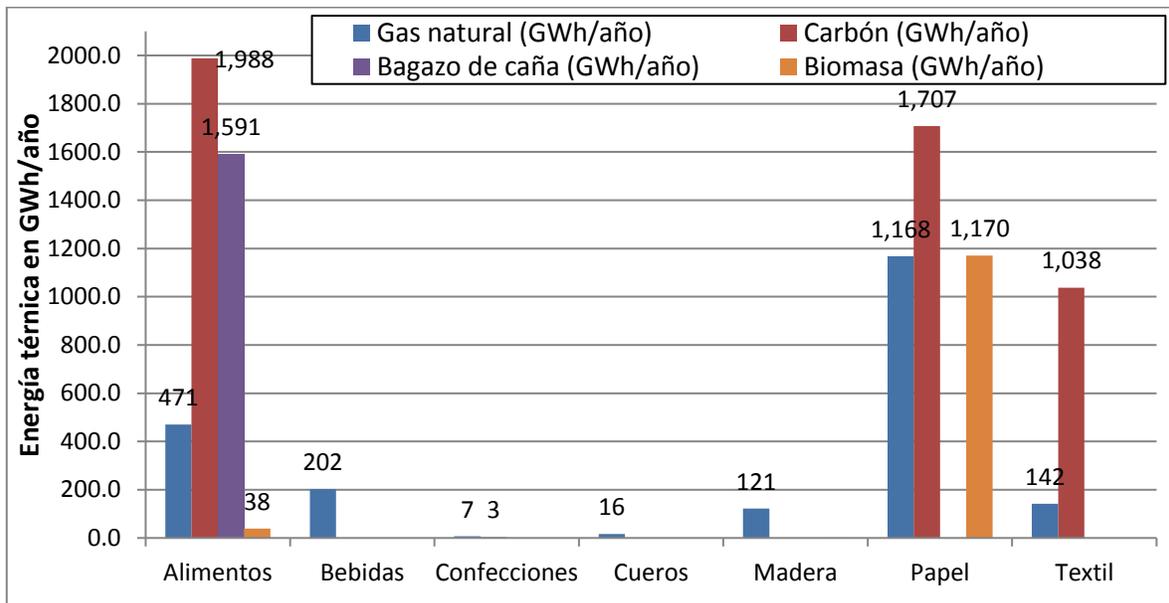
Figura 84 Uso de combustible y tipo de calderas usados en los sectores industriales estudiados

## USO DE COMBUSTIBLE

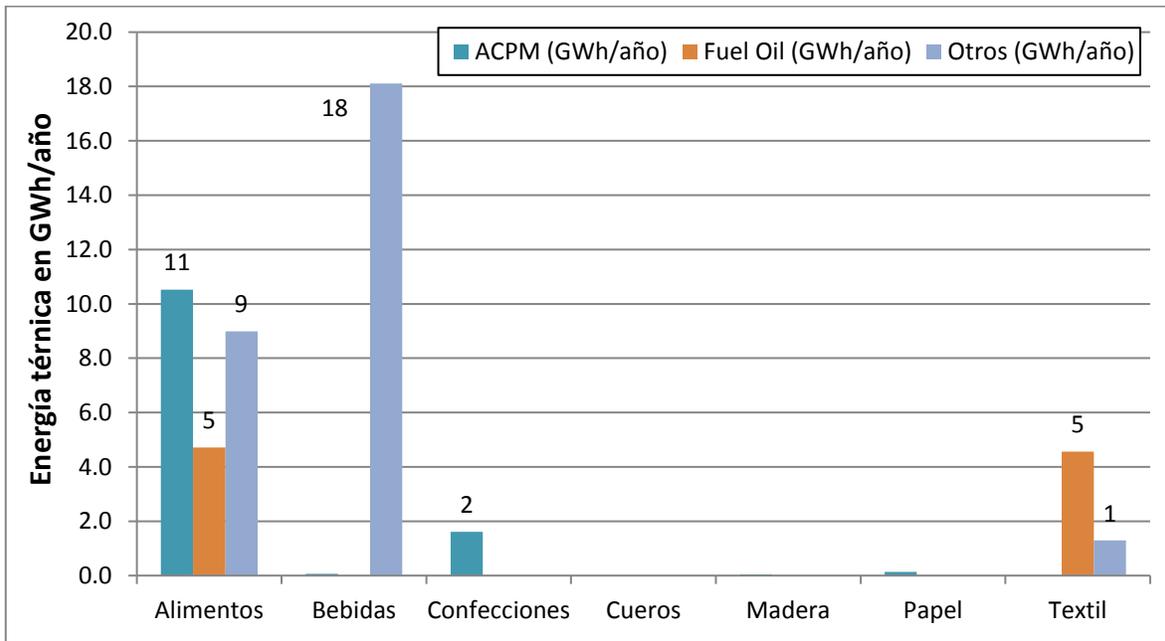
Respecto al uso de combustible, el 56% de las calderas utiliza gas natural (123 calderas) como fuente de energía, seguido por el carbón mineral con el 22% (48 calderas), y la biomasa con el 9.6% (21 calderas). En menor proporción están los combustibles líquidos como el ACPM y el fuel Oil, que son utilizados como combustibles de reserva ante un eventual fallo en el suministro del gas natural. Sin embargo en la región Suroccidental del país, es predominante el uso de carbón mineral y biomasa como combustible en calderas acuatubulares. Lo anterior es debido a que en dicha región se encuentran las grandes industrias de producción de azúcar (CIU 107) y papel (CIU 170) del país.

En las grandes industrias de alimentos y bebidas, se encontró que se está comenzando a utilizar, o se tiene como proyecto de mediano plazo, utilizar el biogás producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales para la generación de vapor, aunque la capacidad de generación de vapor es menor a la producción neta de biogás en la planta.

En la Figura 85 y Figura 86 se presenta la cantidad de energía destinada a la producción de vapor por sector industrial y por tipo de combustible. Para los sectores que demandan más vapor; alimentos, papel y textil se encuentra que el uso de carbón es predominante sobre el gas natural y el bagazo de caña, principalmente en el sector textil donde es empleado en sistemas de cogeneración.



**Figura 85 Energía destinada a producción de vapor según el combustible**



**Figura 86 Energía destinada a producción de vapor según el combustible**

En el sector de alimentos, el carbón es utilizado principalmente en grandes ingenios azucareros en la región suroeste del país. Esto es debido a que varios ingenios intercambian o venden el bagazo de caña a las empresas papeleras. El bagazo de caña es usado como materia prima básica para la elaboración de papel. Y a cambio, queman carbón para suplir la demanda de energía térmica en su proceso.

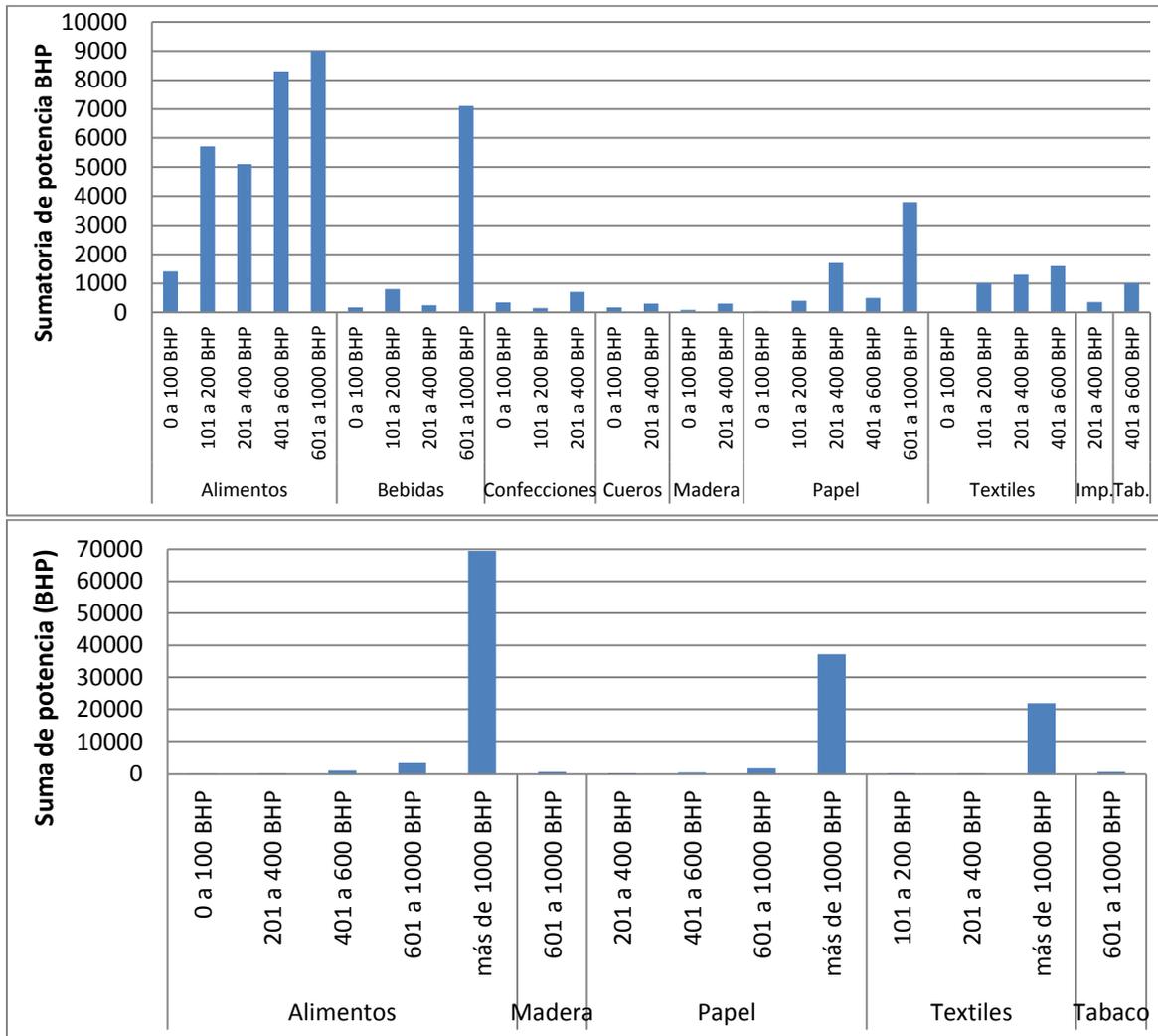
### CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE VAPOR

En la Figura 87 se muestra la capacidad instalada en calderas según el rango de potencia y sector industrial. Para calderas pirotubulares y acuatubulares que son las más representativas en la industria. Si se observa desde el punto de vista de la potencia instalada, las calderas acuatubulares son las que mayor capacidad instalada presentan, principalmente en los sectores de alimentos (subsector de producción de azúcar), papel y textiles, con una potencia media de 2400BHP, 3000BHP y 2700BHP respectivamente. Este tipo de calderas utiliza principalmente como combustible carbón mineral y biomasa (Bagazo de caña, y residuos de palma de aceite). Sin embargo, las variaciones por sector son significativas debido a la diferencia en el tamaño de las empresas. En la tabla F del anexo 4 se muestra la cantidad de calderas acuatubulares intervenidas según el rango de potencia y sector industrial.

En las calderas pirotubulares el rango de potencia más frecuente es entre 200 BHP a 900 BHP, siendo 1000BHP la potencia máxima encontrada para este tipo. Las calderas pirotubulares son utilizadas en todos los sectores industriales y el tipo de combustible más común es el gas natural, siendo los sectores de alimentos con 75 calderas, bebidas con 21 calderas y papel con 13 unidades las industrias que más utilizan este tipo de caldera. Lo anterior es acorde a lo hallado en el estudio de caracterización industrial de calderas en Estados Unidos de 2005, en Perú en el año 2000 y en Chile

en el año 2012 que muestra valores similares para los mismos tipos de industrias [2],[3] y [4]. En la tabla E del anexo 4 se muestra la cantidad de calderas pirotubulares intervenidas según el rango de potencia y sector industrial

En menor proporción se encontraron otros tipos de calderas, como la piroacuatubular que es un híbrido entre piro y acuatubular. Las tipo tubeless, son calderas de baja capacidad, menores a 100 BHP diseñadas para el sector comercial y son usadas por algunas empresas pequeñas [5].



**Figura 87 Capacidad instalada según el sector industrial y rango de potencia. Arriba caldera pirotubular, abajo caldera acuatubular**

## EDAD DE LAS CALDERAS

Respecto a la edad de las calderas, en la

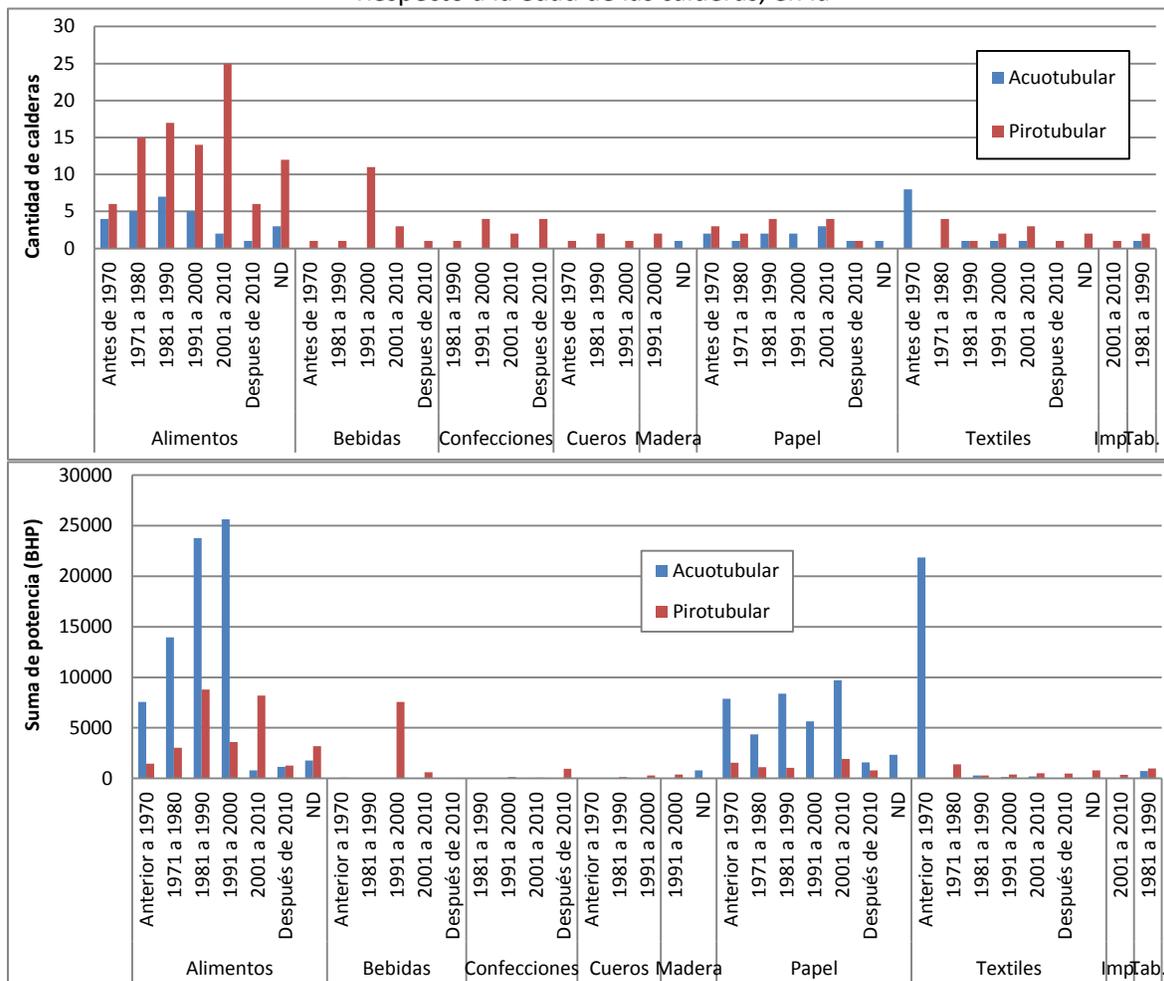
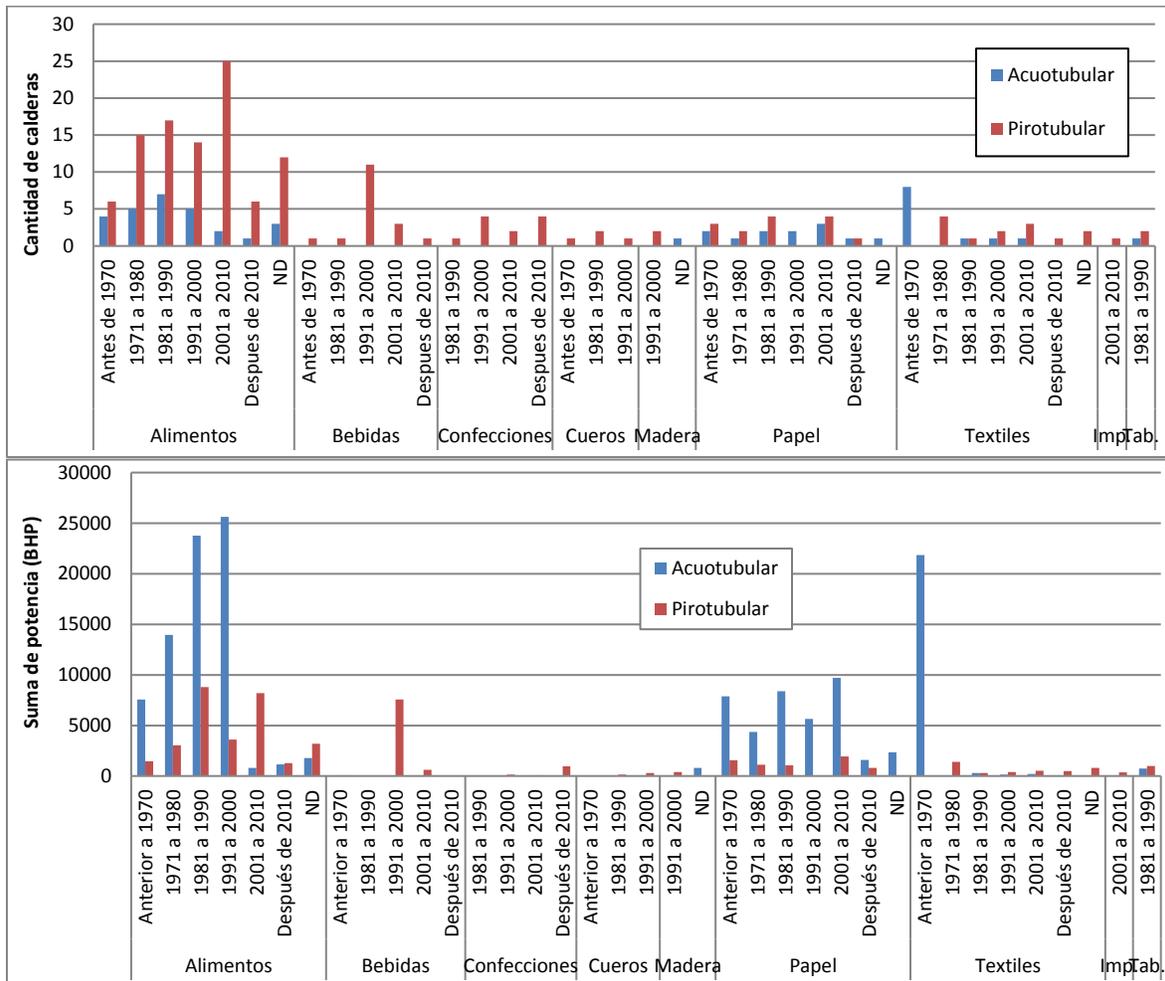


Figura 88 se muestra la distribución de las calderas por edad, sector y por tipo. En promedio tienen un tiempo de servicio de 23 años, aunque se encontraron casos de calderas que están en servicio desde 1948 y otros donde la caldera tenía menos de un año de operación. También se encontró que entre menor sea la potencia de la caldera, esta es relativamente más nueva, y para las calderas de mayor potencia y acuatubulares el tiempo de servicio es superior a los 23 años. En general, las empresas grandes cambian las calderas en promedio cada 23 años, siendo el criterio de cambio cuando la integridad estructural de la misma está en riesgo, es decir, que solo cambian de caldera cuando esta representa problemas insalvables de corrosión y/o sellamiento de tubos. El criterio de eficiencia energética de la caldera no es considerado para el cambio de la misma. Las empresas medianas y pequeñas tienden a adquirir las calderas de segunda mano, con más de 10 años de servicio.



**Figura 88 Distribución de la edad de las calderas según el tipo y sector industrial. Arriba cantidad, abajo capacidad instalada.**

En la Figura 89 se compara el aspecto de una caldera nueva respecto a una caldera con más de 20 años de servicio y con varios tipos de repotenciaci3n.



**Figura 89 Comparación entre calderas recientes y viejas**

Las modificaciones y repotenciaciones que se realizan, son en su mayoría para adaptarlas a un combustible en específico. Bien sea para cambiarlas de combustible líquido o sólido a gas natural, o para convertirlas de combustible líquido a sólido. Salvo algunas excepciones, no se evidenció que se realizaran trabajos de instalación de quemadores eficientes y de bajas emisiones de NO<sub>x</sub>, sistemas de monitoreo en línea de los gases de combustión (control de la combustión por oxígeno o *trim* de oxígeno) e instalación de economizadores. La gran mayoría de las calderas censadas son de fabricación nacional de las marcas Distral, Colmáquinas y Calderas JCT. Las calderas de fabricación extranjera censadas son de la marca BOSH y Fulton.

### **CONTROL DE LA COMBUSTIÓN Y EFICIENCIA**

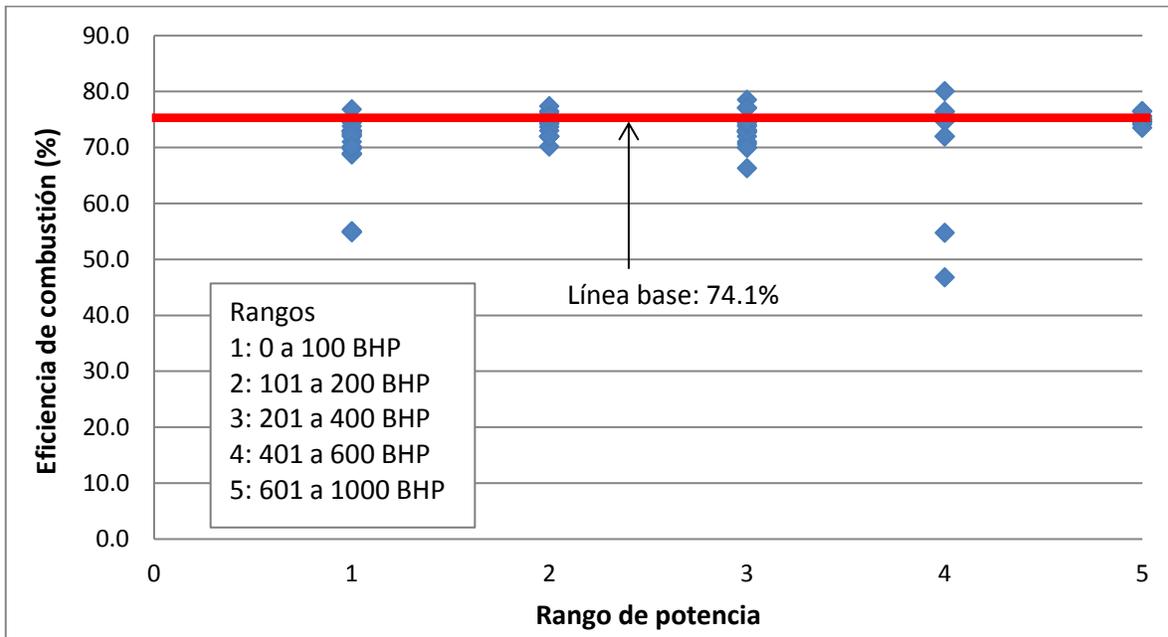
En la Tabla 5 se presenta la síntesis del análisis de combustión que se realizó en las calderas. Se presenta según el tipo de combustible y tipo de caldera, cuál es el valor del exceso de aire promedio que presentan y la temperatura de salida de los gases de chimenea, aunque es de aclarar que la variación del exceso de aire entre una empresa y otra es muy significativo. Tal es el caso de las calderas de gas natural, donde se encontró que en promedio el exceso de aire es de 38% pero se presentan casos donde el exceso de aire es superior al 100%. Esto quiere decir que se encontraron empresas con valores por encima de 100% y empresas con exceso de solo 10%. Para el caso del carbón, la variación del exceso de aire es de  $\pm 100$  y se sitúa en promedio en 101%. Si bien en las empresas manifiestan hacer de manera periódica la calibración de la combustión de las calderas, lo anterior evidencia un potencial de ahorro de energía por ajuste del exceso de aire, que es aproximadamente un incremento del 1% en la eficiencia por la reducción de 15% en el exceso del aire o reducción en 4,40°C la temperatura a la salida de la caldera de los gases de combustión [6].

**Tabla 5 Distribución del exceso de aire de combustión en las calderas**

Tipo de caldera	Promedio de exceso de aire %	Máximo exceso de aire %	Mínimo exceso de aire %
<b>Acuatubular</b>	<b>59.62</b>	<b>249.53</b>	<b>6.21</b>
ACPM	55.25	55.25	55.25
Bagazo de Caña	91.28	171.40	10.70
Biomasa	78.00	140.00	40.00
Carbón	62.60	249.53	6.70
Fuel Oil	50.00	50.00	50.00
Gas Natural	18.28	25.00	6.21
<b>Piroacuatubular</b>	<b>160.58</b>	<b>224.00</b>	<b>40.00</b>
Biomasa	168.40	224.00	85.00
Carbón	147.53	221.00	40.00
<b>Pirotubular</b>	<b>51.36</b>	<b>255.00</b>	<b>0.00</b>
ACPM	80.84	105.05	40.00
Biogás	26.10	30.20	22.00
Biomasa	200.00	200.00	200.00
Carbón	81.77	255.00	4.77
Fuel Oil	73.66	160.00	7.00
GLP	67.58	89.50	23.72
Gas Natural	39.86	199.00	0.00
<b>Tubeless</b>	<b>52.00</b>	<b>52.00</b>	<b>52.00</b>
Gas Natural	52.00	52.00	52.00
<b>Total general</b>	<b>57.89</b>	<b>255.00</b>	<b>0.00</b>

La medición de la eficiencia de combustión en las calderas se determinó mediante el uso de analizadores de gases de combustión portátiles de la marca BACHARACH referencia PCA3 que calculan la eficiencia de combustión de acuerdo a la norma EN50379 y se reporta con base al poder calorífico superior. El instrumento se instala en el puerto de medición de la chimenea de la caldera durante un intervalo de tiempo entre 10 minutos y 30 minutos.

En la Figura 90 se muestra la eficiencia de combustión para las calderas pirotubulares de gas natural con base al poder calorífico superior ( $10.5 \text{ kWh/m}^3$ ). El rango de potencia es el siguiente; rango 1 corresponde a calderas menores de 100 BHP, rango 2 a calderas entre 101 BHP y 200 BHP, rango 3 a calderas entre 201 BHP y 400 BHP y rango 4 a calderas de potencia mayor a 401 BHP.



**Figura 90 Eficiencia de combustión de calderas pirotubulares de gas natural con base al poder calorífico superior.**

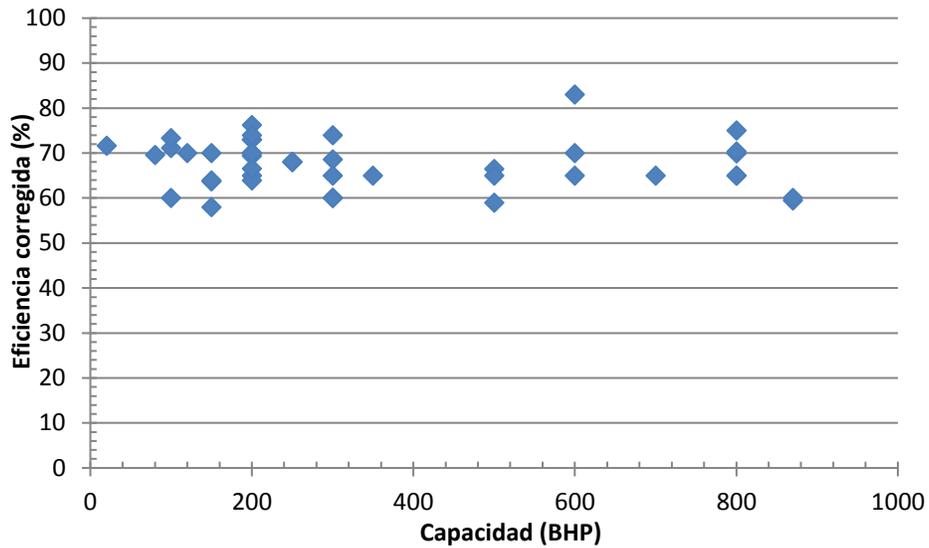
En la Tabla 6 se muestra la eficiencia base de combustión con base al poder calorífico superior para cada rango de potencia de las calderas pirotubulares a gas natural. Por rangos la eficiencia de combustión no varía y se centra en 74.1%.

**Tabla 6 Eficiencias de combustión base para calderas pirotubulares de gas natural**

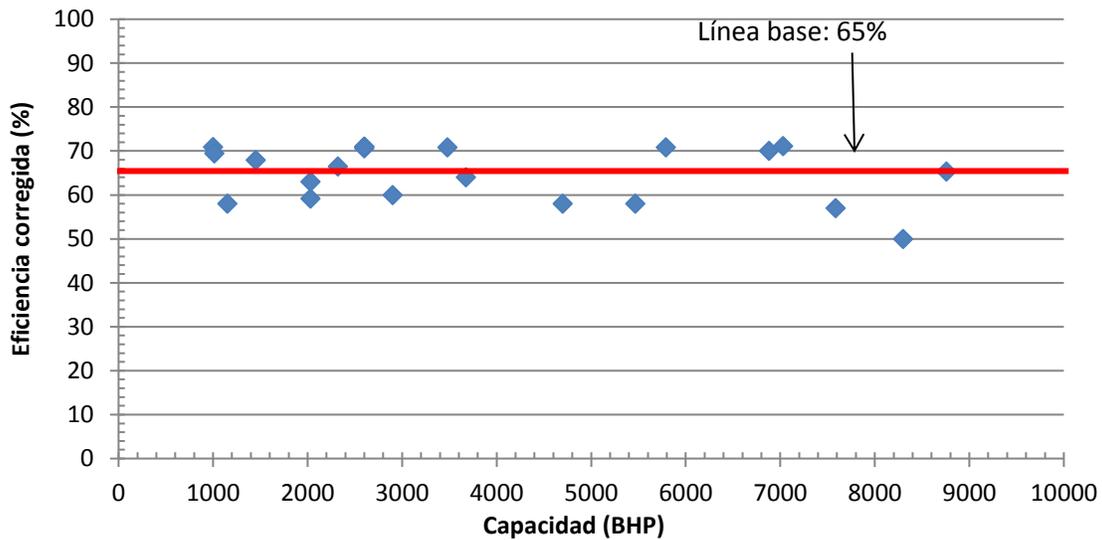
Rango potencia	Rango potencia	Mediana	Promedio
1	Menor a 100 BHP	72,12	69,72
2	101 a 200 BHP	74,32	73,90
3	201 a 400 BHP	73,80	73,39
4	401 a 600 BHP	74,81	70,72
5	601 a 1000 BHP	74,97	75,01

Poder calorífico superior: 10.5 kWh/m<sup>3</sup>

Con respecto al valor de la eficiencia de las calderas acuotubulares y de combustible sólido, se midió la eficiencia de la combustión a este grupo de calderas, las cuales fueron corregidas para tener en cuenta pérdidas por paredes y pérdidas por inquemados, ver Figura 91 y Figura 92. Al valor de la eficiencia de la combustión se le restó 5 puntos debido a pérdidas por paredes y se le resto otros puntos por generación de inquemados de acuerdo con la tecnología, de la siguiente manera: 5 puntos si la tecnología es carbón pulverizado, 10 puntos si es parrilla móvil y 15 puntos si es parrilla fija; con lo cual se calculó una eficiencia corregida que se presenta en las Figura 91 y Figura 92.



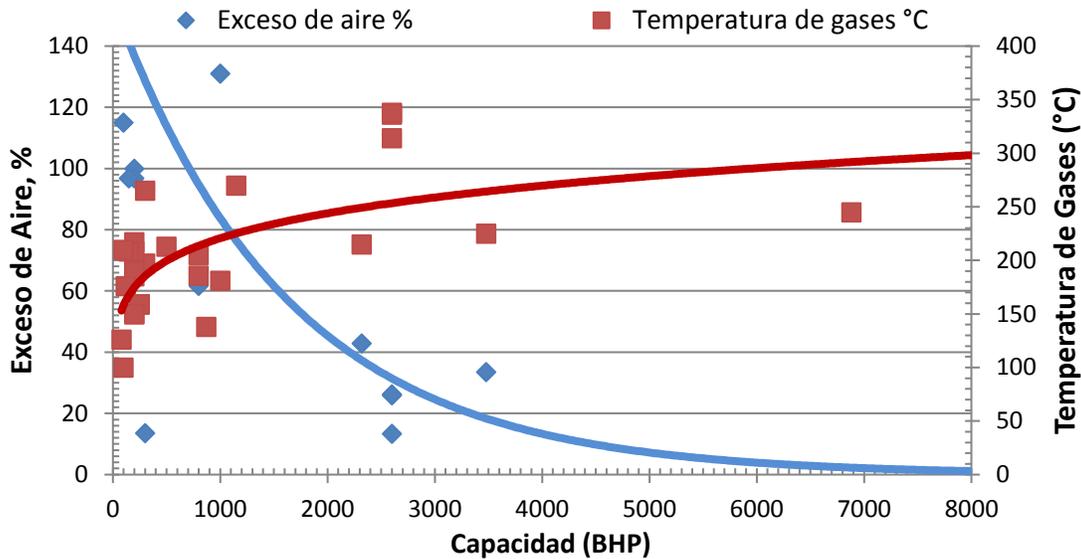
**Figura 91. Línea base para calderas de combustible sólido inferiores a 1000 BHP**



**Figura 92. Línea base para caldera de combustible sólido superiores a 1000 BHP**

Con base en la Figura 91, se observa que las calderas pequeñas poseen una eficiencia menor al 76%, por lo tanto, se escogió este valor como la línea base. Entre tanto, para las calderas superiores a 1000 BHP se estableció una línea base del 65%. La diferencia entre las dos líneas base reside en la forma de operar las calderas; puesto que las calderas de gran tamaño las operan con menor exceso de aire, pero la temperatura de los gases es ligeramente superior, ver Figura 93, lo cual explica que

las caldera con capacidad superior a 1000 BHP presenten eficiencias ligeramente inferiores a las de menor tamaño.



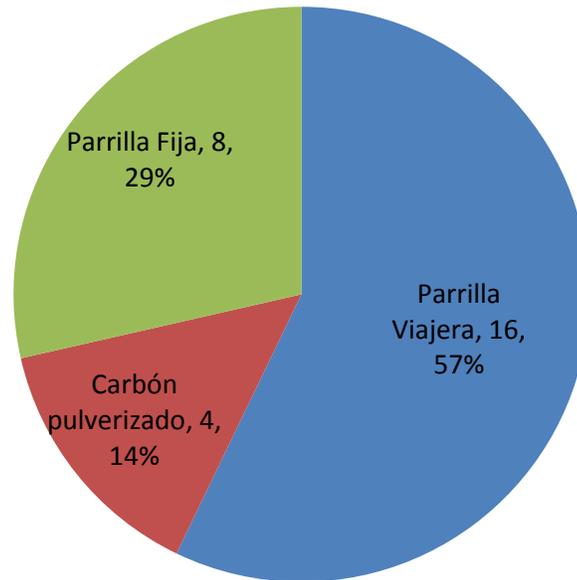
**Figura 93. Exceso de aire y temperatura de gases de combustión según la capacidad en calderas de combustible sólido.**

El comportamiento que se aprecia en las Figura 91 y Figura 92, las cuales se respaldan con la Figura 93, hace pensar que es posible definir dos tipos de programas. Uno de ellos dedicado a tratar las calderas inferiores a 1000 BHP, la cual podría ser un programa de eficiencia energética sólido y el otro dedicado a las calderas superiores a 1000 BHP, basado en sustitución de las calderas existente por otras tecnología basadas en lecho fluidizado.

Con respecto a la muestra analizada de calderas acuatubulares y de combustible sólido, se deduce, que para la capacidad instalada de generación de vapor en las empresas con calderas de gran tamaño superiores a 1000 BHP, la tecnología utilizada es la de carbón Pulverizado (PC) y parrilla móvil, ver Figura 94. De otro lado, las empresas que poseen calderas con capacidad inferior a 1000 BHP la tecnología que implementan puede ser de parrilla móviles o fijas, aún existen entre ellas tecnologías con alimentación manual, lo cual genera gran cantidad de inquemados, insuficiencias en la distribución de aire, lo cual provoca pérdidas de eficiencia [7].

En la Figura 94, se presenta la distribución del tipo de sistema de alimentación 23 calderas superiores a 1000 BHP. Se muestra que el mecanismo de alimentación de parrilla viajera cuenta con el 48% de participación equivalente a 11 calderas del diseño muestral. Se evidencia una participación rezagada del sistema obsoleto de parrilla fija con un 35% de participación de 8 calderas. El 17% de la capacidad de generación en parte de los sectores aquí mencionados utilizan Calderas de carbón Pulverizado (PC), las cuales requieren energía para obtener granulometrías de carbón del orden de 180 micras.

El otro 66% de la capacidad instalada en generación de vapor en calderas inferiores a 1000 BHP son de parrilla móvil, las cuales usan carbones con distribución no uniforme de tamaños que en promedio podría ser de 5 cm de diámetro equivalente, lo cual genera inquemados, mala distribución del aire y por ende pérdida de eficiencia.



**Figura 94 Participación del tipo de tecnologías de acuerdo con la capacidad de generación de vapor expresada en BHP para el conjunto de 23 calderas superiores a 1000 BHP.**

En este sentido estos tipos de calderas generan inquemados, emisiones de NOx y SOx superiores a las que se lograría con las calderas de lecho fluidizado. Por consiguiente, es importante emprender un programa encaminado a la sustitución de calderas obsoletas por nuevas caldera con tecnologías de lecho fluidizado para calderas con capacidades superiores a los 1000 BHP y para las inferiores a esta capacidad se recomienda un programa eficaz de eficiencia energética.

La temperatura de salida de los gases de combustión se muestra en la Tabla 7, según el sector industrial y según el tipo de caldera. En general las calderas acuatubulares son las que presentan mayor temperatura de salida con una media de 245°C principalmente en el sector papel, textil y madera, y para las calderas pirotubulares, la temperatura media es de 187°C, siendo mayores en los sectores de madera, textil y papel.

**Tabla 7 Distribución de la temperatura de salida de gases de combustión en las calderas**

Tipo de caldera	Promedio temperatura de gases °C	Máxima temperatura de gases °C	Mínima temperatura de gases °C
<b>Acuatubular</b>	<b>215</b>	<b>338</b>	<b>81</b>
Alimentos	186	328	81
Madera	272	272	272
Papel	215	270	151

Tipo de caldera	Promedio temperatura de gases °C	Máxima temperatura de gases °C	Mínima temperatura de gases °C
Textiles	266	338	215
<b>Piroacuaturbular</b>	<b>170</b>	<b>240</b>	<b>67</b>
Alimentos	185	240	159
Cueros	67	67	67
<b>Pirotubular</b>	<b>207</b>	<b>544</b>	<b>49</b>
Alimentos	209	544	121
Bebidas	197	351	146
Confecciones	204	250	49
Cueros	222	303	120
Madera	213	299	126
Papel	208	286	80
Textiles	201	300	120
Impresiones	163	163	163
<b>Tubeless</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
Alimentos	300	300	300
<b>Total general</b>	<b>208</b>	<b>544</b>	<b>49.2</b>

Es de notar que la mayoría de las calderas no tiene instalado un economizador para recuperar el calor. Al igual que ocurre con el exceso de aire, también se evidencia un potencial de ahorro de energía mediante la recuperación de calor con sistemas economizadores. En la Tabla 8 se compara la temperatura de salida de las calderas que tienen instalado un sistema de economizador y las que no lo tienen por sector industrial. Se encontró que la reducción de la temperatura de salida de los gases por tener instalado el economizador es de 23 °C a 32 °C. En la literatura se acepta que por cada 22 °C de reducción en los gases de combustión, la eficiencia de la caldera aumenta en 1% [6].

**Tabla 8 Comparación de temperaturas de salida de gases en calderas pirotubulares con y sin recuperación de calor.**

Tipo de caldera	Promedio temperatura de gases °C	Máxima temperatura de gases °C	Mínima temperatura de gases °C	Promedio temperatura de gases °C	Máxima temperatura de gases °C	Mínima temperatura de gases °C
	SIN recuperación de calor			CON recuperación de calor		
<b>Pirotubular</b>	<b>211</b>	<b>544</b>	<b>80</b>	<b>176</b>	<b>265</b>	<b>49</b>
Alimentos	210	544	121	200	265	160
Bebidas	209	351	146	185	196	183
Confecciones	235	250	210	49	49	49
Cueros	222	303	120	ND	ND	ND
Madera	213	299	126	ND	ND	ND
Papel	215	286	80	167	184	150
Textiles	208	300	142	120	120	120
Tabaco	190	190	190	ND	ND	ND
Impresión	163	163	163	ND	ND	ND
<b>Total general</b>	<b>211</b>	<b>544</b>	<b>80</b>	<b>176</b>	<b>265</b>	<b>49</b>

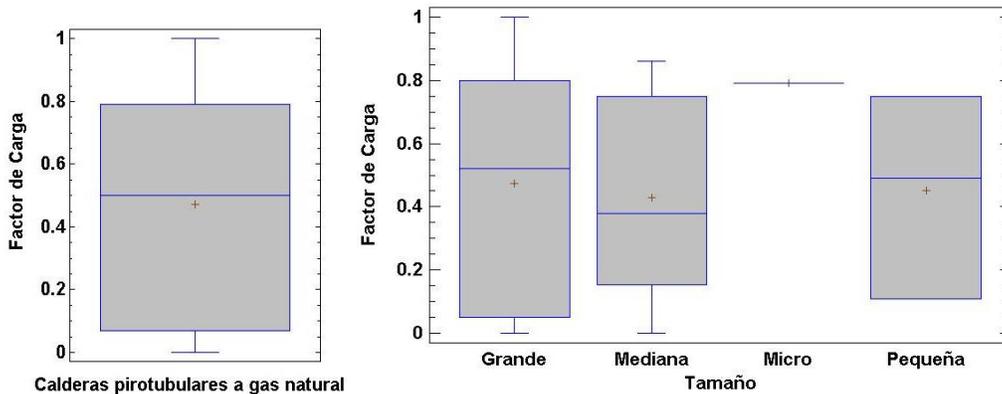
## FACTOR DE CARGA Y UTILIZACIÓN

El factor de carga de las calderas, entendido como la relación entre la producción de vapor actual respecto a la producción nominal de la calderas, es un parámetro difícil de calcular dado que muchas empresas no tienen instalado un sistema de medición del vapor generado. En la Tabla 9 se muestran los factores de carga promedio, máximo y mínimo por sector industrial que se registraron en todos los tipo de calderas.

**Tabla 9 Factor de carga de las calderas según el sector industrial**

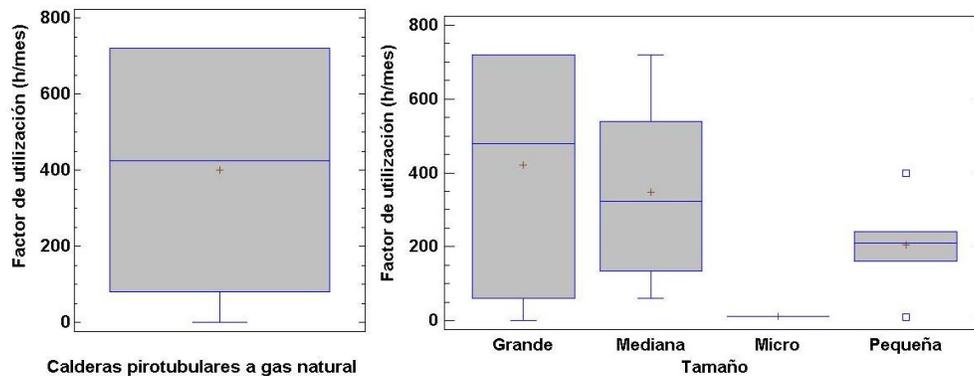
Sector industrial CIU	Promedio de factor de carga	Máximo factor de carga	Mínimo factor de carga
<b>Alimentos</b>	<b>0.47</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>
101	0.35	1.00	0.00
102	0.69	0.90	0.50
103	0.54	1.00	0.00
104	0.49	0.90	0.00
105	0.73	0.85	0.34
106	0.19	0.63	0.00
107	0.77	0.97	0.59
108	0.34	0.99	0.00
109	0.53	0.80	0.35
<b>Confecciones</b>	<b>0.25</b>	<b>0.86</b>	<b>0.00</b>
141	0.25	0.86	0.00
<b>Cueros</b>	<b>0.65</b>	<b>0.80</b>	<b>0.18</b>
151	0.65	0.80	0.18
<b>Madera</b>	<b>0.24</b>	<b>0.57</b>	<b>0.00</b>
161	0.14	0.14	0.14
162	0.28	0.57	0.00
<b>Papel</b>	<b>0.56</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>
170	0.56	1.00	0.00
<b>Textiles</b>	<b>0.33</b>	<b>0.96</b>	<b>0.00</b>
131	0.29	0.93	0.00
139	0.52	0.96	0.07
<b>Total general</b>	<b>0.46</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>

Sin embargo, si se desagrega por tipo de caldera y por tamaño de empresa, se encuentra que en las calderas pirotubulares el factor de carga promedio es menor a 0.6, tal como se muestra en la Figura 95. Siendo las empresas grandes las que presentan un factor de carga mayor.



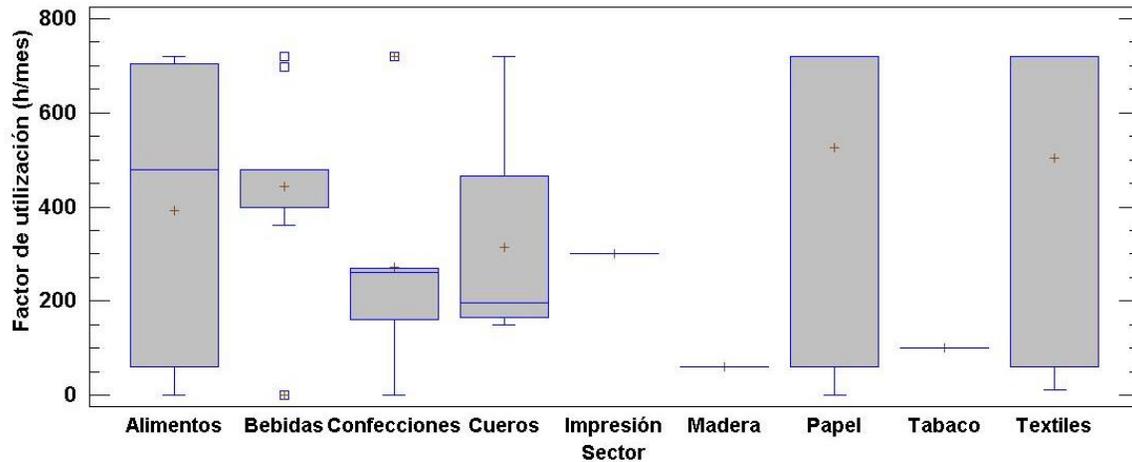
**Figura 95 Distribución factor de carga para las calderas pirotubulares a gas natural**

El factor de utilización de las calderas varía según el tamaño de la empresa. En la Figura 96 se muestra la distribución de las horas mes que operan las calderas pirotubulares a gas natural en todos los sectores industriales. Si se consideran todos los tamaños de empresa, el promedio de utilización es 400 horas mes aunque para las empresas grandes es mayor, llegando a 500 horas mes, aunque se debe tener presente que por lo general cuentan con una caldera de respaldo que van rotando cada dos meses para mantener el factor de uso similar en todas. En empresas medianas y pequeñas la caldera opera durante la jornada laboral que se extiende de 8 a 9 horas al día por 6 días a la semana.



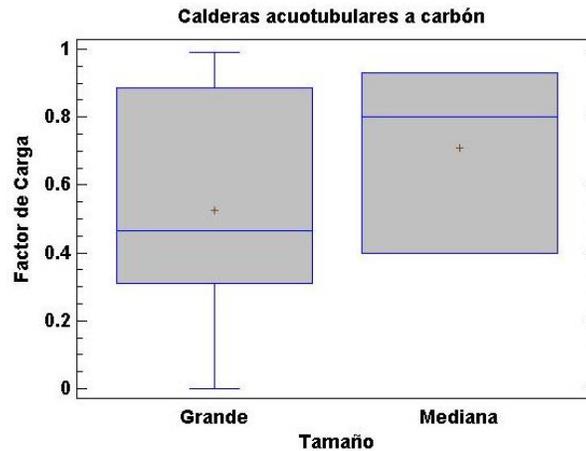
**Figura 96 Distribución factor de utilización para las calderas pirotubulares a gas natural**

En la Figura 97 se muestran las distribuciones del factor de utilización para calderas pirotubulares operando con gas natural según el sector industrial. Se encuentra que los sectores de alimentos, bebidas, papel y textiles, son los que más horas al mes utilizan las calderas. Esto porque el vapor hace parte integral del proceso.



**Figura 97 Distribución factor de utilización para las calderas pirotubulares a gas natural por sector**

Para las calderas acuotubulares a carbón el factor de carga es mayor en empresas medianas (0.8) que en las grandes (0.4). Tal como se muestra en la Figura 98. Esto se debe a que en las empresas grandes, las calderas son empleadas en sistemas de cogeneración y operan a carga parcial. Este fenómeno de operar a cargas menores al 50% es más evidente en la industria de textiles, donde el factor de carga es inferior a 0.4. Para la industria de alimentos (producción de azúcar) el factor de carga está entre 0.8 y 0.9. Ver Figura 99. El análisis detallado de los sistemas de cogeneración y la capacidad de generación y eficiencia de operación se encuentra en la parte II del informe.



**Figura 98 Factor de carga en calderas acuotubulares a carbón, según el tamaño.**

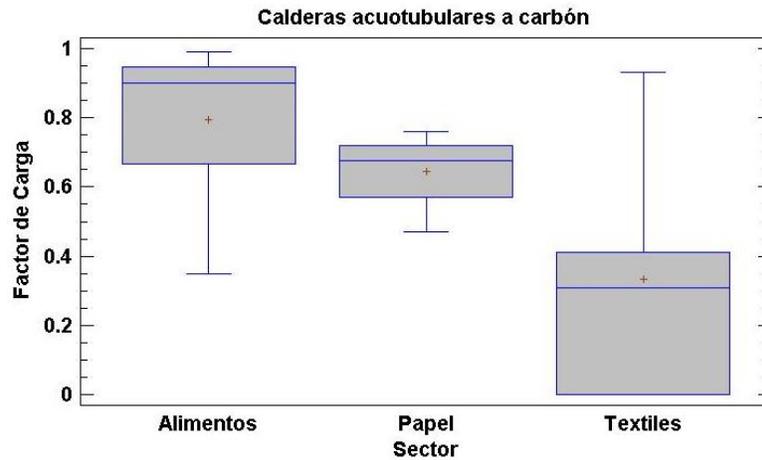


Figura 99 Factor de carga en calderas acuotubulares a carbón según sector industrial.

En la Figura 100 se presenta el factor de utilización de las calderas acuotubulares de carbón, que operan en una media de 600 a 650 horas al mes, aunque en los grandes ingenios e industrias papeleras, el tiempo de operación es completo, es decir, 720 horas al mes.

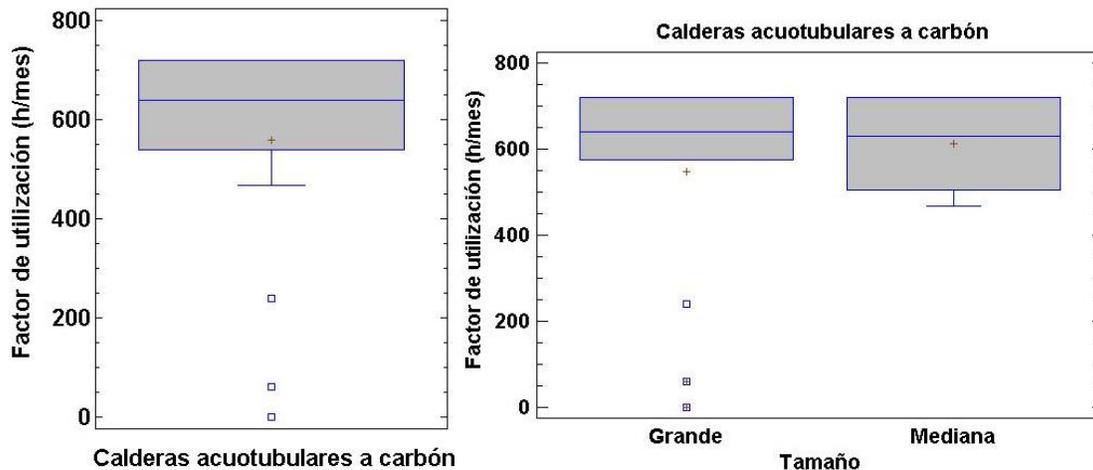


Figura 100 Factor de utilización en calderas acuotubulares a carbón según tamaño de empresa

## USOS DEL VAPOR

El uso del vapor en las diferentes industrias se muestra en la Tabla 10. El principal uso es para el calentamiento de material a temperaturas inferiores de 160°C mediante la condensación del vapor en serpentines, que a su vez calientan por convección aire o agua. Otra aplicación común que se le da al vapor es inyectarlo directamente al producto. Por lo general en el sector de alimentos se

emplea para control de humedad e hidratación [8], pero este vapor no es recuperado y gran parte se libera a la atmósfera.

**Tabla 10 Uso del vapor en los sectores industriales estudiados.**

Subsector	Código CIU	Uso	Temperatura del proceso °C
Alimentos	10	• Cocción por serpentín y calentamiento directo.	90 a 110
		• Secado y deshidratación de productos.	40 a 70
		• Empaque de producto con plásticos termo-encogibles	120 a 150
		• Pasteurización	160
		• Control de humedad	90 a 110
		• Cocción y pasteurización.	90 a 110
Bebidas	11	• Calentamiento de agua para lavado de envases.	80
		• Vapor directo para el lavado de envases.	120
		• Calentamiento de agua para el acabado.	50 a 70
Textil	13	• Calentamiento de agua para lavado de tela.	50 a 70
		• Fijado de tintas y estampados	120
Cuero	15	• Calentamiento de agua para fulones.	40 a 50
		• Calentamiento de plancha para dar textura al cuero.	50 a 80
Madera	16	• Secado	
		• Recuperación	
		• Encolado	100 a 180
		• Prensado	
		• Producción de resinas	
		• Formación, prensado y secado de papel.	
		• Fuerza motriz en turbobombas.	
		• Generación de electricidad.	

Un uso poco usual que se le da en algunas empresas del sector de alimentos, es para el empaque de producto. El vapor se usa mediante inyección directa como fuente de calor para la contracción de la película de polímero termoencogible y no se recupera el condensado. Normalmente, se utilizan resistencias eléctricas para este tipo de sistemas de empaque y más recientemente hornos de combustión de gas [9].

La eficiencia general del sistema de vapor; generación, distribución y uso se estima en alrededor del 64%, partiendo de la base de una eficiencia de caldera del 80% (85% de eficiencia de combustión menos 5% en pérdidas por paredes y purgas) y una eficiencia del 80% en el sistema de distribución y uso del vapor.

Para las aplicaciones listadas en la Tabla 10, es viable, técnicamente, sustituir dichas aplicaciones con sistemas de calentamiento directo, diseñados para cada aplicación en específico, los cuales puede ser:

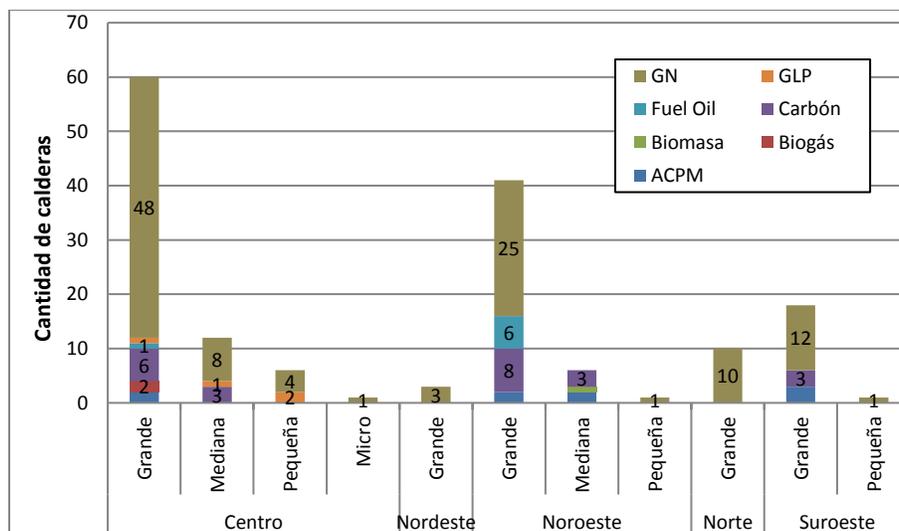
- Calentamiento por paneles radiantes
- Calentamiento por radiación infrarroja (por combustión de gas natural)
- Calentamiento por combustión directa; quemadores de alta velocidad
- Calentamiento de agua por tubos inmersos
- Bombas de calor

La eficiencia de estos sistemas de calentamiento directo es superior al 70%.

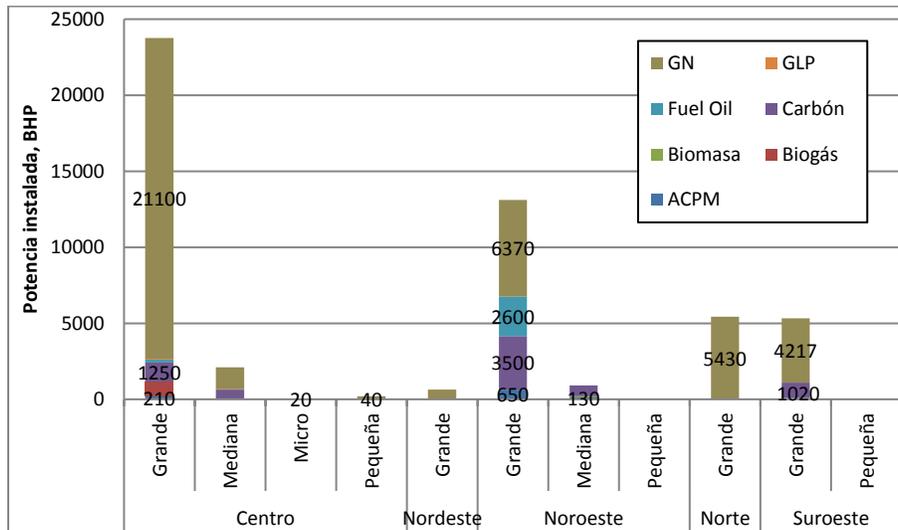
### DISTRIBUCIÓN REGIONAL DEL PARQUE DE CALDERAS

El parque de calderas censado, se encuentra principalmente en la región central, noroeste, norte y suroeste, que corresponden a las cuatro ciudades con más desarrollo industrial del país, siendo las empresas de tamaño grande y mediano las emplean este tipo de sistemas.

En la Figura 101 se ilustra la distribución de calderas pirotubulares según el tipo de combustible y tamaño de empresa. De la gráfica se encuentra que la región central concentra la mayoría de calderas, seguido por la región noroeste y suroeste. También se encuentra que el tipo de combustible más utilizado en todas las regiones es el gas natural y el que representa la mayor cantidad de potencia instalada. En la región noroeste y suroeste, el carbón se constituye el segundo combustible para caldera.

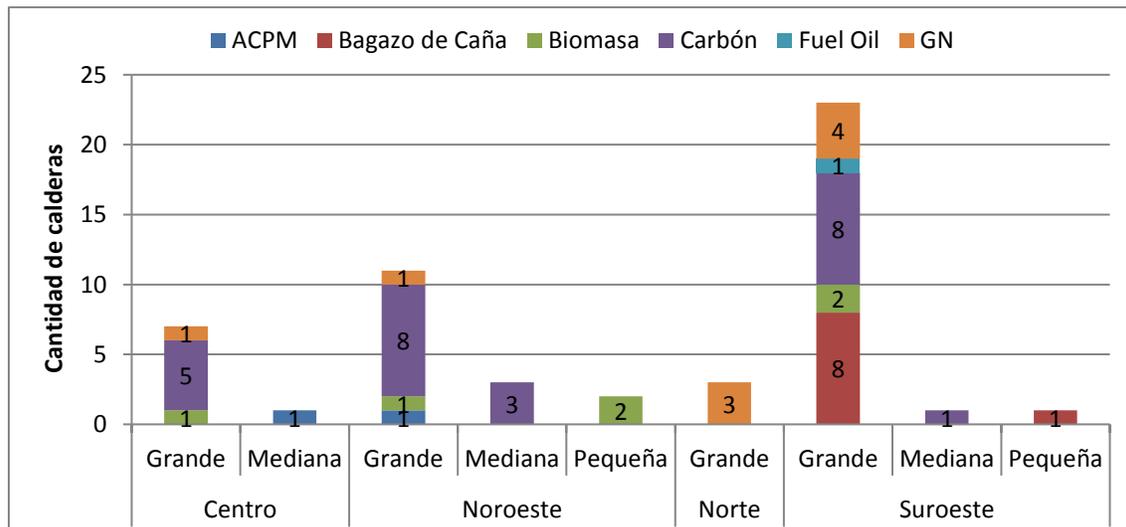


(a)

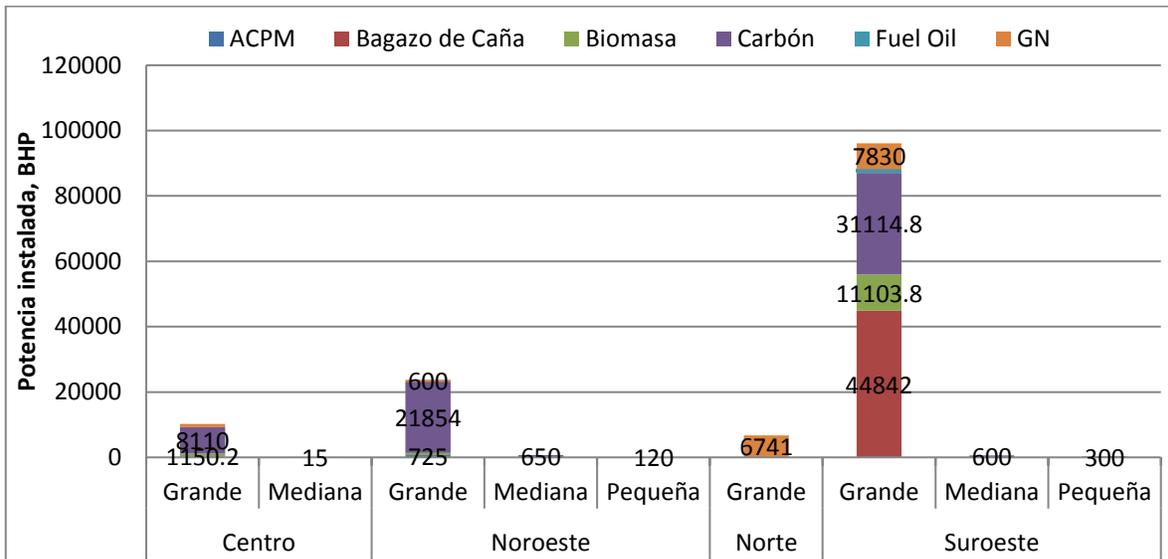


**Figura 101 Distribución regional de las calderas piro tubulares censadas según tamaño de empresa y combustible. Arriba (a) cantidad. Abajo por potencia instalada.**

En la Figura 102 se ilustra la distribución de las calderas acuatubulares en las regiones del país. Se puede encontrar que la mayoría de unidades instaladas y la mayor capacidad instalada de este tipo de calderas se concentran en la región suroeste y noroeste, siendo el carbón y el bagazo de caña los principales combustibles utilizados. La razón es que en la región suroeste se encuentran los grandes ingenios azucareros y los productores de papel que utilizan este tipo de calderas para sistemas de cogeneración con turbina de vapor. En la región noroeste se encuentran las empresas textiles que tienen instalados sistemas de cogeneración de vapor.



(a)



**Figura 102 Distribución regional de las calderas acuatubulares censadas según tamaño de empresa y combustible. Arriba (a) cantidad. Abajo por potencia instalada.**

Al comparar la Figura 85 y la Figura 102, se encuentra que hay mayor capacidad instalada o capacidad nominal de calderas que operan con bagazo de caña, sin embargo las calderas que operan con carbón se encuentran operativas y con mayores factores de carga. Por lo que el consumo en términos de energía es mayor en carbón que en bagazo de caña.

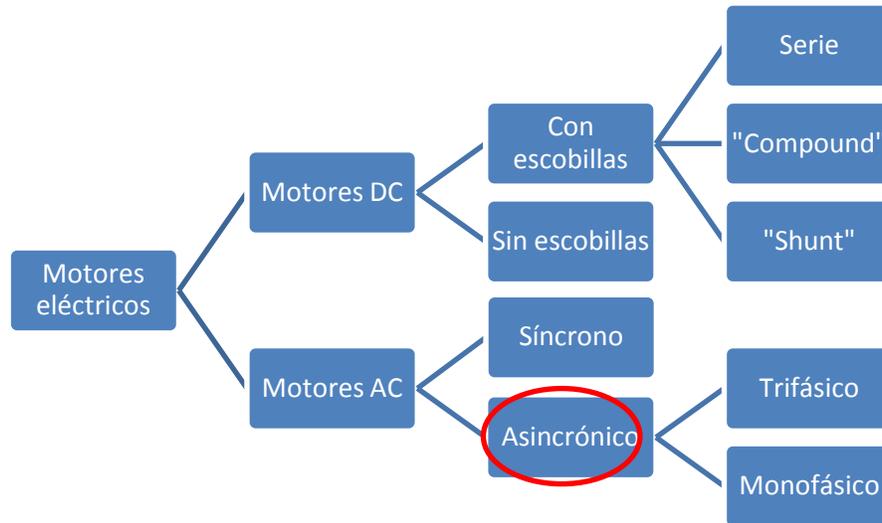
## 4.2 MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son parte fundamental del proceso de producción en cada uno de los sectores industriales y es por esto que se tomaron como objeto de estudio dentro del proyecto. En las visitas realizadas, se ha encontrado que los motores de los sectores muestreados presentan una alta obsolescencia tecnológica y sobre dimensionamiento que acarrea factores de potencia bajos, factores de carga bajos y como consecuencia un baja eficiencias comparada con la que tendrían en caso de mejorar su dimensionamiento, lo cual incide en un consumo de energía eléctrica considerable. Este consumo puede ser reducido con medidas de bajo costo, como reubicación de los motores sobre dimensionados, instalación de variadores de velocidad en cargas de relación de par velocidad variable, como ventiladores y bombas o con medidas de choque más costosas que implican el cambio tecnológico, que involucran el remplazo de los actuales motores, ya que poseen una eficiencia estándar, una considerable edad y han sido rebobinados en múltiples ocasiones, por motores de una eficiencia mayor y mejores características técnicas de operación.

Cabe resaltar que los motores eléctricos son grandes consumidores de energía eléctrica en el sector industrial, según artículos internacionales [10], [11] y como se demostrará en este documento, Colombia no es la excepción. Por medio de trabajo de campo y desarrollo de encuestas se ha determinado que de la población de motores eléctricos encontrados el 98,5% es de potencias inferiores a 125HP.

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

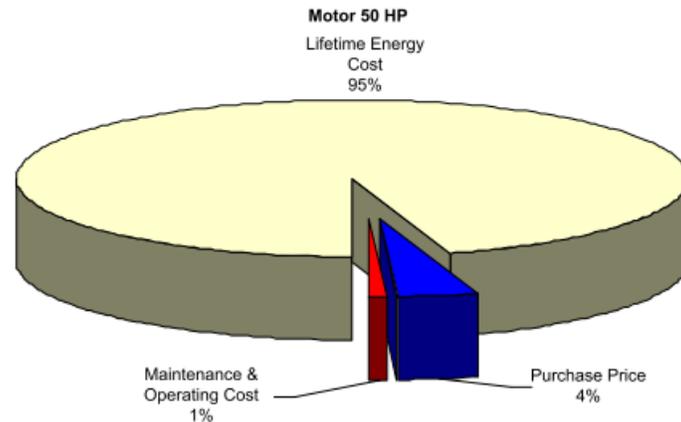
Son muchos los tipos de motores encontrados como se puede ver en la Figura 103, pero sin duda el motor asincrónico es el más utilizado.



**Figura 103 Tipos de motores eléctricos**

En general, las principales aplicaciones de los motores de la muestra son: movimiento mecánico, compresores, bombas y ventiladores. Del software MotorMaster+ international [12] se encontró que los motores pequeños (baja potencia) son menos eficientes que los motores grandes.

A pesar de ser más costosa la compra de un motor de alta eficiencia, comparada con la de uno de eficiencia estándar, se debe tener en cuenta que en casos considerables los indicadores económicos como la TIR y el tiempo de retorno de la inversión son costo efectivos, esto se debe a que los costos de adquisición de un motor solo representan un costo inferior al 16% [15] de los costos a lo largo del ciclo de vida y terminan siendo más influyentes variables como: factor de carga, horas de trabajo, eficiencia y precio de la electricidad. Ver Figura 104



**Figura 104 Distribución de costos de un motor eléctrico a lo largo de su ciclo de vida [15]**

Sin embargo, es cuestionable que los industriales muestreados del país rara vez adquieran motores de alta eficiencia y como prueba de esto, se evidencia el diminuto porcentaje que representa la cantidad de motores de alta eficiencia instalados en la empresas, el cual representa el 0,7802% de los motores de la población. Se puede concluir que las razones por las cuales el porcentaje es tan pequeño, se debe al alto desconocimiento de los increíbles potenciales de ahorro, sin contar con la paquidérmica normatividad ambiental e inmediatez de los sectores productivos, los cuales prefieren elegir el motor de más bajo costo inicial. Como se evidencia, el tema de las barreras no deja de ser un punto de convergencia.

#### 4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE DE MOTORES DE LOS SECTORES MUESTREADOS

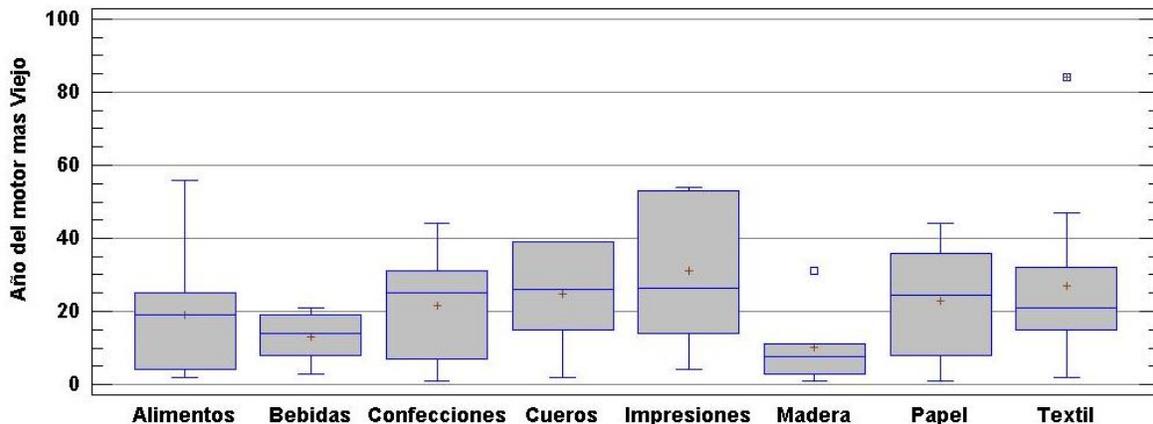
La muestra de las empresas estudiadas fue de 210, de las cuales sólo se cuenta con información completa de fuerza motriz de 191. Esto se debe a que los datos que fueron suministrados durante las visitas no fueron entregados en su totalidad, presentándose situaciones en donde las empresas no contaban con un inventario de los motores de la planta, otras se justificaron por medio de las políticas de la empresa y en algunos casos, por ser las instalaciones demasiado grandes no se logró realizar un inventario por falta de tiempo permitido en las visitas, a sabiendas que la empresa tampoco poseía un inventario de los mismos. A continuación se ilustra en la Tabla 11 la cantidad de empresas que se tuvieron en cuenta para la muestra de este análisis, desagregándolas por sectores industriales y tamaño.

**Tabla 11 Cantidad de empresas incluidas para el análisis con factores de carga promedio y edad promedio**

	Grande	Mediana	Micro	Pequeña	Total general
<b>Alimentos</b>	34	12	16	14	76
<b>Bebidas</b>	7			1	8
<b>Confecciones</b>	9	4	1	14	28

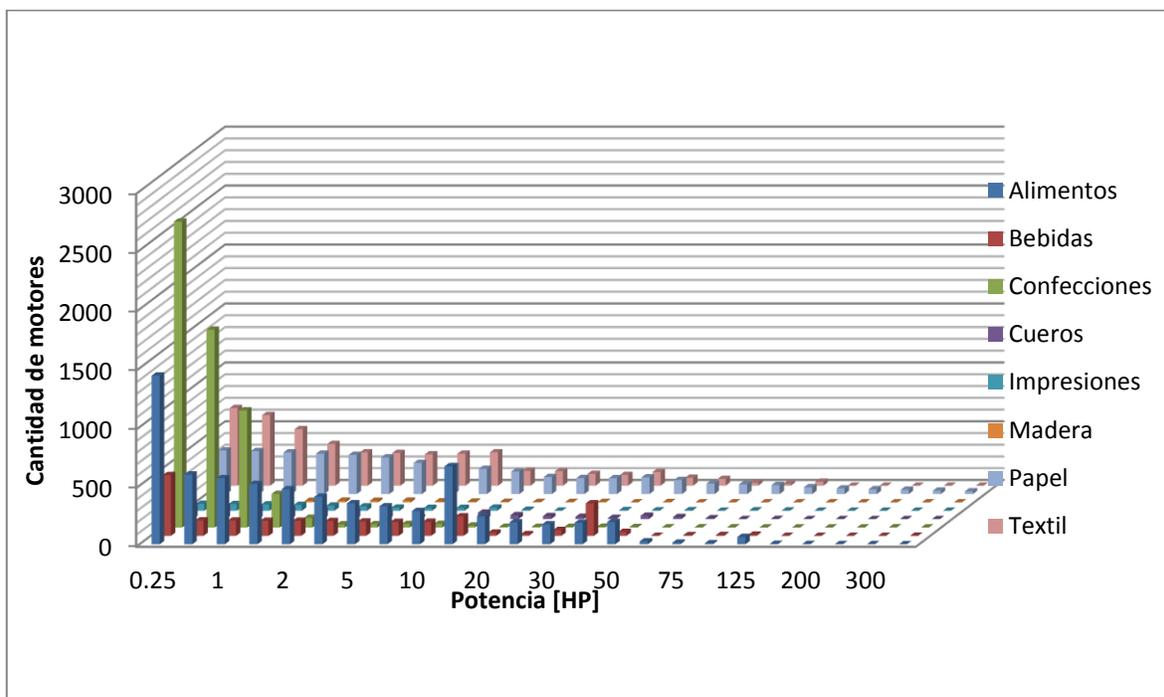
	Grande	Mediana	Micro	Pequeña	Total general
<b>Cueros</b>	2	3	1	6	12
<b>Impresiones</b>	2	5		11	18
<b>Madera</b>		1	2	2	5
<b>Maderas</b>				1	1
<b>Papel</b>	12	5		1	18
<b>Textil</b>	8	10	1	4	23
<b>Textiles</b>		1		1	2
<b>Total general</b>	74	41	21	55	191

La Figura 105 ilustra los diagramas de cajas de bigotes para las edades de los motores, donde se observa que la mediana para la mayoría de los sectores es superior a 20 años. Los motores se catalogan como viejos cuando están en los últimos años de su vida útil o han sobrepasado la misma y esto es alrededor de 20 años. Se aprecia en general cierta vejez en el parque de motores dando indicios de bajas eficiencias, penalizadas no solo por la edad, sino por la cantidad de rebobinados practicados de los cuales no se tiene registro, pues las empresas no llevan un historial. Se estima que un motor pierde a lo largo de su vida útil 4 puntos de eficiencia debido a la edad [16]



**Figura 105 Cajas de bigotes de edad de los motores**

En la Figura 106 se representa la distribución del parque de motores encontrados en los respectivos sectores. Se ha determinado que de la población de motores eléctricos encontrados el 98,5% es de potencias inferiores a 125 HP, del 1,5% restante el 96,2% se encuentra en el sector de papel. Los sectores de Alimentos y Confecciones cuentan con la mayor cantidad de motores con potencia de 0,25 HP, teniendo una total de 1438 y 2601 motores respectivamente. Los respectivos análisis de las poblaciones por sectores se encuentran en los capítulos destinados a los análisis por sectores industriales.



**Figura 106 Distribución de motores en diversas potencias para los respectivos sectores**

Para los cálculos de consumos se trabajó con datos promedio obtenidos de información capturada en las visitas, estos datos se presentan en la Tabla 12 y Tabla 13. En la Tabla 12 se observa que el factor de carga promedio de las empresas muestreadas es de 56,7%, sin embargo en la Figura 107 se observa que la mayor población de motores en los respectivos rangos de potencias tiene factores de carga entre 0,3 hasta 0,5. En la Tabla 13 se observan las horas promedio de trabajo por sectores desagregadas por tamaño.

**Tabla 12 Datos promedio de Factores de carga desagregado por sectores**

	Grande	Mediana	Micro	Pequeña	Total general
<b>Alimentos</b>	62,07%	58,40%	77,33%	76,09%	67,24%
<b>Bebidas</b>	43,58%			38,42%	42,94%
<b>Confecciones</b>	34,65%	51,29%		55,88%	47,83%
<b>Cueros</b>	53,92%	44,50%	24,06%	38,91%	41,57%
<b>Impresiones</b>	73,00%	68,67%		43,51%	53,78%
<b>Madera</b>		26,09%	62,80%	25,80%	38,18%
<b>Papel</b>	56,18%	66,93%		51,76%	59,08%
<b>Textil</b>	70,09%	46,33%	21,46%	36,91%	51,64%
<b>Total general</b>	56,91%	54,96%	70,42%	52,75%	56,77%

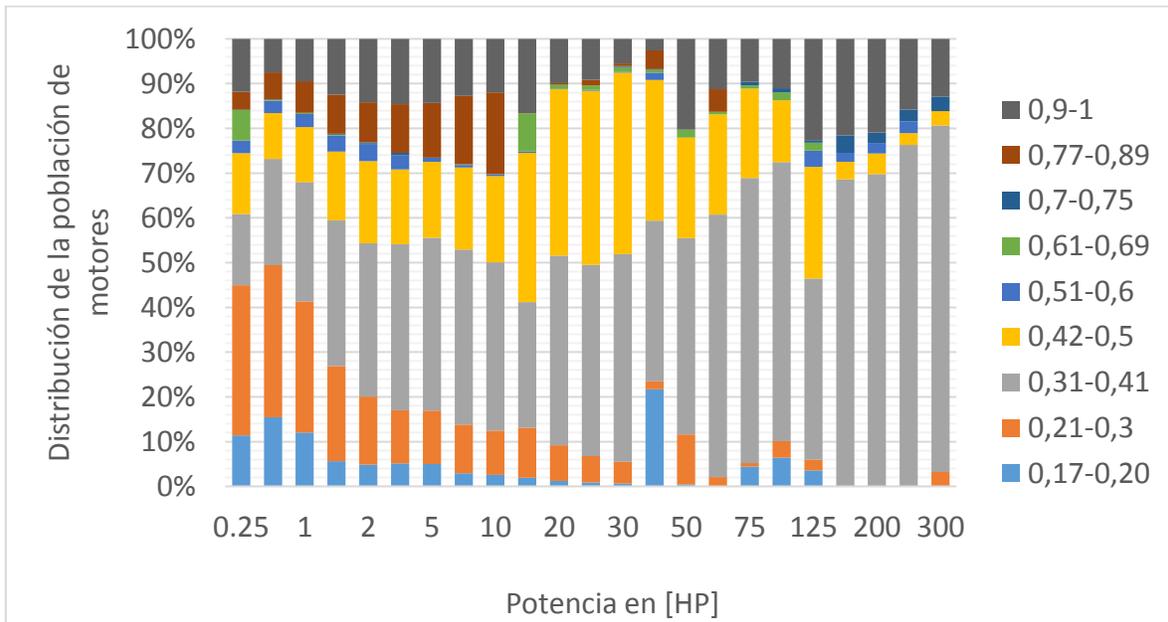


Figura 107 Distribución del factor de carga en la población de motores

Tabla 13 Horas de trabajo promedio desagregadas por sector y tamaño

Sector	Grande	Mediana	Micro	Pequeña	Total general
Alimentos	5648,0	4596,7	1417,9	2644,0	4038,1
Bebidas	6670,0			1000,0	5961,3
Confecciones	4857,7	4504,0		2374,5	3517,7
Cueros	3712,0	2688,0	2641,0	2268,3	2644,9
Impresiones	5492,0	2539,8		3844,4	3665,1
Madera		2880,0	721,5	2600,0	2020,5
Papel	7892,1	4841,6		2496,0	6744,9
Textil	6424,5	6353,8	2880,0	3044,0	5575,5
<b>Total general</b>	<b>6039,9</b>	<b>4656,6</b>	<b>1482,5</b>	<b>2775,9</b>	<b>4316,8</b>

#### 4.2.2 SISTEMAS DE BOMBEO

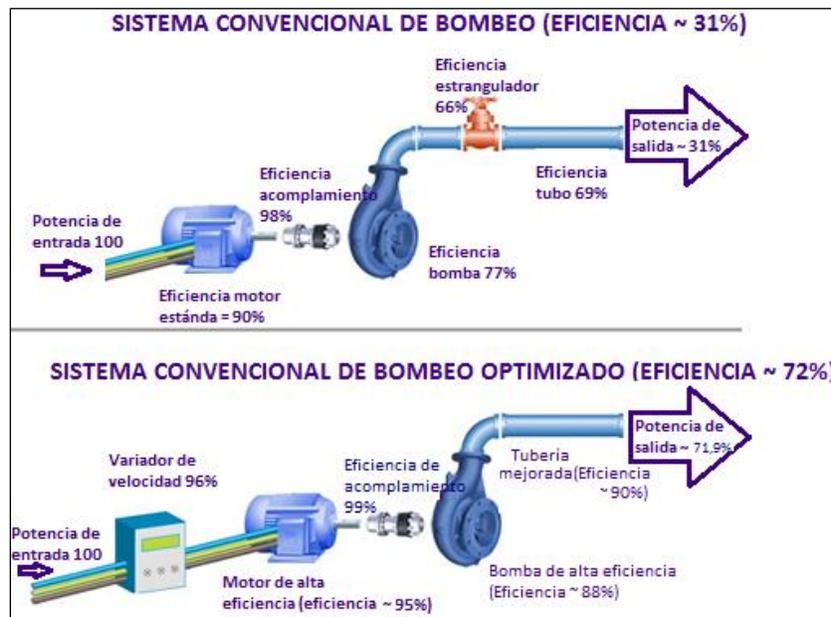
Típicamente, estos equipos requieren regulación del caudal. Hace algunos años atrás, cuando la electrónica de potencia era costosa, para regular este caudal se empleaban diversas soluciones, como:

- Control *on-off*
- Válvula de estrangulamiento

- *Bye pass*

Estas técnicas son de fácil implementación, pero a excepción de la primera, el motor de la bomba siempre está trabajando prácticamente en las mismas condiciones. La válvula de estrangulamiento es de las técnicas más utilizadas, en la Figura 108 se ilustra un pequeño ejemplo de la eficiencia de un sistema típico de bombeo usando una válvula de estrangulamiento y otro empleando las actuales tendencias tecnológicas como lo es el uso de un variador de velocidad, junto con motor de alta eficiencia y elementos eficientes aguas abajo del motor de alta eficiencia.

Se puede observar la notoria superioridad del sistema optimizado, incluso si solo se cambia la válvula de estrangulamiento por un variador de velocidad y se dejan los demás componentes estándares, la eficiencia del sistema resultante es de 45%, tomando como base el sistema 1 de la Figura 108. Sin embargo se debe ser cuidadoso ya que si se reemplaza el motor de eficiencia estándar por uno de alta eficiencia en el sistema convencional la eficiencia global del sistema resultante sería 32,7% la cual es mucho menor a la obtenida instalando un variador de velocidad (inversión más económica que un motor de alta eficiencia) en el sistema convencional de bombeo.



**Figura 108 Eficiencia de un sistema de bombeo de motor eléctrico, que muestra el ahorro del potencial de energía [19]**

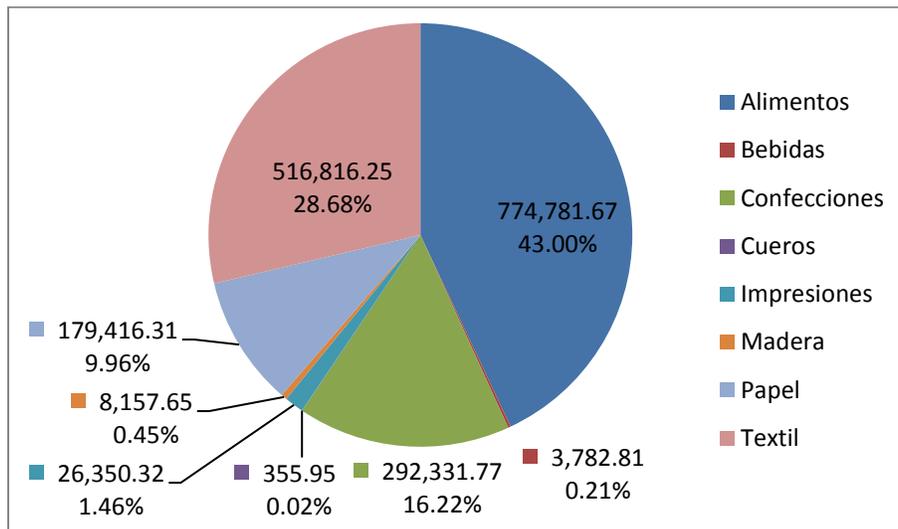
### 4.3 ILUMINACIÓN

En la muestra de las empresas estudiadas correspondiente a 210 empresas, se dispone de información completa de 178 empresas, con lo cual corresponde al 84,76%. Este desfase se debe principalmente por los siguientes motivos: (1) En el momento de la visita, las empresas no disponían de un inventario de iluminaria, (2) Debido a políticas de internas de las empresas, el suministro de información del inventario de iluminaria se vio comprometido tanto el envío como el acceso a varias

zonas, y (3) El tamaño de una empresa se consideró como un factor de impedimento para llevar el respectivo inventario durante la visita, debido a la vasta extensión de varias empresas.

De acuerdo a las empresas analizadas (178) se hallaron implementaciones de diferentes tipos de luminarias como son: lámparas fluorescentes T12, T8 y T5, metal halide (150W, 250W, 300W y 400W), lámparas de inducción (sodio y mercurio) y luminarias tipo LED. Respecto a la distribución por tipos de empresas que reportan información sobre de iluminación, se analizaron 63 empresas grandes, 39 medianas, 48 pequeñas y 13 microempresas.

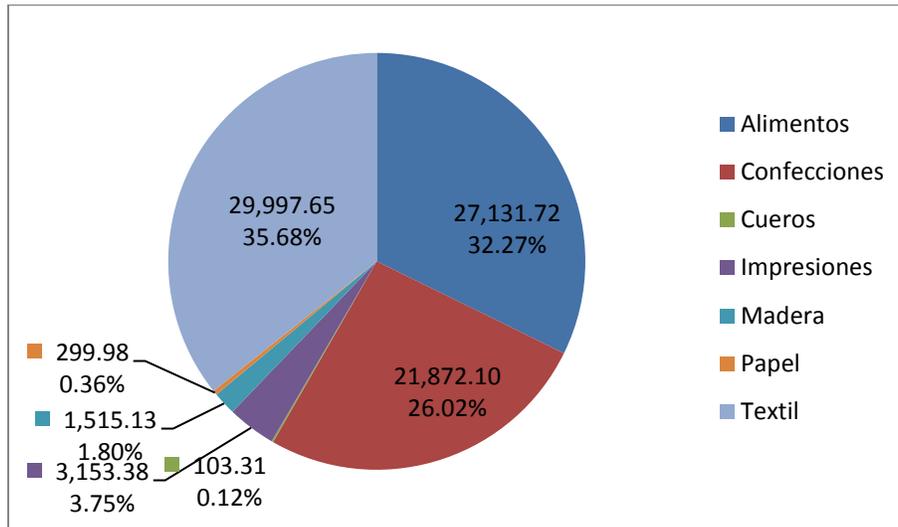
En la Figura 109 se observa que el mayor consumo de energía eléctrica destinada a iluminación para las empresas grandes se concentra en la industria alimenticia con un aporte del 43,0% (774.781,7 MWh), seguidas por la industria textil con un aporte del 28,68% (516.826,3 MWh), el sector de confecciones aportan un 16,22% (292.331,7 MWh) a este consumo, seguidas por la industria papelerera con un 9,96% (179.416,3 MWh). En menor proporción se encuentran las industrias de bebidas con el 0,21% (3.782,8 MWh), Impresiones con el 1,46% (26.350,32 MWh), y Cueros con el 0,02% (355,95 MWh). Se identifica que las grandes empresas de alimentos y textil abarcan instalaciones de mayores proporciones y maquinaria las cuales requiere mayores áreas de iluminación. El sector de confecciones en la industria grande se destina para áreas muy específicas que requieren una adecuada iluminación de los puestos de trabajo.



**Figura 109. Consumo de energía en sistemas de iluminación en MWh para empresas grandes de los diferentes subsectores.**

Para el caso de las empresas medianas, se puede observar en la Figura 110 que la industria macro consumidora para este tamaño corresponde al sector textil con un 35,68% (29.997,7 MWh), seguida de la alimenticia con un aporte del 32,27% (27.131,7 MWh), y el sector confecciones con un aporte del 26,02% (21.872,1 MWh).

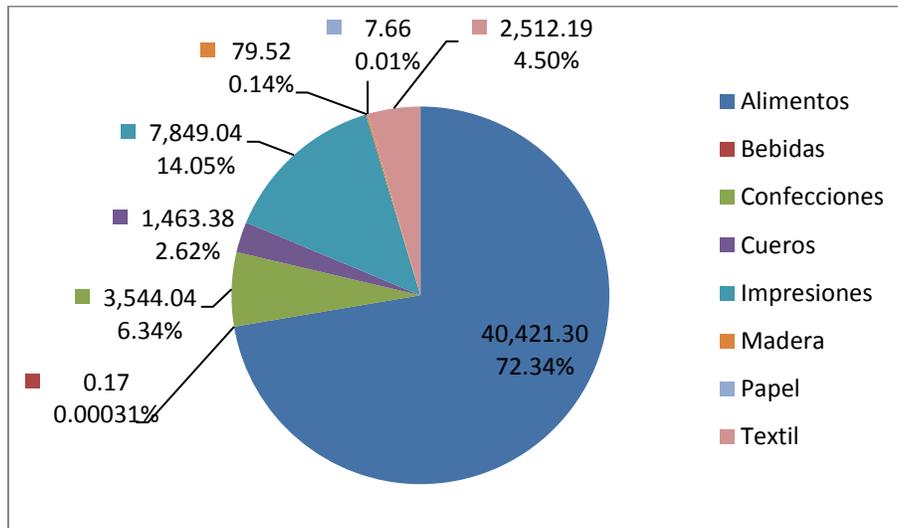
En menor medida se encuentran los sectores de impresiones con un 3,75% (3.153,4 MWh). El sector de Madera con un 1,8% (1.515,1 MWh), Papel presenta una baja participación con el 0,36% (299,98 MWh) y por último el sector cueros con la menor participación con un 0,12% (103,3 MWh). En el tamaño de empresas medianas, se identifica que las empresas del sector textil presentan un requerimiento de zonas de luminaria un poco mayor a las del sector alimentos.



**Figura 110. Consumo de energía en sistemas de iluminación en GWh para empresas medianas de los diferentes subsectores.**

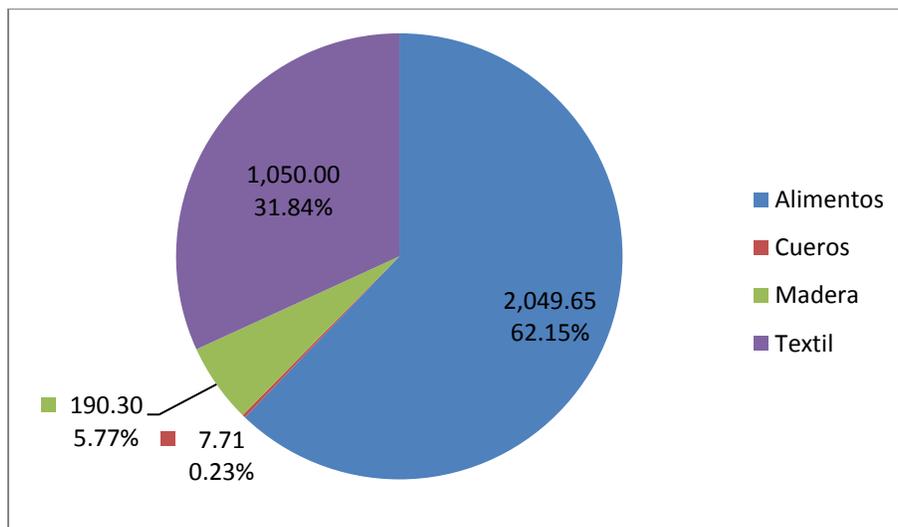
Para las empresas pequeñas, puede observarse en la Figura 111 que se encuentra de forma consolidada el consumo en la industria de alimentos con un aporte del 72,34 (40.421 MWh). La industria de impresiones presenta un aporte del 14,05% (7.849 MWh), seguida de la industria de las confecciones con un aporte del 6,34% (3.544,04 MWh), textil con un 4,5% (2.512,2 MWh), y cueros con un 2,62% (1.463,4 MWh). En una menor medida se encuentran las empresas de la industria de madera con un 0,14% (79,52 MWh) y Papel con un 0,01% (7,65 MWh). Por último el sector bebidas con la menor participación con un 0,00031% (0,17 MWh).

A esta escala se destaca la industria de alimentos, impresiones y las confecciones como los principales contribuyentes debido al tipo de maquinaria y requerimientos de personal, los cuales requieren de zonas con una mejor calidad de iluminación. No obstante las industrias de alimentos requieren de zonas de adecuadas que garanticen tanto la correcta elaboración del producto como la minimización de los accidentes laborales.



**Figura 111. Consumo de energía en sistemas de iluminación en MWh para empresas pequeñas de los diferentes subsectores.**

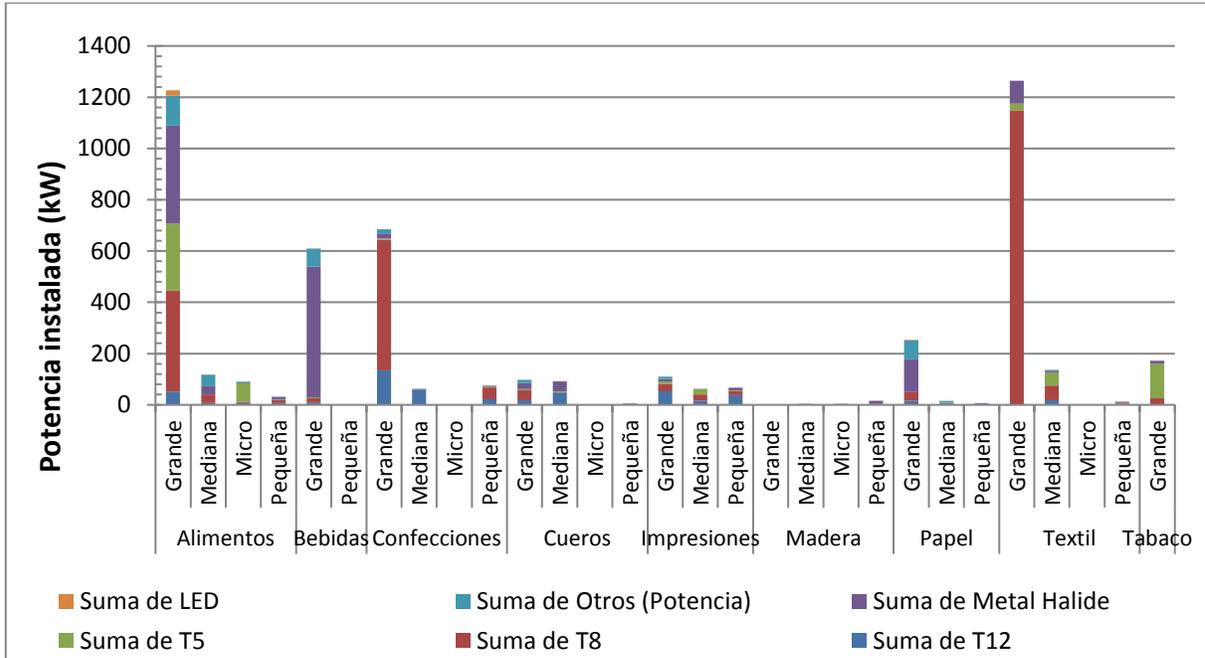
En el caso de las microempresas, puede observarse en la Figura 112 que las macro consumidoras de energía eléctrica vuelven a ser las empresas de alimentos con un aporte del 62,15% (2.049,65 MWh), seguidas de lejos por la industria textil con un aporte al consumo del 31,84% (1.050,0 MWh), continuando por la industria maderera con el 5,77% (190,3 MWh) y la industria de cueros con el 0,23% restante (7,71 MWh).



**Figura 112. Consumo de energía en MWh para microempresas de los diferentes subsectores.**

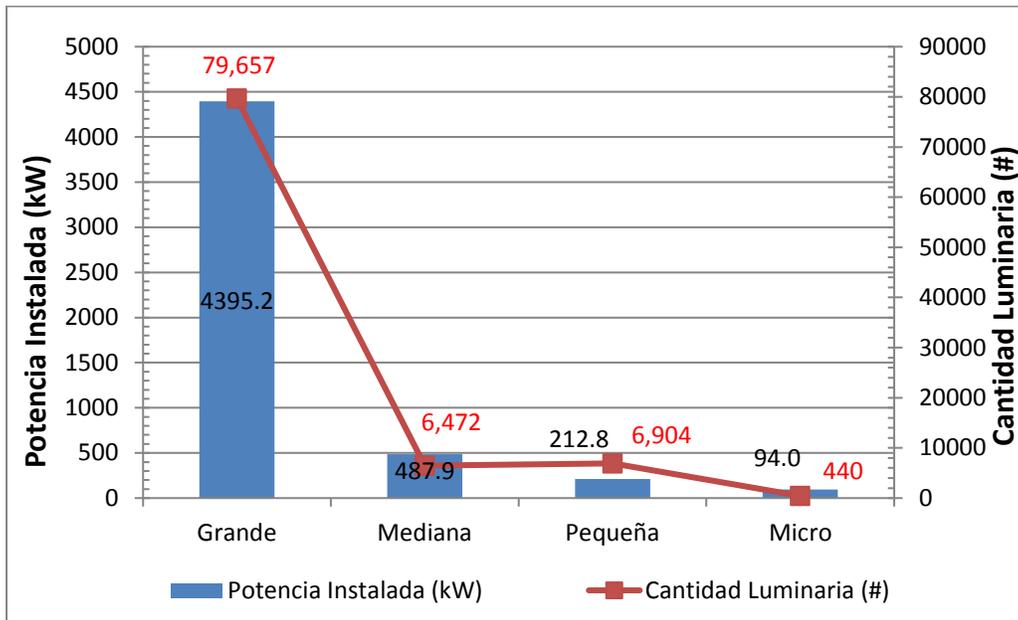
En la Figura 113 se presenta el sector textil como el principal consumidor del sector, seguido por el sector alimentos, confecciones y bebidas como los mayores consumidores respecto a la potencia

eléctrica instalada para las empresas grandes. El tipo de luminaria fluorescente compacta T8 se destaca como la tecnología con mayor potencia instalada (kW). La participación de la luminaria de tipo Sodio, Hálogenos, Mercurio, Incandescente, LED y Fluórescente con balasto electrónico se consideran como un grupo de Otros tipos de tecnologías debido a su baja participación en comparación con los otros tipos de luminaria instaladas.



**Figura 113. Distribución del uso de luminarias en el sector industrial.**

En la Figura 114 se identifica que la mayor potencia instalada de iluminación se lleva a cabo en empresas grandes con 4395,2 kW, y en un menor plano para las empresas medianas con una potencia de 487,9 kW, pequeña 212,8 kW y micro 94 kW.

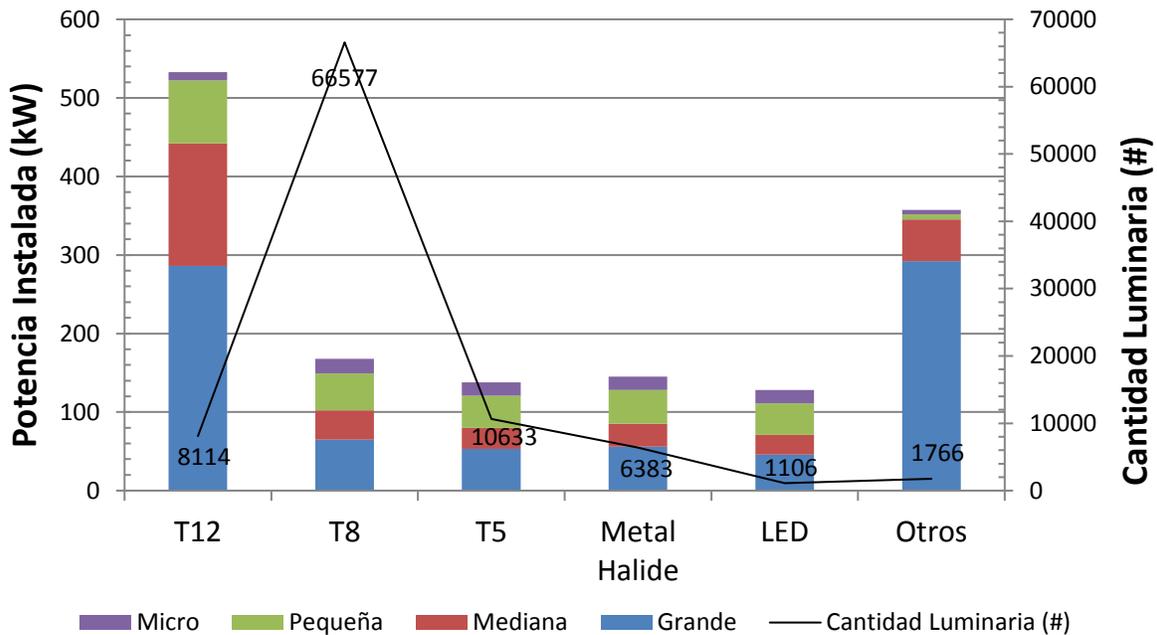


**Figura 114. Distribución del uso de luminarias según el tamaño de empresa.**

En la Figura 115 se presenta la distribución de luminarias presentes en el estudio de acuerdo a su capacidad instalada y la cantidad de luminaria presente en cada uno de los tamaños de las empresas. Se identifican 5 tipos principales de luminarias las cuales son las fluorescentes T12, T8, T5, lámparas Metal Halide y LED. La incursión de la luminaria LED se inicia como precedente para en pocos sectores de forma exploratoria para la reducción de consumo energético. Sin embargo, los altos costos de esta luminaria disminuyen su potencial, al compararse con las luminarias T8 o T5. La otra luminaria instalada corresponde a las lámparas de sodio, halógenos, mercurio, incandescentes y fluorescente con balasto electrónico.

Se puede observar la distribución del tipo de luminarias de acuerdo a la potencia instalada y a la cantidad de luminaria inventariada en la industria. Se evidencia que las lámparas fluorescentes T8 representan el 70,39%, contando con la mayor cantidad de luminaria para las empresas (66577), seguida de las T5 con el 11,24% (10633), T12 con el 8,58% (8114). Encontrándose en menor proporción las tipo LED con el 1,17% (1106) y otros tipos de luminaria correspondientes a las lámparas Sodio, Halógenos, Mercurio, Incandescentes y Fluorescente con balasto electrónico el 1,87% (1766).

Por otro lado, respecto a la potencia instalada se observa que las lámparas fluorescentes T12 cuentan con el 36,26% (532,76 kW), seguido de los otros tipos de lámparas (Sodio, Halógenos, Mercurio, Incandescentes y Fluorescente con balasto electrónico) con el 24,33% (357,4 kW). Las lámparas fluorescentes T8 corresponden al 11,44% (168 kW), seguido de cerca por T5 con el 9,39% (138), y las Metal Halide con el 9,87% (145), por último las LED con el 8,71% (128 kW).



**Figura 115. Distribución del uso de luminarias en el sector industrial.**

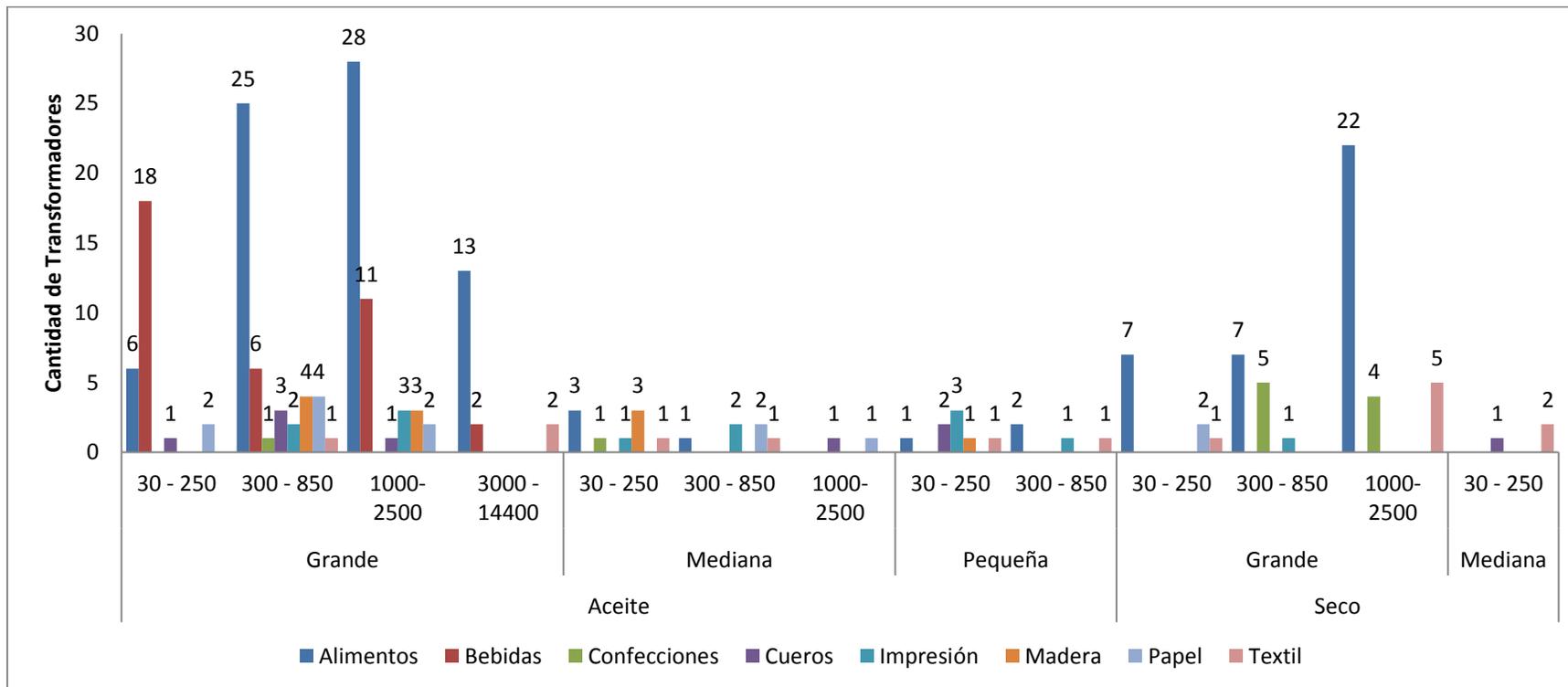
En las áreas de producción y exteriores (especialmente de las empresas de gran tamaño), predomina el uso de luminarias metal halide, en tanto que en el área de oficinas, la luminaria más usada es la fluorescentes T12 y T8. Se evidencia una baja participación de las lámparas T5.

Existe un potencial de reducción del consumo energético existente, especialmente con la sustitución de las lámparas fluorescentes T12, que si bien su participación en el total del inventario de iluminación del presente estudio no corresponde a la más alta, representa el tercer tipo de iluminación instalada con 81147 lámparas (8,58%), subsectorialmente en las secciones posteriores se mostrarán los principales rezagos tecnológicos, aun cuando las empresas siempre han manifestado conocer y estar en proceso de actualización del inventario del sistema de iluminación a lámparas T5 y tipo LED.

#### 4.4 TRANSFORMADORES

Dentro de la muestra de estudio se evidencia la importancia de los transformadores en los sectores industriales, bajo esta aseveración 106 empresas se diferencian de la muestra al poseer transformadores propios. La Figura 116 representa la distribución de los transformadores en los diversos sectores de estudio, agrupados por tipo de transformador (aceite y seco) y en cuatro intervalos de potencias dados en kVA que van desde: 30 -250, 300 – 850, 1000 – 2500 y de 3000 - 14400 kVA. Se observa que el 51,3% de los transformadores se encuentran en el sector Alimentos, seguido del sector Bebidas con un 16,5%, mientras que el sector Textil representa un 6,7% de los transformadores de la muestra. Se vislumbra que el 74,6% de los transformadores son de aceite, del

cual el 82,6% corresponde a empresas grandes y de estas empresas grandes el 51,2% son del sector Alimento y el 26,8% del sector Bebidas. De la población de transformadores secos el 94,7% corresponde a empresas grades, de las cuales el 66,7% se le asigna al sector Alimentos y el 16,7% al sector Confecciones. Con respecto a los rangos de potencia [kVA], el 36,2% de los transformadores se encuentran en el intervalo de 1000 kVA a 2500 kVA y el 30,8% en el intervalo de 300 kVA a 850 kVA.



**Figura 116 Cantidad de transformadores por tipo y rango de potencia aparente en kVA y sector industrial**

La Tabla 14 contiene el factor de potencia y carga promedio para cada uno de los sectores industriales estudiados, se observa que el factor de carga promedio para todos los sectores es del 40%, se recuerda que en el apartado concerniente a motores eléctricos el factor de carga fue del 41%.

Se observa que el factor de potencia promedio es de 0.88 (inductivo) y como se ilustra los promedios de todos los sectores están cercanos a 0.9 (inductivo).

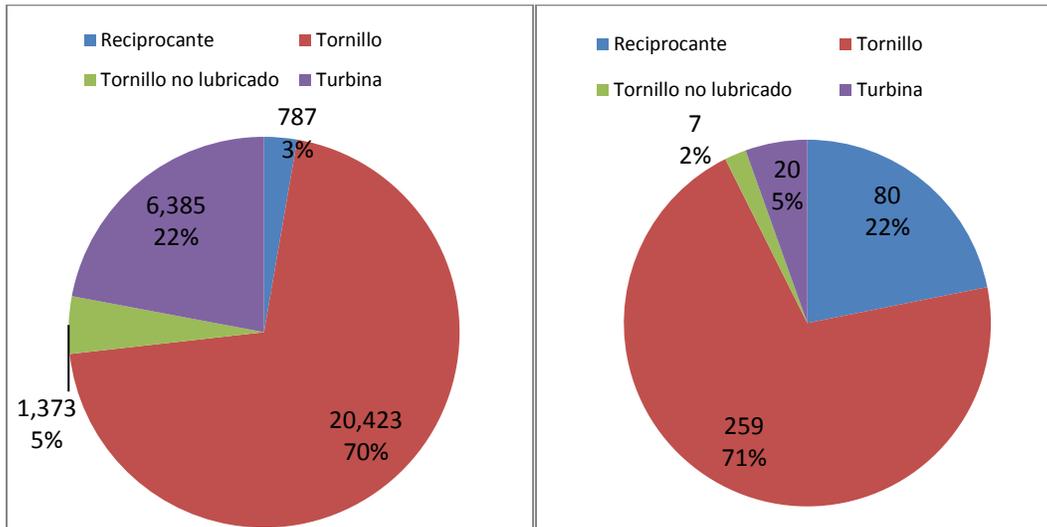
**Tabla 14 Factor de potencia y carga por sector**

<b>Sector</b>	<b>Factor de potencia promedio*</b>	<b>Factor de carga promedio*</b>
Alimentos	0,884142857	0,372610372
Bebidas	0,866666667	0,657233333
Confecciones	0,9425	0,720106667
Cueros	0,75	0,214061806
Impresión	0,888461538	0,307663399
Madera	0,807777778	0,305197037
Papel	0,925384615	0,374964558
Textil	0,884090909	0,540978218
Total general	0,880869565	0,400961736

\*Datos calculados a partir de información obtenida con un registrador de redes FLUKE 1735, mediante medidas “rápidas”

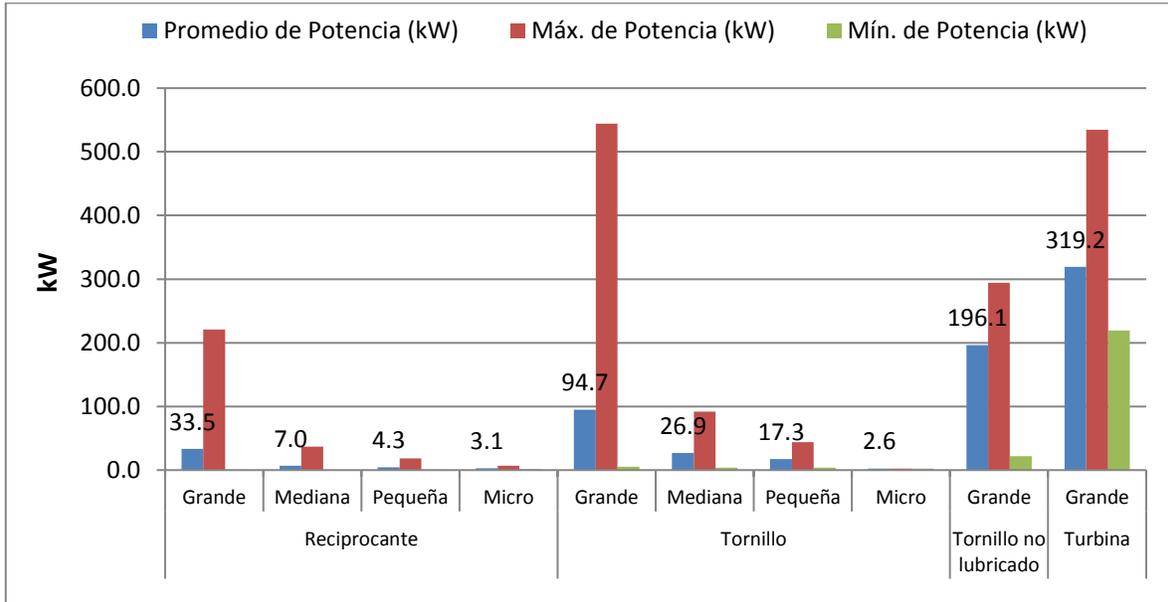
#### **4.5 AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido se emplea en todos los sectores industriales estudiados. Su principal uso es para la activación de sistemas neumáticos y de control. Las tecnologías utilizadas son los compresores de tipo tornillo, reciprocantes, de tornillo no lubricado y los compresores centrífugos o de turbina como se les menciona en el medio. En la Figura 117 se ilustra la distribución de los tipos de compresores utilizados en los sectores estudiados. Se encuentra que el compresor tipo tornillo es el más utilizado con el 71% de la población. Por lo general, este tipo de compresores son de baja potencia y representan el 70% de la potencia instalada. De similar manera, los compresores centrífugos (tipo turbina) representan el 5% de la población y el 22% de la potencia instalada.



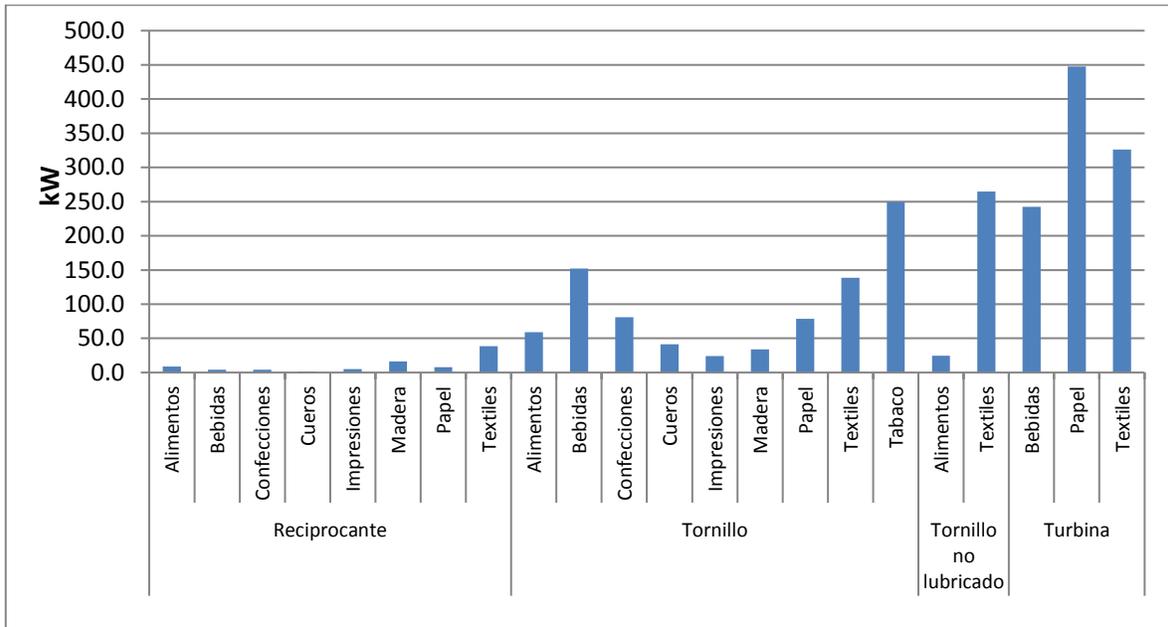
**Figura 117 Distribución de los compresores en todos los sectores, según la potencia instalada (kW) (izquierda) y la cantidad (derecha)**

La potencia media de los compresores de aire se muestra en la Figura 118. Los compresores de tornillo, que son los más comunes, tienen una potencia media de 94 kW para las empresas grandes, 27 kW para las empresas medianas y 17 kW para las empresas pequeñas. Aunque es posible encontrar compresores de tornillo de potencia de 500 kW. Los compresores tipo turbina y de tornillo no lubricado, tienen una potencia media de 448kW y 196 kW respectivamente, y se encuentran instalados en grandes empresas de los sectores de textiles y de bebidas. Los compresores reciprocantes o de pistón, se encontraron en empresas pequeñas y medianas en todos los sectores industriales donde la demanda de aire es esporádica. Estas unidades son de baja potencia; no mayor a 50 kW.



**Figura 118 Potencia promedio de una unidad de compresión según tipo de compresor y tamaño de empresa.**

De la Figura 119, se encuentra que los dos sectores industriales que más demandan aire comprimido son los de bebidas y textiles respectivamente. La potencia promedio de una unidad de compresión en el sector de bebidas es de 258 kW, pero se encuentran unidades de 373 kW y 410 kW. Y para el sector textil de 250kW a 300kW. La cantidad de unidades de compresión varía de acuerdo a la capacidad de producción de la planta, sin embargo se encontró que en una empresa grande, la cantidad de equipos de compresión varía de 4 a 7 unidades, para empresas medianas de 2 a 4 unidades y para empresas pequeñas de 1 a 2 unidades.



**Figura 119 Potencia promedio de una unidad de compresión según tipo de industria**

En las empresas medianas y grandes, los compresores se encuentran ubicados en los pisos superiores de la planta, en un espacio ventilado y a temperatura ambiente. Todos cuentan con secadores de agua por enfriamiento y disponen de un tanque pulmón de volumen adecuado. El tipo de red de distribución del aire es centralizado y en forma de anillo. El diámetro medio de descarga de los compresores es de 2 a 3 pulgadas. En las empresas pequeñas, el compresor se ubica donde haya espacio, por lo general no se dispone de una red diseñada para transportar aire comprimido y no se cuenta con un sistema de secado.

Tal como se muestra en la Tabla 15, el promedio de edad de las unidades de compresión de tipo tornillo es de 11 años y el de los compresores de turbina de 15 años. La presión de generación promedio es de 100 psig.

**Tabla 15 Edad promedio de los compresores según tipo y sector industrial.**

Sector	Reciprocante	Tornillo	Tornillo no lubricado	Turbina
Alimentos	1999	2002	2007	
Bebidas	2004	2008		1996
Confecciones	1999	2006		
Cueros	2005	2008		
Impresiones		2008		
Madera	2005	2007		
Papel	2005	2003		
Tabaco		2007		
Textiles	2000	1992	2003	1999
<b>Total general</b>	<b>2001</b>	<b>2001</b>	<b>2004</b>	<b>1998</b>

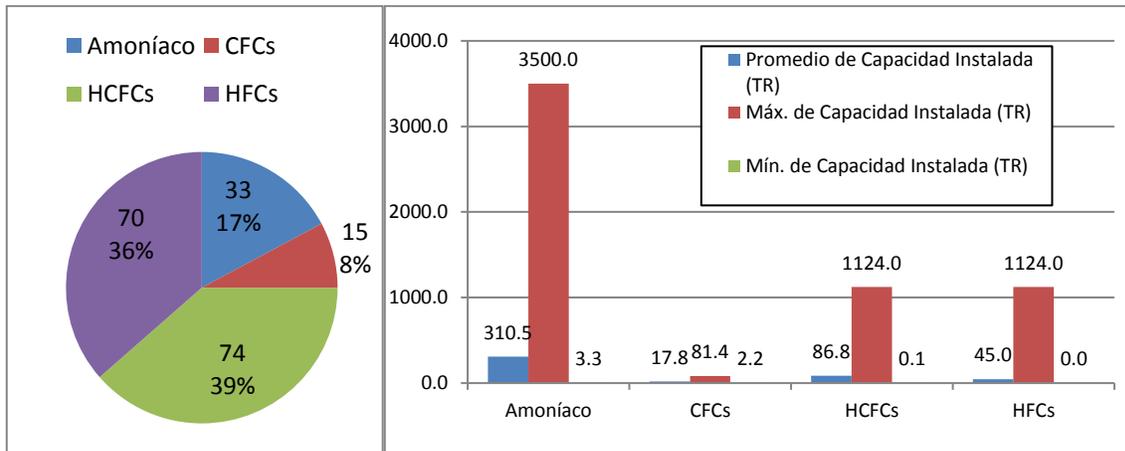
#### 4.6 REFRIGERACIÓN

La refrigeración se presenta únicamente en los sectores de alimentos y bebidas. Y se emplea principalmente para la conservación de materia prima y producto terminado de cárnicos, productos lácteos, frutas y alimentos cocidos. Para el proceso de elaboración, se utiliza en las etapas de mezclado de materiales, dilución de CO<sub>2</sub>, choque térmico y pasteurización. Los tipos de refrigerantes que se encontraron fueron los clorofluorocarburos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), y el amoníaco.

En las empresas grandes de alimentos y bebidas, el sistema de refrigeración es centralizado y el fluido refrigerante es amoníaco. El transporte y distribución del frío se realiza por medio de intercambiadores de agua helada (*chillers*) y bancos de hielo y en algunas empresas, se utiliza agua glicolada o se transporta el mismo amoníaco dependiendo de la temperatura del proceso. Las unidades de condensación del sistema de refrigeración de amoníaco, son de tipo evaporativos. En las empresas medianas y pequeñas, los sistemas de enfriamiento son descentralizados y las unidades de condensación son intercambiadores gas-aire de aletas (radiadores). La edad promedio de los sistemas de refrigeración es de 7 años.

En la Figura 120 se ilustra la distribución por tipo de refrigerante y según la potencia instalada. Por cantidad, los refrigerantes tipo HCFC son los más utilizados con el 39% que se emplean en unidades de baja capacidad, ya que solo representan el 8% de la potencia instalada. Lo siguen los de refrigerantes de tipo HFC con el 36% en cantidad y el 37% en potencia. Los sistemas de refrigeración por amoníaco se encuentran en las empresas grandes y son los que representan la mayor capacidad instalada, que en promedio son sistemas de 310 toneladas de refrigeración (TR), aunque hay empresas que tienen instalado hasta 3500 toneladas de refrigeración

Aún se encuentran unidades de baja capacidad (8%), menores a 15 toneladas de refrigeración, que utilizan refrigerantes del tipo CFC, que por su efecto nocivo a la capa de ozono, se redujo su comercialización en el protocolo de Montreal [20]. Similarmente, la utilización y comercialización de los refrigerantes tipo HCFC están siendo reducidos por su efecto negativo a la atmósfera y se espera que en Colombia en el año 2013 haya llegado al punto de congelamiento de las importaciones de este tipo de refrigerantes.



**Figura 120 Distribución del tipo de refrigerante usado en la industria según la cantidad (izquierda) y la capacidad instalada en toneladas de refrigeración(derecha).**

En la Tabla 16 se observa la capacidad promedio instalada en refrigeración en el sector alimentos según el tipo de refrigerante. Se evidencia que los subsectores de cárnicos, aceites y lácteos son los que más demandan refrigeración y tienen instalados sistemas de amoníaco. En promedio se tienen instalados unidades de compresión de 100 kW a 200 kW en el sector de alimentos y bebidas respectivamente.

**Tabla 16 Capacidad promedio de refrigeración por sector.**

Sector Industrial	Promedio de Capacidad Instalada (TR)	Máxima capacidad Instalada (TR)	Mínima capacidad Instalada (TR)
<b>CIU 101. Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos</b>	<b>69</b>	<b>600</b>	<b>2</b>
Amoníaco	300	319	280
CFCs	19	81	2
HCFCs	112	600	2
HFCs	19	72	2
<b>CIU 102. Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos</b>	<b>176</b>	<b>1200</b>	<b>1</b>

Sector Industrial	Promedio de Capacidad Instalada (TR)	Máxima capacidad Instalada (TR)	Mínima capacidad Instalada (TR)
Amoníaco	1200	1200	1200
HCFCs	4	6	3
HFCs	6	15	1
<b>CIU 103. Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal</b>	<b>113</b>	<b>250</b>	<b>30</b>
Amoníaco	47	64	30
HCFCs	70	70	70
HFCs	200	250	150
<b>CIU 104. Elaboración de productos lácteos</b>	<b>36</b>	<b>150</b>	<b>2</b>
Amoníaco	73	150	3
CFCs	15	15	15
HCFCs	5	20	2
<b>CIU 105. Molinería</b>	<b>510</b>	<b>3500</b>	<b>5</b>
Amoníaco	510	3500	5
<b>CIU 106. Elaboración de productos de café</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
Amoníaco	6	6	6
<b>CIU 108. Elaboración de otros productos alimenticios</b>	<b>96</b>	<b>1124</b>	<b>0</b>
CFCs	12	15	8
HCFCs	123	1124	0
HFCs	78	1124	0
<b>CIU 109. Concentrados para animales</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
HFCs	3	3	3
<b>CIU 110. Bebidas</b>	<b>296</b>	<b>1668</b>	<b>5</b>
Amoníaco	389	1668	25
CFCs	40	40	40
HCFCs	9	12	5
<b>Total general</b>	<b>118</b>	<b>3500</b>	<b>0</b>

En la Tabla 17 se muestra la distribución de temperaturas de uso por sector. En el sector de alimentos, la temperatura mínima reportada fue  $-40^{\circ}\text{C}$  que se alcanza en las cavas de almacenamiento de productos lácteos (helados) y la temperatura media oscila entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $4^{\circ}\text{C}$ . Para el sector de bebidas, la temperatura mínima reportada es de  $-6^{\circ}\text{C}$  y la temperatura promedio es de  $6^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 17 Distribución de temperaturas de refrigeración**

Sector Industrial	Promedio de Temperatura (°C)	Máxima temperatura (°C)	Mínima temperatura (°C)
<b>101</b>	<b>-5.9</b>	<b>10.0</b>	<b>-39.0</b>
Amoníaco	-10.0	2.0	-20.0
CFCs	0.3	2.0	-5.0
HCFCs	-8.0	5.0	-39.0
HFCs	-5.4	10.0	-20.0
<b>102</b>	<b>-6.4</b>	<b>5.0</b>	<b>-18.0</b>
Amoníaco	-8.0	-8.0	-8.0
HCFCs	0.5	4.0	-3.0
HFCs	-9.5	5.0	-18.0
<b>103</b>	<b>6.7</b>	<b>10.0</b>	<b>5.0</b>
Amoníaco	7.5	10.0	5.0
CFCs	10.0	10.0	10.0
HCFCs	5.0	5.0	5.0
HFCs	5.0	5.0	5.0
<b>104</b>	<b>0.1</b>	<b>15.0</b>	<b>-40.0</b>
Amoníaco	-7.1	4.0	-40.0
CFCs	6.0	6.0	6.0
HCFCs	6.0	15.0	-5.0
<b>105</b>	<b>18.4</b>	<b>19.0</b>	<b>15.0</b>
Amoníaco	18.4	19.0	15.0
<b>106</b>	<b>-30.0</b>	<b>-30.0</b>	<b>-30.0</b>
Amoníaco	-30.0	-30.0	-30.0
<b>108</b>	<b>2.4</b>	<b>20.0</b>	<b>-18.0</b>
CFCs	20.0	20.0	20.0
HCFCs	0.4	18.0	-13.0
HFCs	2.0	10.0	-18.0
<b>109</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>
HFCs	3.0	3.0	3.0
<b>110</b>	<b>6.0</b>	<b>10.0</b>	<b>-6.0</b>
Amoníaco	6.7	10.0	-6.0
CFCs	5.0	5.0	5.0
HCFCs	3.5	5.0	2.0
<b>Total general</b>	<b>-0.1</b>	<b>20.0</b>	<b>-40.0</b>

#### 4.7 COGENERACIÓN

Se han evaluado 8 empresas que utilizan la estrategia de la cogeneración con el objetivo de realizar una comparación con tendencias vistas en el contexto internacional y con parámetros básicos de operación mencionados en la introducción. Para la caracterización de los sistemas de cogeneración se han utilizado los datos reportados por las empresas de generación de electricidad y energía

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

primaria consumida (con base al Poder Calorífico Inferior) en 2012 ó 2013. La energía térmica recuperada no ha sido reportada, esta se ha calculado con base a las características técnicas de los elementos motrices, variables de operación del sistema de cogeneración y asumiendo una eficiencia en la transferencia de calor aproximada de 63.3%. La Tabla 36 muestra la información para las empresas evaluadas.

#### 4.8 POR SECTORES INDUSTRIALES

Se hace una descripción de las tecnologías utilizadas en algunos subsectores que solo se utilizan en dicho sector o que tienen diferencias significativas respecto a otros sectores. Estos son los sistemas de calentamiento directo; ahumaderos, secaderos, calentadores de aceite y calderas con combustibles no convencionales.

##### 4.8.1 SECTOR ALIMENTOS. CIU 10

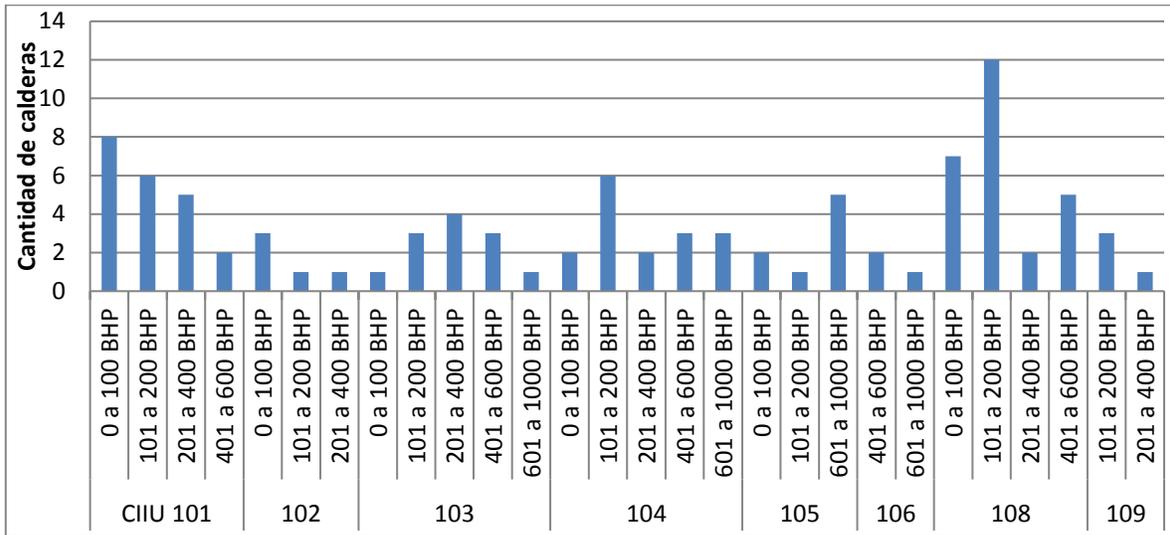
El análisis energético tanto eléctrico como térmico del sector de alimentos se lleva a cabo para cada uno de los principales procesos. En la Tabla 18 se muestran los principales códigos CIU de alimentos.

**Tabla 18. Códigos CIU por subsector alimentos.**

Código	Subsector
101	Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos
102	Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos
103	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal
104	Elaboración de productos lácteos
105	Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón
106	Elaboración de productos de café
107	Elaboración de azúcar y panela
108	Elaboración de otros productos alimenticios
109	Elaboración de alimentos preparados para animales

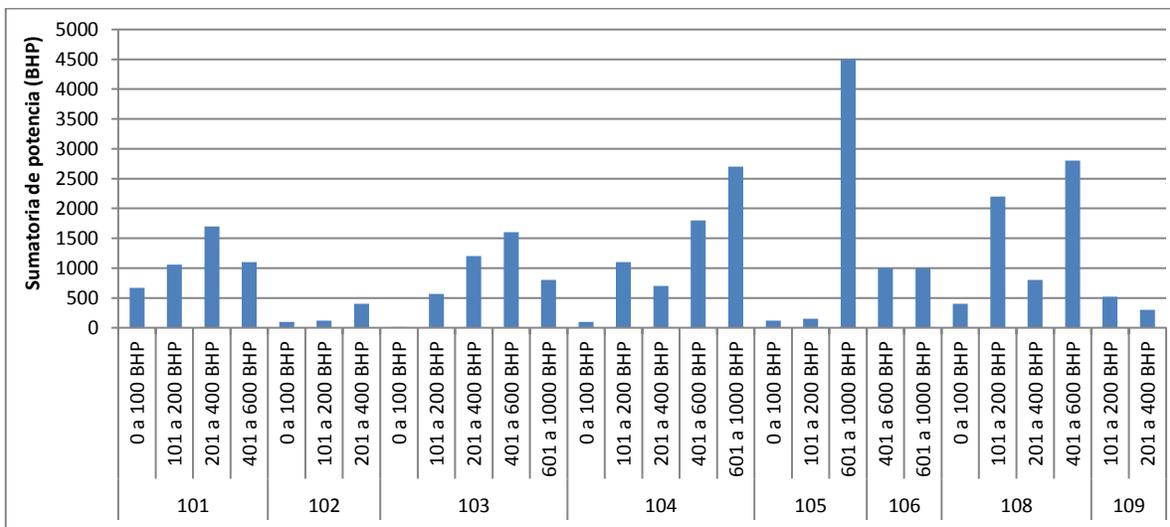
#### VAPOR

En la Figura 121 se presenta la cantidad de calderas pirotubulares según rango de potencias y subsector; en esta figura se puede observar que las calderas pirotubulares pertenecientes al rango de 101 a 200 BHP son las que representan la mayor cantidad con respecto a la muestra, seguidas por las calderas de 0 a 100 BHP.



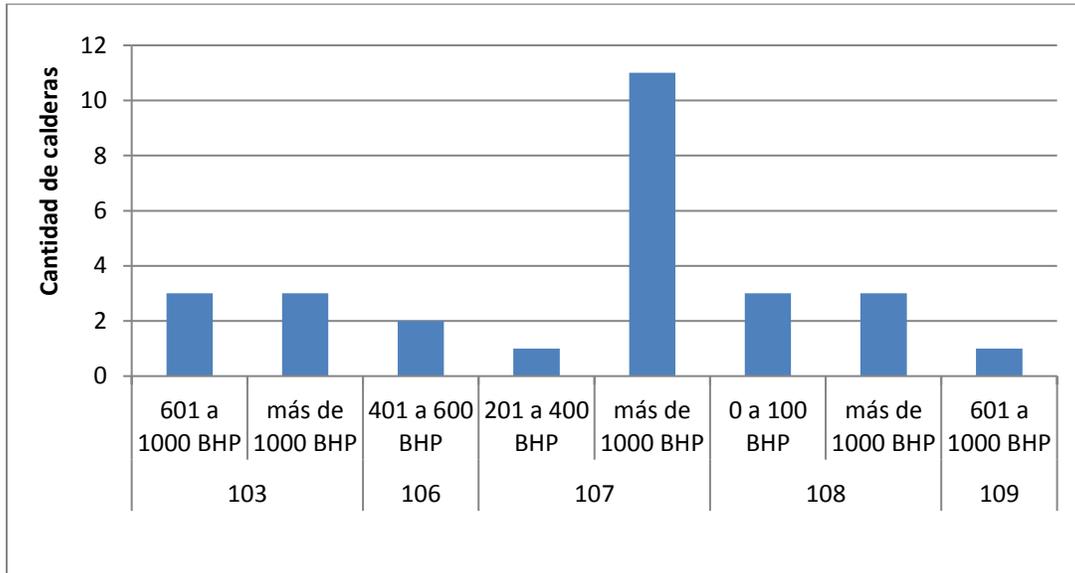
**Figura 121 Cantidad de calderas pirotubulares según rango de potencias y subsector - Sector de alimentos.**

En la Figura 122 se presenta sumatoria de la potencia instalada de calderas pirotubulares según rango de potencias y subsector; en esta figura se puede observar que las calderas pirotubulares del rango de 101 a 600 BHP son las que más aportan en cuanto a la sumatoria de la potencia instalada, seguidas por las calderas de 601 a 1000 BHP.



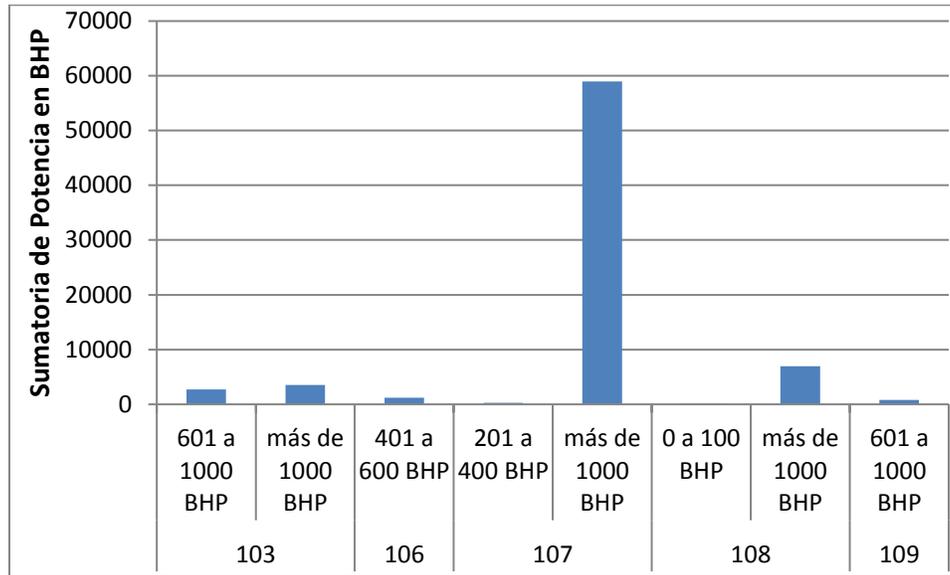
**Figura 122 Sumatoria de potencia de calderas pirotubulares según rango de potencias y subsector - Sector de alimentos.**

En la Figura 123 se presenta la cantidad de calderas acuotubulares según rango de potencias y subsector; en esta figura se puede observar que las calderas acuotubulares concentradas en el rango de 2000 a 10.000 BHP son las que representan la mayor cantidad con respecto a la muestra, donde el subsector azucarero (CIU 107) es el que presenta mayor participación.



**Figura 123 Cantidad de calderas acuotubulares según rango de potencias y subsector - Sector de alimentos.**

En la Figura 124 se presenta sumatoria de la potencia instalada de calderas acuotubulares según rango de potencias y sub sector; en esta figura se puede observar que las calderas acuotubulares concentradas en el rango de 2000 a 10.000 BHP son las que más aportan en cuanto a la sumatoria de la potencia instalada, seguidas por las calderas de 601 a 1000 BHP.



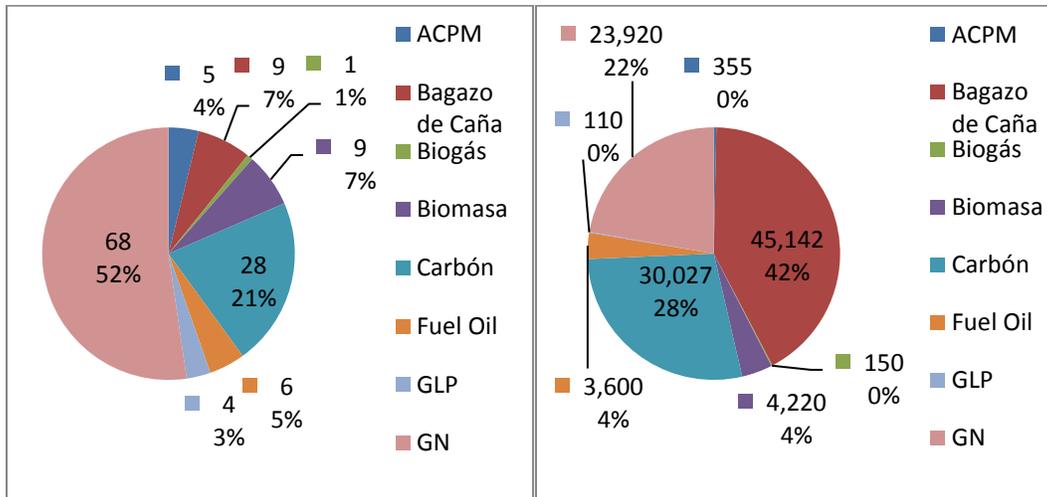
**Figura 124 Sumatoria de potencia de calderas acuotubulares según rango de potencias y subsector - Sector de alimentos.**

Principalmente los ingenios (CIU 107) presentan una gran demanda de vapor para el procesamiento de la caña de azúcar para la cogeneración de energía eléctrica, y en algunos procesos de molienda y concentración de azúcar; con lo cual el consumo de vapor alrededor de 130.000 kg/h. Además se evidencia que la menor capacidad instalada en las empresas grandes corresponde a una generación de vapor que se encuentra alrededor de 300 BHP para los CIU 101 y 103. En el procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos, se emplea principalmente el vapor en procesos de cocción, inocuidad y limpieza de equipos. En el CIU 103 en la elaboración de grasas se emplea como agente calefactor para el calentamiento de la mezcla y la preparación de mezclas.

Para las empresas medianas se evidencia que existe una capacidad instalada máxima de 300 BHP y menor a 70 BHP. Para las empresas pequeñas se evidencia que la potencia máxima se encuentra del orden de 20 BHP, con la cual también se evidenció que se desconoce la aplicación de tecnologías alternativas para la generación de energía térmica (v.g., bombas de calor, tubos de calor y sistemas de combustión y calentamiento directo y descentralizado: combustión sumergida, tubos inmersos, quemadores infrarrojo y otros).

Dentro del estudio realizado se evidencia que de un muestreo de 218 calderas intervenidas 132 calderas corresponden al sector alimentos. En la Figura 125 se ilustra la distribución de calderas por cantidad y por sumatoria de potencia instalada de acuerdo al tipo de combustible, donde el combustible más utilizado es el gas natural correspondiente al 53% del total de calderas del sector, el 21% emplea el Carbón como energético, seguido por la Biomasa con el 7%. Se evidencia claramente el dominio del gas natural en este sector debido al factor crítico de condiciones de higiene y limpieza que el sector alimentos demanda. No obstante, la tendencia en la DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL

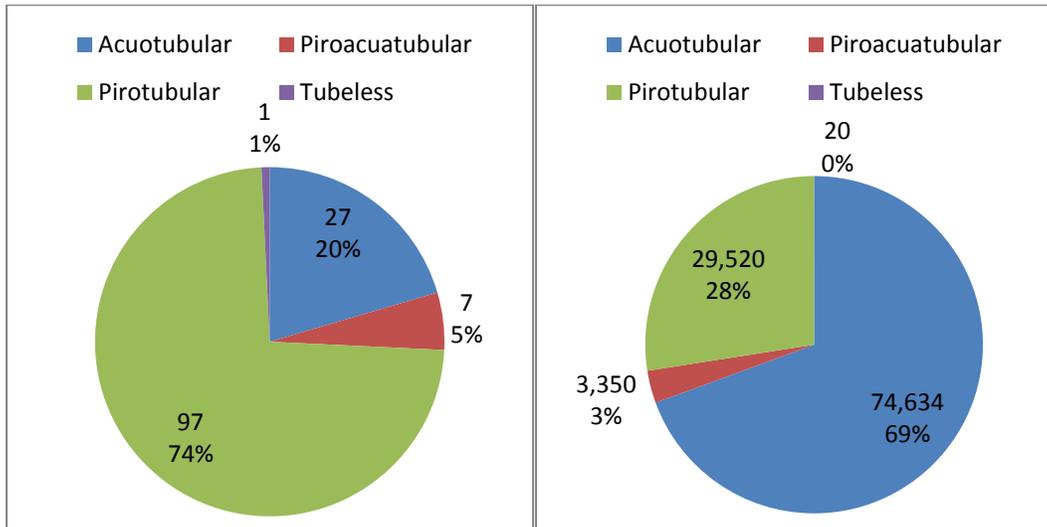
implementación de la potencia de generación de vapor instalada con los diferentes energéticos se encuentra que las calderas que operan con Bagazo de caña representan el 43% de la potencia instalada del sector, esto es debido a que la mayoría de calderas que utilizan este energético son utilizadas en sistemas de cogeneración, seguido por el gas natural y el carbón con el 25 y 23% respectivamente. De acuerdo con la potencia instalada se evidencia que en el sector alimentos las empresas han buscado implementar nuevas alternativas de combustibles procurando ahorrar costos para diferentes potencias instaladas.



**Figura 125 Tipo de combustible utilizado en calderas sector alimentos. Según el número de calderas (izquierda) y la sumatoria de potencia instalada en BHP (derecha).**

En la Figura 126 se muestra la distribución de calderas por cantidad y por sumatoria de potencia instalada de acuerdo al tipo de caldera, en esta se evidencia que para las 132 calderas evaluadas en el sector alimentos, las calderas que tienen mayor participación son las pirotubulares con el 74%, también se detectaron calderas no tradicionales de tipo piroacuautubular con una participación del 5%.

Por otro lado, se observa que de acuerdo con la sumatoria de potencia instalada, las calderas acuatubulares representan un 67% de la sumatoria de la potencia instalada en el sector, seguida por las calderas pirotubulares con un 30%. Es de notar que ocurre el caso contrario al número de calderas debido a que la potencia instalada de una caldera acuatubular puede ser 5 veces superior a una caldera pirotubular. Pero en cantidad, las calderas pirotubulares son una población 4 veces mayor.



**Figura 126. Tipo de calderas usadas en el sector alimentos, según el número de calderas (izquierda) y según la potencia instalada en BHP (derecha).**

### HORNOS Y SECADEROS

Los hornos se emplean en este sector, para el proceso de cocción de alimentos. En su mayoría, son hornos tipo túnel de convección forzada con control de temperatura por secciones y control de humedad con vapor -si es requerido. La fuente de energía son quemadores de alta velocidad, quemadores tipo flauta y de tipo radiantes de gas natural o de GLP que calientan una corriente recirculante de aire que a su vez transfiere calor a la carga. Aunque se encontró que muchos de estos hornos operaban netamente con vapor como fuente de calentamiento y fueron convertidos a combustibles gaseosos. El uso de gas natural, como fuente de energía, es preferido porque la combustión de este no genera material particulado, hollín o gases que puedan contaminar el producto.

Las rampas de temperaturas para la cocción alcanzan un máximo de 100°C. Sin embargo, por las mediciones realizadas, la temperatura de salida de los gases de combustión diluidos con el aire de trabajo alcanzan los 180°C.

Dado que los hornos han sido reconvertidos a gas natural o GLP, la aerodinámica de los gases calientes no es la correcta para este tipo de combustibles, ocasionando problemas de transferencia de calor hacia la carga; formación de zonas “muertas” de baja o de alta temperatura, combustión por enfriamiento de llama y pérdidas de calor hacia los alrededores. Tampoco es posible establecer la edad de los hornos, sin embargo se encuentra que ninguno de ellos cuenta con sistemas de recuperación de calor por precalentamiento de aire de combustión, ni de control en línea de la combustión.

La mayor aplicación de hornos se da en el subsector de productos de panadería CIU 108, para el horneado de los productos. Estos hornos son circulares o de bandeja fija, operan en lotes a una temperatura entre 110°C y 180°C dependiendo de la referencia. El sistema de transferencia de calor es por convección.

### FUERZA MOTRIZ

La fuerza motriz del sector alimentos se representó mediante diagramas de Pareto, los cuales muestran el consumo de energía eléctrica año, cantidad de motores y los potenciales de ahorro al cambiar los motores estándar. Estos diagramas se mostrarán a nivel general y por tamaño del sector: grande, mediano, micro y pequeño como se representan en la Tabla 19.

**Tabla 19 Cantidad de empresas del sector Alimentos desagregadas por tamaño**

Alimentos	Cantidad de empresas
Grande	34
Mediana	12
Micro	16
Pequeña	14

Los factores promedio de carga y las horas promedio de trabajo con los cuales se realizaron los diagramas de Pareto de consumo, se muestran en la Tabla 20.

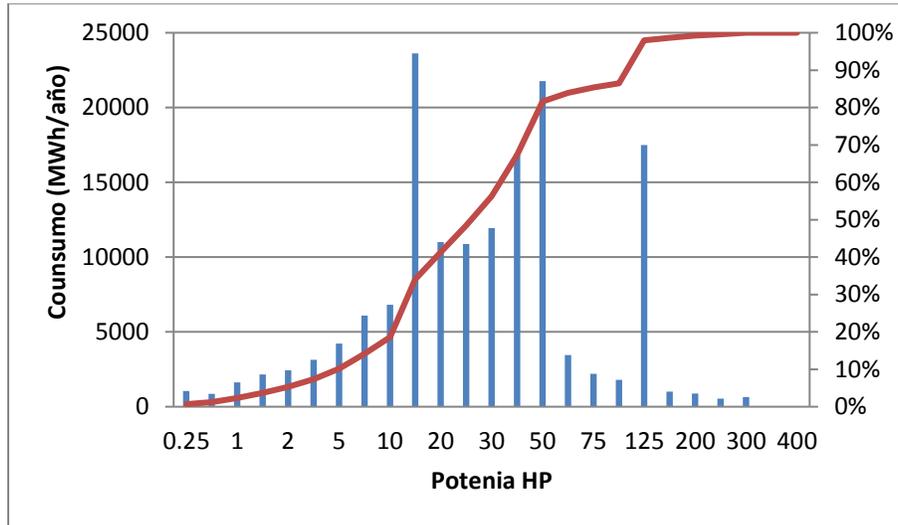
**Tabla 20 Promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

Alimentos	Factor de Carga (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	62,07%	5648
Mediana	58,40%	4597
Micro	77,33%	1418
Pequeña	76,09%	2644

En las empresas intervenidas se registraron 6694 motores de diferente potencias, las cuales van desde 0.25 HP hasta 300 HP. En la Figura 127 se observa el consumo de energía eléctrica al año, en donde aproximadamente el 80% de los motores de 50 HP tienen un consumo de

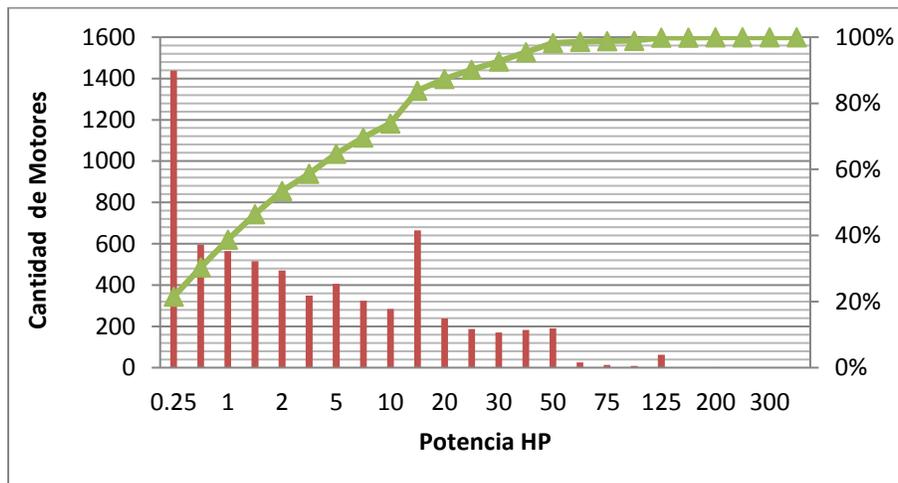
21772,77 MWh/año y el mayor consumo es realizado por los motores de 15 HP, teniendo un consumo total de 23628,98 MWh/año.

En el anexo 6 se presenta la información tabulada de los diagramas de Pareto. Y en el anexo 7, se explica cómo leer e interpretar de manera adecuada un diagrama de Pareto.



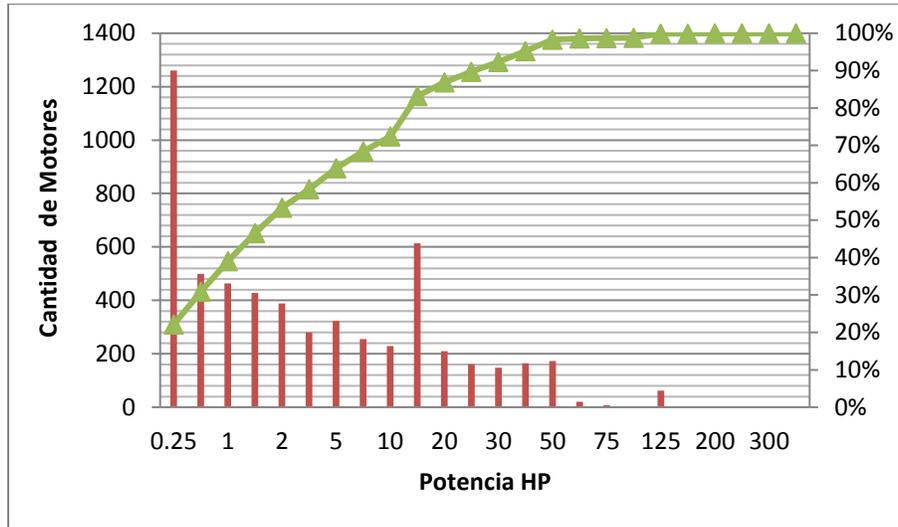
**Figura 127 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Alimentos**

En la Figura 128 se hace el balance de la cantidad de motores con sus respectivas potencias, donde el 84% de los motores son menores a 15 HP y la mayor cantidad de éstos son de 0,25 HP.

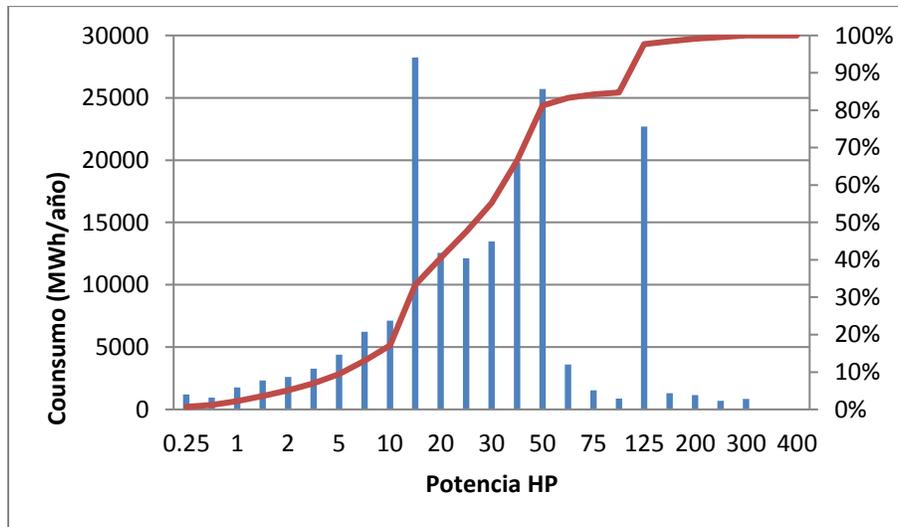


**Figura 128 Diagrama de Pareto de cantidad de energía eléctrica año – Sector Alimentos**

Continuando con el análisis se tiene que de los 6694 motores del sector alimentos, 5696 pertenecen a empresas de tamaño grande. En la Figura 129 se tiene aproximadamente el mismo porcentaje de motores con potencia menor a 15HP, lo que significa que la muestra del tamaño de la empresa grande presenta la mayoría de los datos de la general.



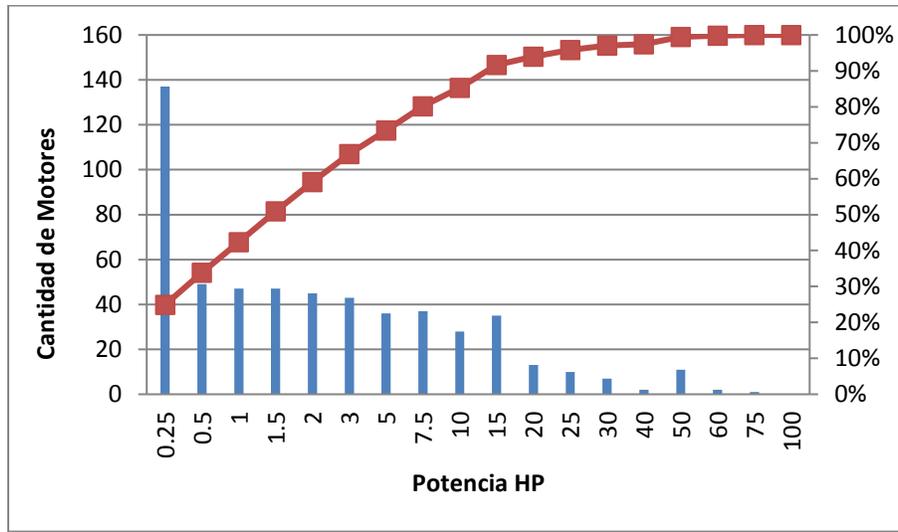
**Figura 129 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Alimentos –Tamaño grande**



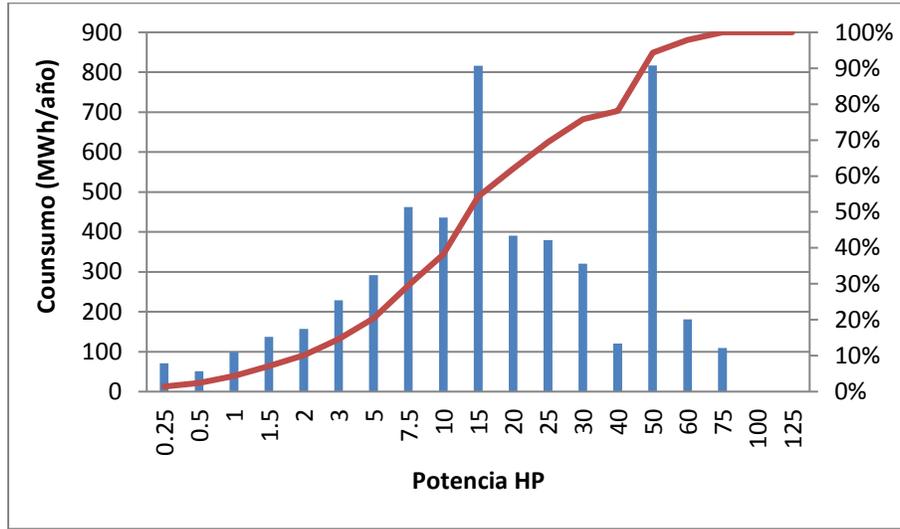
**Figura 130 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Alimentos- Tamaño grande**

Con respecto al consumo, en la Figura 130 se presenta la muestra de las empresas de tamaño grande en el sector, la cual reporta que un 85% del consumo es debido a motores con potencias inferiores a 100 HP.

Las empresas de tamaño mediano cuentan con 550 motores, de los cuales el 25% corresponden a 40 motores con potencia 0,25 HP y los mayores consumos son realizados por los motores de 15 y 50 HP, como se puede ver en la Figura 131 y Figura 132.



**Figura 131 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Alimentos –Tamaño Mediana**



**Figura 132 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Alimentos-Tamaño Mediana**

En el caso de las empresas micro se tomó una muestra de 63 motores, donde el 70% de los motores son de potencias menores a 2 HP y su consumo el 39% como se muestra en la Figura 133 y Figura 134.

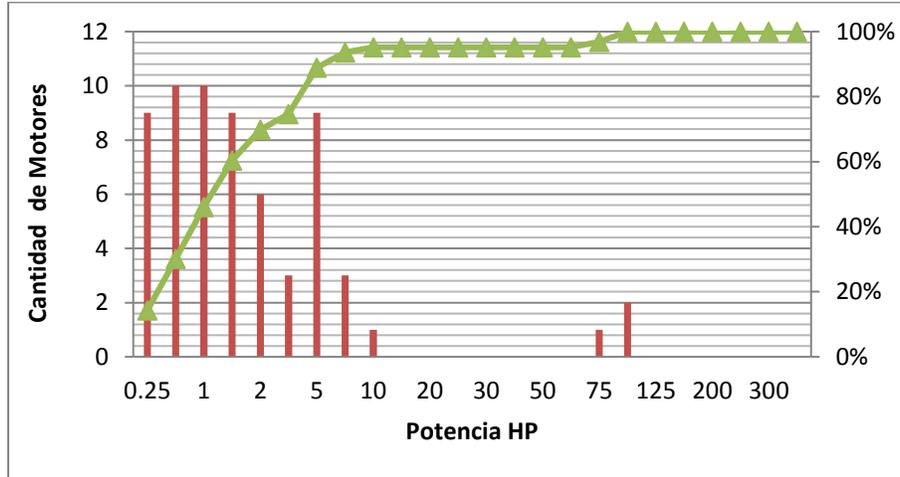


Figura 133 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Alimentos –Tamaño micro

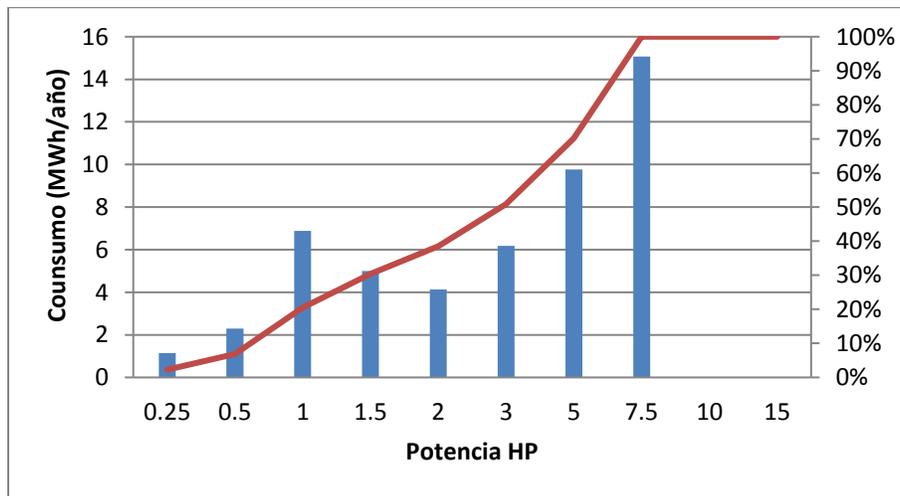


Figura 134 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Alimentos- Tamaño micro

Los 385 motores restantes, pertenecen a las empresas pequeñas, en donde el 45% de los motores son menores a 1,5 HP y el consumo mayor es realizado por los de 40 HP, como se ilustra en la Figura 135 y la Figura 136.

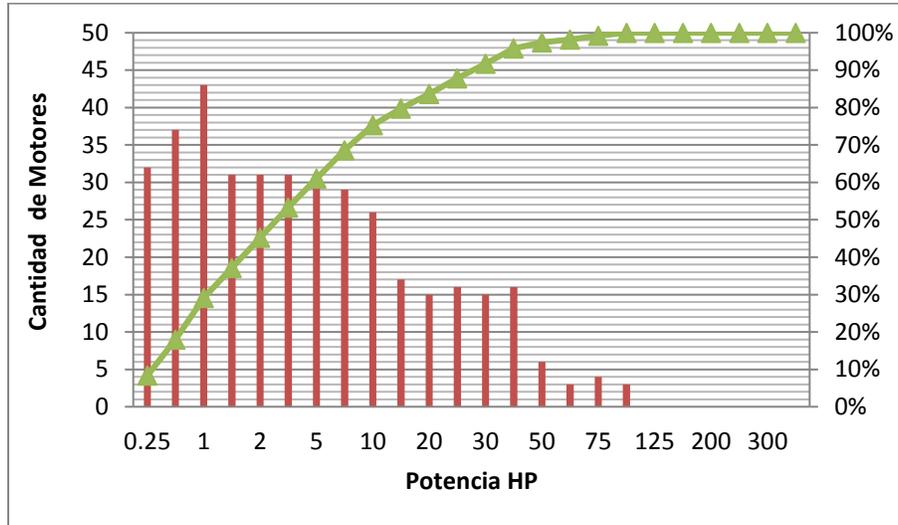


Figura 135 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Alimentos –Tamaño pequeña

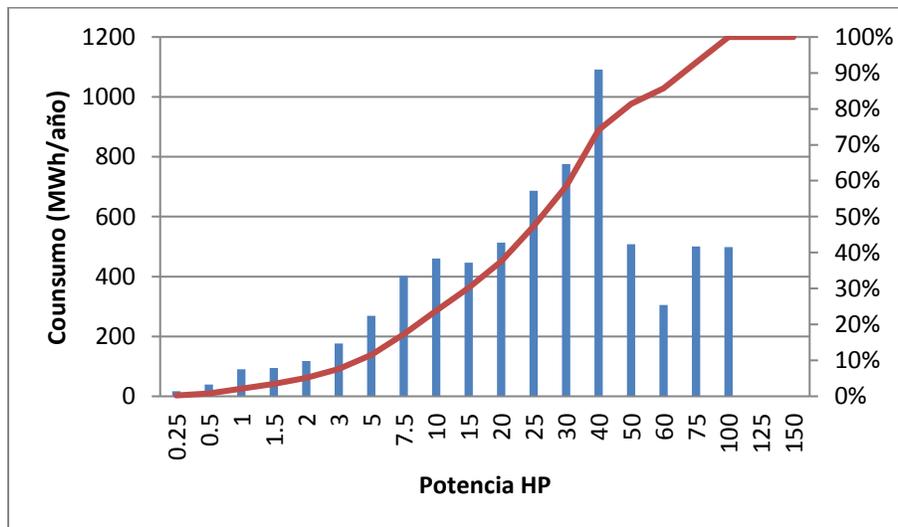


Figura 136 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Alimentos- Tamaño pequeña

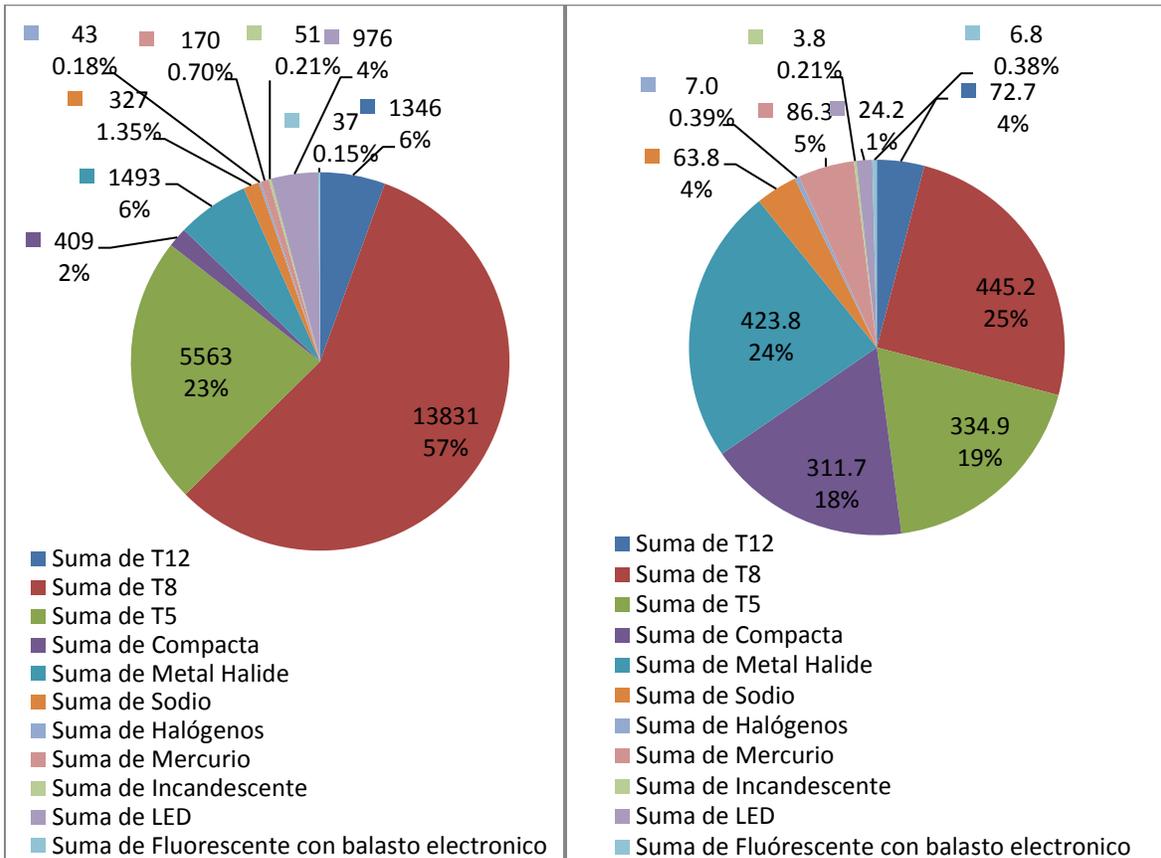
## ILUMINACIÓN

Para el sector alimentos se contaron con datos de 98 empresas, distribuidas en 52 grandes, 12 medianas, 14 pequeñas y 20 microempresas. En la Figura 137 se presentan la cantidad de luminaria y potencia instalada, donde se identifica que la luminaria fluorescente T8 se presenta como la mayor luminaria instalada con el 57% (13831), seguido con menor proporción por las T5 con el 22,94% (5563), Metal Halide con el 6,16% (1493), T12 con el 5,55% (1346), LED con el 4,03% (976), y Compactas con el 1,69% (409).

Se identifica que las empresas del sector alimentos han comenzado a implementar planes de cambio tecnológico con migración hacia luminarias tipo T8 y T5 para sus áreas productivas; y en una menor proporción la incursión de la luminaria LED, las cuales se emplean en diversos procesos de calidad en la producción donde el factor de utilización ha permitido que las empresas de este sector comience a implementar políticas de ahorro en iluminación. Sin embargo, aún continúan rezagos de las lámparas T12.

En menor proporción se encuentran los otros tipos de lámparas los cuales se emplean principalmente la iluminación de exteriores las cuales son: Mercurio con el 0,7% ( ), Incandescente 0,21% (51), Halógenos con el 0,18% (43), y Fluorescente con balasto electrónico con el 0,15% (37).

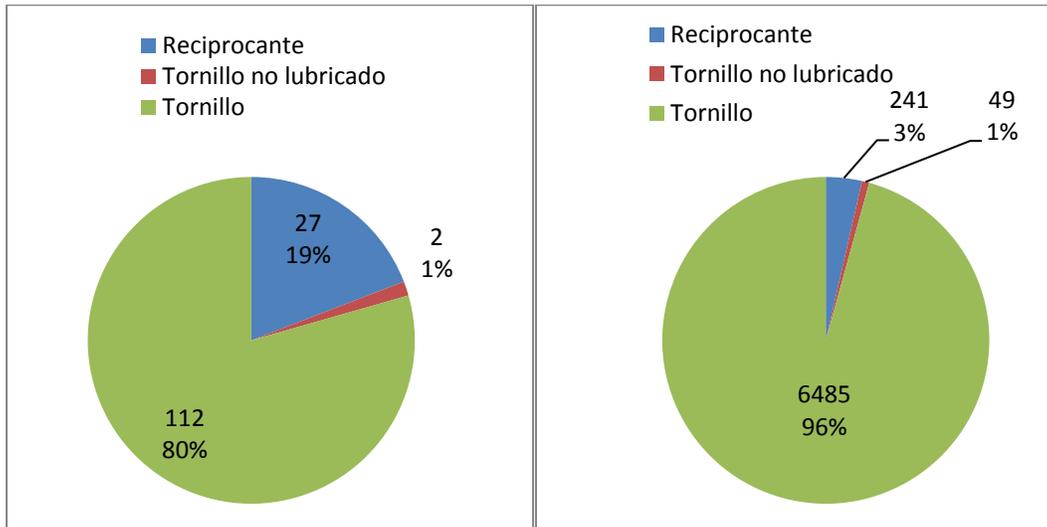
De acuerdo con la potencia instalada (kW), se identifica que el mayor consumo se encuentra distribuido en las luminarias fluorescentes T8 con el 25% (445,2 kW), Metal Halide con el 23,81% (423,8 kW), T5 con el 18,32% (334,9) y las compacta con el 17,51% (311,7 kW).



**Figura 137. Tipo de iluminaria usadas en el sector alimentos, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

### AIRE COMPRIMIDO

Se tiene registro de 365 unidades de compresión, de los cuales 138 pertenecen al sector alimentos. El aire comprimido en este sector es utilizado para control y activación de maquinaria de proceso (varias herramientas y máquinas son neumáticas). En este sector, solo se han encontrado compresores de tornillo y reciprocantes; donde los compresores que más participación tienen de acuerdo a cantidad y sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo como se muestra en la Figura 138.



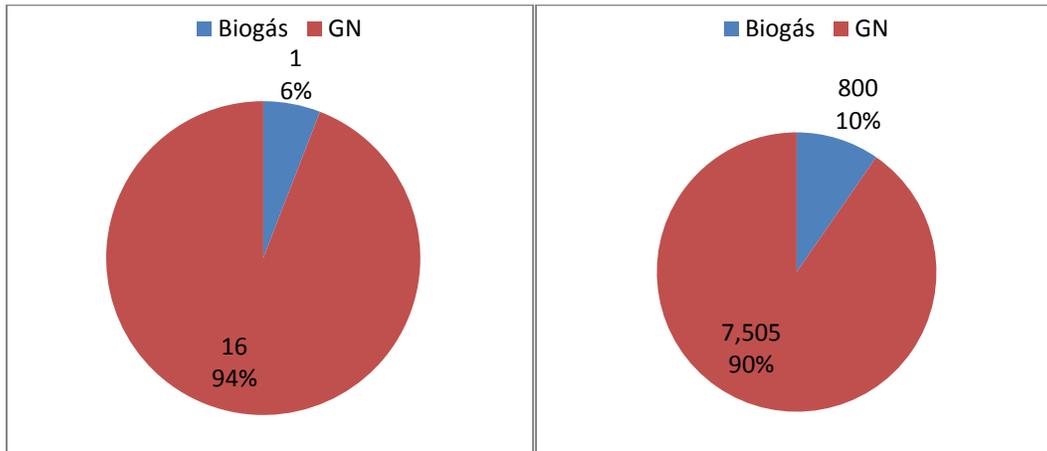
**Figura 138 Distribución del tipo de compresores en sector alimentos según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW. (derecha).**

#### 4.8.2 SECTOR BEBIDAS. CIU 11

El análisis energético tanto eléctrico como térmico por subcódigo CIU 110 elaboración de bebidas se lleva a cabo para cada uno de los principales procesos.

#### VAPOR

En la Figura 139 se ilustra la distribución de calderas de acuerdo a la cantidad y a la sumatoria de potencia instalada en relación al tipo de combustible, de la muestra de calderas 21 pertenecen al sector bebidas, donde el combustible predominante es el gas natural con el 94%, el 6% restante corresponde a Biogás. La edad media de las calderas corresponde al año 1992. Congruentemente con la potencia instalada de las calderas el gas natural continúa siendo el energético térmico con el 90%, y se detecta una caldera que emplea Biogás como agente energético dentro de las nuevas tecnologías. En las empresas intervenidas todas las calderas encontradas en el sector bebidas son tipo Pirotubular.



**Figura 139 Tipo de combustible utilizado en calderas sector bebidas. Según la cantidad (izquierda) y potencia en BHP (derecha)**

### FUERZA MOTRIZ

En las empresas intervenidas en el sector Bebidas cuenta con 2130 motores de diferente potencias, las cuales van desde 0.25 HP hasta 700 HP. La distribución por tamaño se ilustra en la Tabla 21.

**Tabla 21 Cantidad de empresas del sector Bebidas desagregadas por tamaño**

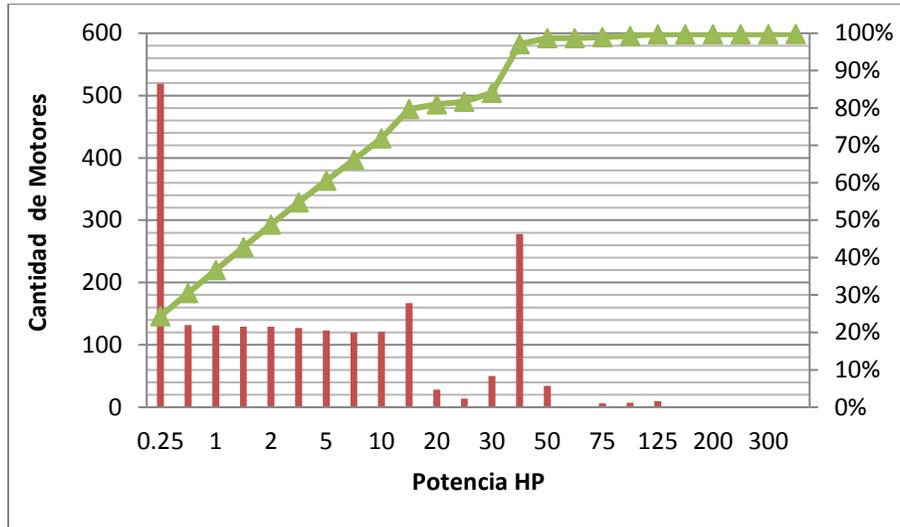
Bebidas	Cantidad de empresas
Grande	7
Pequeña	1

Se presentarán diagramas de Pareto con la información correspondiente a la cantidad y consumo de los motores en el rango de potencia anteriormente mencionado, para calcularlos se implementaron los datos promedios del factor de carga y las horas promedio de trabajo/año como se visualiza en la Tabla 22.

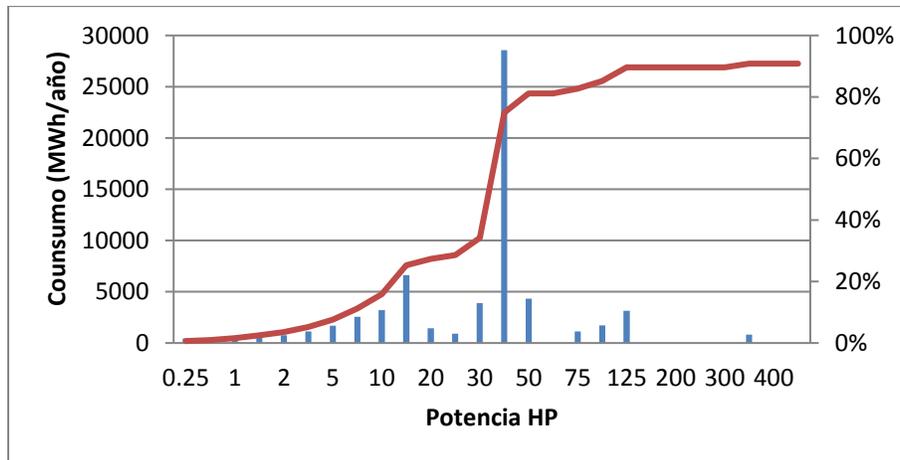
**Tabla 22 Promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

Bebidas	Factor de Carga (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	43,58%	6670
Pequeña	38,42%	1000

La cantidad de motores relacionada con la potencia de los mismos se muestra en la Figura 140, muestra que la mayoría de los motores, son de potencia 0,25 HP y corresponden a 519. En la Figura 141 se observa el consumo de energía eléctrica al año, en donde los motores con potencias inferiores a 40 HP consumen el 75% de la energía eléctrica de la muestra.



**Figura 140 Diagrama de Pareto de cantidad de energía eléctrica año – Sector Bebidas.**



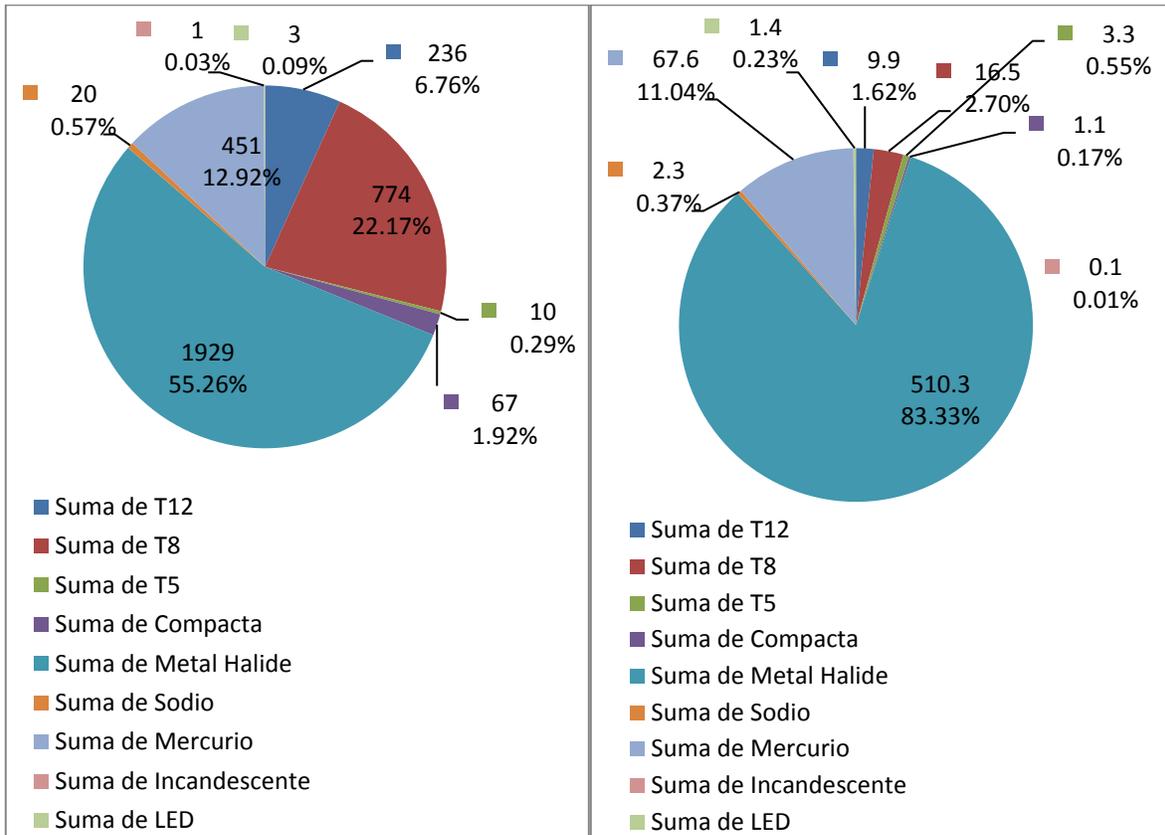
**Figura 141 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Bebidas.**

## ILUMINACIÓN

Para el sector bebidas se contaron con datos de 8 empresas, distribuidas en 7 grandes, y 1 pequeña, para un total de 3491 luminarias instaladas, con la cual se hallaron implementaciones de diferentes tipos de luminarias como son: lámparas fluorescentes T12, T8 Y T5, metal halide (200W, 250W, 300W y 400W), lámparas de inducción En la Figura 142 se presentan la distribución de iluminarias presentes en el sector bebidas. En las áreas de producción y exteriores (especialmente de las empresas de gran tamaño), predomina el uso de luminaria Metal Halide con el 55,26% (1929) y una potencia instalada de 510,3 kW, esta iluminaria en conjunto con las lámparas de Mercurio que participan con el 12,92% (451) y 67,6 kW, se destinan para la gran cantidad de bodegas o áreas exteriores de servicios. En tanto que en el área de oficinas, la luminaria más usada es la fluorescentes T8 con el 22,17% (774) y 16,5 kW.

La penetración de lámparas ahorradoras como T5 (0,29%-10) o LED (0,09% - 3), se presenta en una menor escala comparada con el rezago de las lámparas T12 instaladas que participan con el 6,76% (236) y representan una potencia instalada de 9,9 kW (1,62%).

En menor proporción se encuentran los otros tipos de iluminaria Compacta 1,92% (67)-1,1 kW (0,17%), Sodio con el 0,57% (20) e incandescentes con el 0,03% (1). En el sector no se detectaron iluminaria instalada tipo Halógenos y Fluorescente con balasto electrónico.



**Figura 142. Tipo de luminaria usadas en el sector bebidas, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

En las empresas grandes de este sector, es común encontrar programas de eficiencia energética en iluminación, siendo los más comunes el cambio de luminarias, y el control automático de iluminación, utilizando fotoceldas, relojes, y sensores de presencia; una de estas empresas, incluso, instaló varias lámparas solares, que son objeto de estudio, para determinar su viabilidad económica, ya que según la información suministrada por el personal de la planta, dichas luminarias tienen un costo muy alto. En algunas empresas de este subsector se hizo un cálculo aproximado para determinar el potencial de reducción de consumo energético, en el cual se estimaron ahorros desde el 25% hasta el 50% del consumo de energía eléctrica destinado para el servicio de iluminación.

## **OBSERVACIONES RELACIONADAS CON BUENAS PRÁCTICAS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La mayor parte de empresas visitadas, de este subsector, tiene inventarios de los equipos de fuerza motriz; más no realizan medidas de consumo de manera individual, no se tienen indicadores de eficiencia energética y difícilmente se lleva una hoja de vida, con toda la información histórica relacionada con los equipos eléctricos. La cultura de registrar información y utilizarla de la mejor manera posible está más arraigada a las empresas grandes que en las pequeñas, sin embargo, aún falta mucho, especialmente en la parte de supervisión de resultados. Es de resaltar también que la cultura del mantenimiento, es mayor en las empresas grandes, en las cuales se observa un mayor compromiso frente a este tema; en este tipo de empresas no solo se hacen mantenimientos preventivos, sino también predictivos y es usual la realización de termografías en los principales equipos una o dos veces al año.

La actualización tecnológica de este subsector (de acuerdo a las visitadas realizadas) denota una tendencia hacia la implementación de variadores de frecuencia y otros dispositivos electrónicos como arrancadores suaves; más no se observa una intención de sustitución de equipos, como sería el caso, de la instalación de motores de alta eficiencia, ya que consideran que la inversión inicial es muy costosa y no evalúan sus beneficios a mediano o largo plazo; en cambio prefieren realizar el rebobinado en el caso de los motores o adquirir un equipo de iguales características de eficiencia estándar.

## **AIRE COMPRIMIDO**

En la Figura 143 se ilustra la distribución de compresores de acuerdo a la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector bebidas, de la muestra de compresores 18 pertenecen a este sector, donde los compresores de tornillo y de turbina tienen una participación del 61% y 33% respectivamente de la cantidad de compresores del sector bebidas. El aire comprimido en este sector es utilizado para control y activación de maquinaria de proceso. En este sector se han encontrado compresores centrífugos, de tornillo y reciprocantes; donde los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 54%, seguido por los compresores de turbina con 46%.

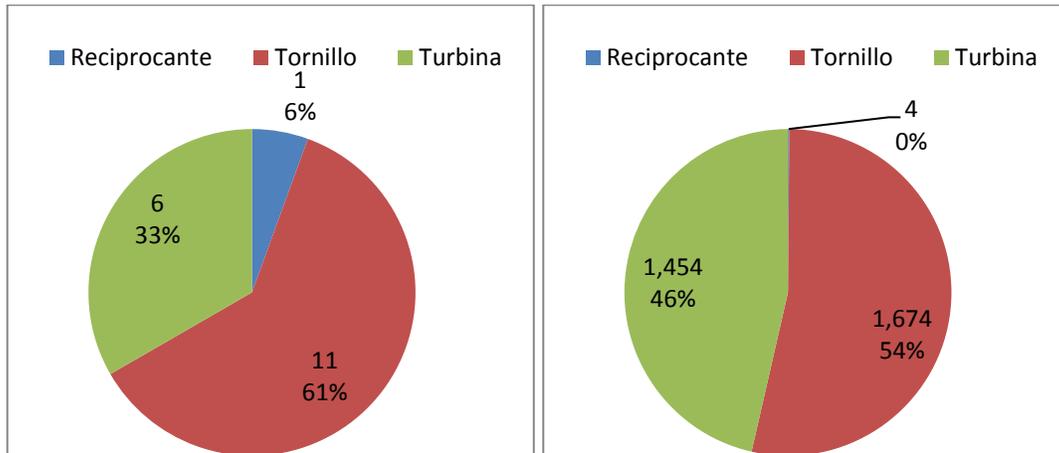
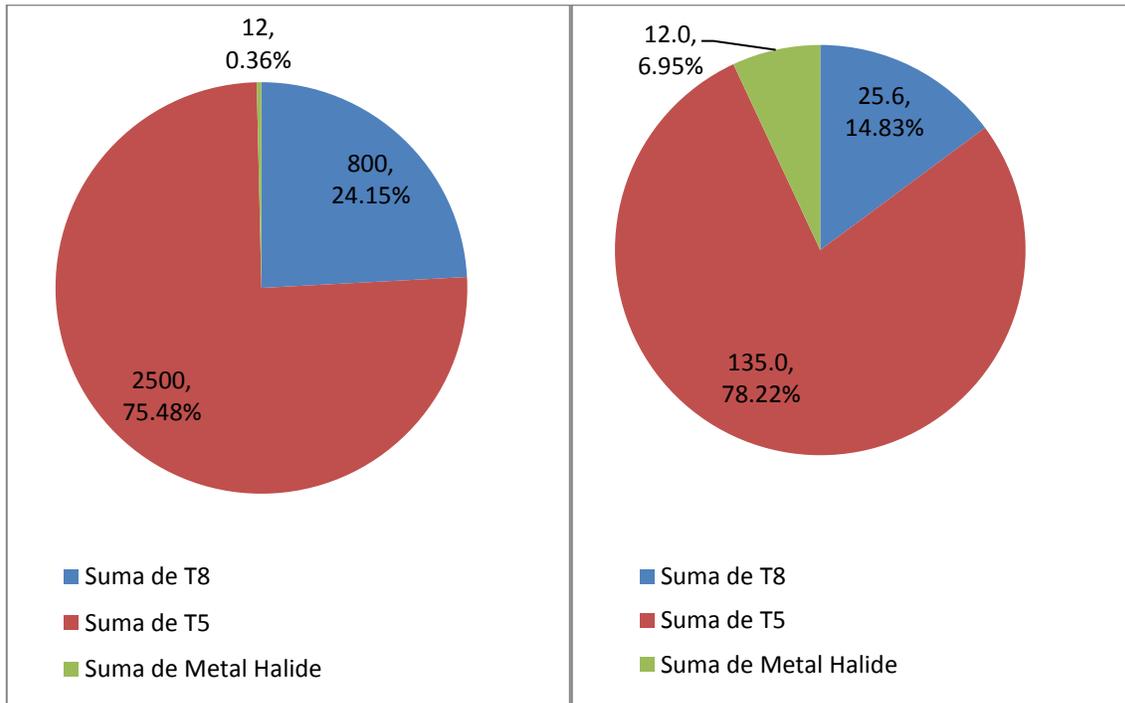


Figura 143 Distribución del tipo de compresores en sector bebidas según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW. (derecha).

#### 4.8.3 SECTOR TABACO. CIU 12

##### ILUMINACIÓN

Para el sector tabaco se contaron con datos de 1 empresas grandes para un total de 3312 luminarias instaladas, donde se identificaron las luminarias fluorescentes T8 y T5 como las principales luminarias dentro del proceso productivo, en la Figura 144 se muestra la distribución de luminaria por cantidad y potencia instalada en este subsector. Se resalta que las lámparas T8 representan el 75,48% (2500), y las T5 con el 24,15% (800). La participación de la luminaria Metla Halide se considera como dato estimado con el 0,36% (12).



**Figura 144. Tipo de luminaria usadas en el sector tabaco, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

#### 4.8.4 SECTOR TEXTIL. CIU 13

El análisis energético tanto eléctrico como térmico por subcódigo CIU de textil se lleva a cabo para cada uno de los principales procesos. En la Tabla 23 se muestran los principales códigos CIU del sector textil empleado en el estudio.

**Tabla 23. Códigos CIU por subsector textil.**

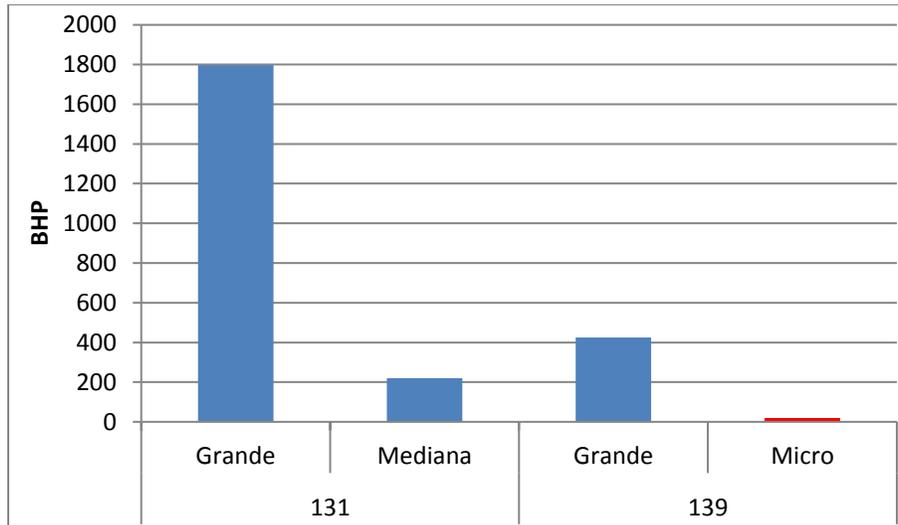
Código	Subsector
131	Preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles
139	Fabricación de otros productos textiles

#### VAPOR

En la Figura 145 se presenta la distribución del promedio de potencia de calderas instaladas en cada uno de los subsectores analizados del sub código CIU. El CIU 131, correspondiente a la preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles, presenta la mayor potencia instalada para empresas grandes con un promedio de 1796 BHP. Para las empresas medianas del código CIU 131

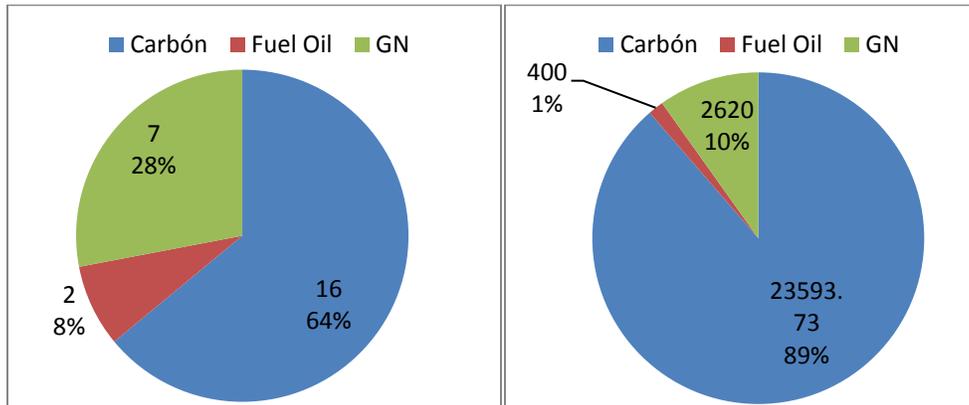
*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

se detecta que la potencia instalada se encuentra en promedio en 225 BHP, debido a la producción de vapor necesaria para los procesos de acabado de productos textiles. De manera similar, para las empresas del código 139, fabricación de otros productos textiles, las empresas grandes presentan una potencia instalada promedio de 425 BHP, cuyo uso principal del vapor se destina al lavado, teñido y termofijado de las prendas.



**Figura 145 Promedio de capacidad instalada en calderas por tamaño de empresa. Todos los tipos de calderas y combustibles**

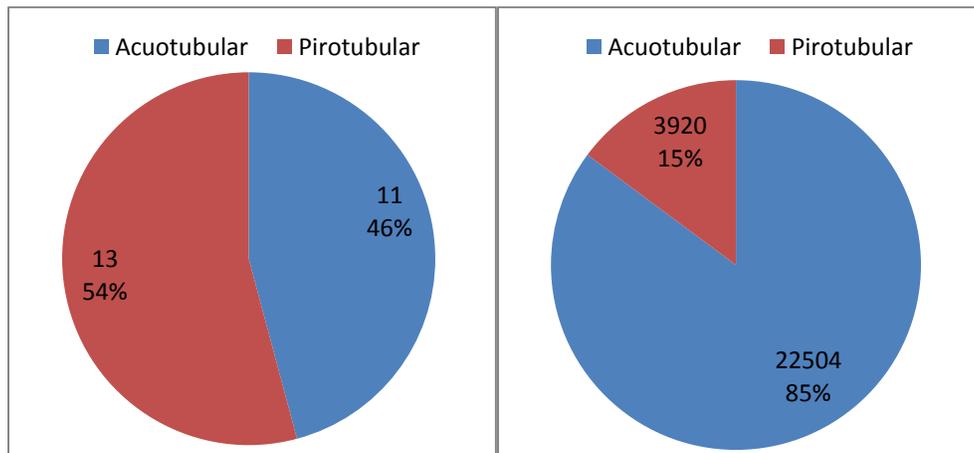
En la Figura 146 se presenta la distribución de calderas de acuerdo a la cantidad y a la sumatoria de potencia instalada en relación al tipo de combustible, de la muestra de calderas 25 pertenecen al sector textil, donde el combustible más utilizado es el Carbón correspondiente al 64% del total de calderas del sector, el 28% emplea el Gas Natural como energético, seguido por Fuel Oil con el 8% restante. De igual forma, en cuanto a la sumatoria de potencia se encuentra que las calderas que operan con carbón representan el 89% de la potencia instalada del sector, seguido por el gas natural con el 10%.



**Figura 146 Tipo de combustible utilizado en calderas sector textil. Según la cantidad (izquierda) y la potencia (derecha)**

En la Figura 147 se ilustra la distribución de calderas por cantidad y por sumatoria de potencia instalada de acuerdo al tipo de caldera, en esta se evidencia que para las 25 calderas evaluadas en el sector textil, las calderas que tienen mayor participación son las pirotubulares con el 54%.

Por otro lado, se muestra que de acuerdo a la sumatoria de potencia instalada, las calderas acuatubulares representan el 85% de la potencia instalada en el sector, seguida por las calderas pirotubulares con el 15% restante. Es de notar que ocurre el caso contrario al número de calderas debido a que la potencia instalada de una caldera acuatubular puede ser 5 veces superior a una caldera pirotubular.



**Figura 147 Tipo de calderas usadas en el sector textil, según la cantidad (izquierda) y la potencia (derecha)**

## **HORNOS Y SECADEROS**

Los sistemas de calentamiento y secado, utilizados en el sector textil se emplean en las etapas de acabado de producto, luego de pasar por el proceso de teñido o estampado. Los hornos de secado tienen una disposición tipo túnel y la transferencia de calor se da principalmente por convección forzada de gases calientes.

Hay dos fuentes de energía para este tipo de hornos, por combustión del gas natural o por aceite caliente. Los sistemas de aceite caliente son los de mayor antigüedad, con una edad promedio de 30 años. Y los hornos de gas natural son reconversiones que se hacen a los hornos de aceite térmico. La edad promedio de estos hornos reconvertidos se estima entre 10 y 17 años de acuerdo al año de fabricación de los quemadores de gas natural.

La temperatura de proceso para el fijado de la tela varía entre 100°C y 130°C y lo que se busca en esta etapa de proceso es eliminar los remanentes de humedad y solventes de las tintas que quedan luego del proceso de estampación, teñido o blanqueo de la tela. Para alcanzar esta temperatura de secado, en los hornos el aceite se debe calentar y distribuir a una temperatura de 250°C. El calentamiento del aceite se realiza en una caldera que opera con gas natural donde la temperatura de los gases de combustión es en promedio de 240°C a 280°C.

En los hornos de acabado de gas natural, el mecanismo de transferencia de calor es por convección; los quemadores calientan una corriente de aire que recircula por las cámaras del horno y atraviesan la tela. El control de la temperatura se logra mediante la inserción y recirculación de aire. Los quemadores instalados en los hornos son en su mayoría quemadores de alta velocidad a gas natural con una potencia unitaria de 120 kW a 350kW.

Dadas las ventajas desde el punto de vista de eficiencia energética que presentan los hornos de acabado de gas natural, estos no se han masificado en el sector ya que presentan problemas de uniformidad en la temperatura de la tela, ocasionando problemas de calidad como formación de manchas y variación en la tonalidad. Los problemas de uniformidad de la temperatura son ocasionados por los picos de temperatura que se forman en las regiones cercanas a la llama y a deficiencias en la ventilación interna del horno. Como medida para evitar estos picos de temperatura, y por la temperatura del proceso (110°C a 150°C) es recomendable el uso de quemadores radiantes, ya sea en tubos o placas porosas. El uso de una superficie radiante, distribuye de manera homogénea la temperatura dentro del horno, La transferencia de calor es directa a la tela y tinta y no es necesario manejar altos volúmenes de aire dentro del horno [22].

## FUERZA MOTRIZ

La cantidad de empresas muestreadas para el estudio se relaciona en la tabla Tabla 24 desagregadas por tamaño.

**Tabla 24 Cantidad de empresas del sector Textil desagregadas por tamaño**

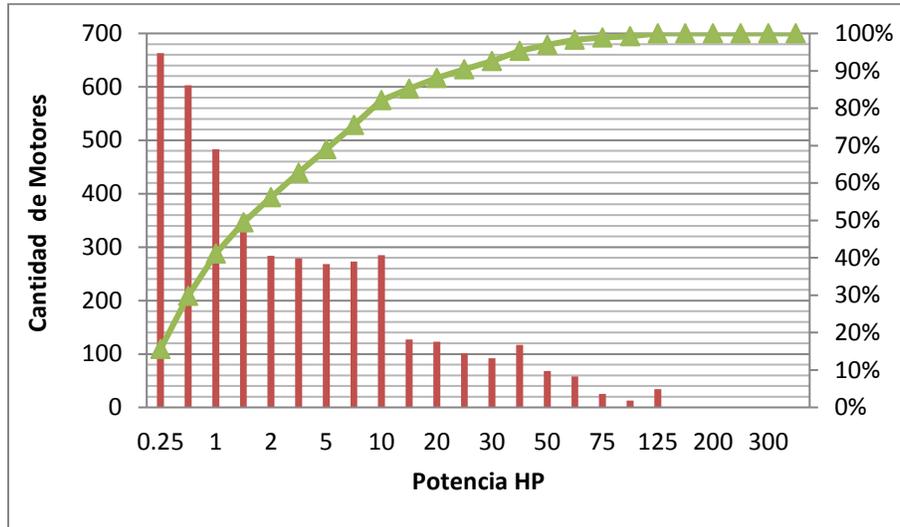
Textil	Cantidad de empresas
Grande	8
Mediana	11
Micro	1
Pequeña	5

En la Tabla 25 se confinan los datos referentes a los factores de carga promedio y las horas promedio de trabajo/año los cuales son desagregados para su uso en el cálculo de los diagramas de consumo y cantidad de Pareto.

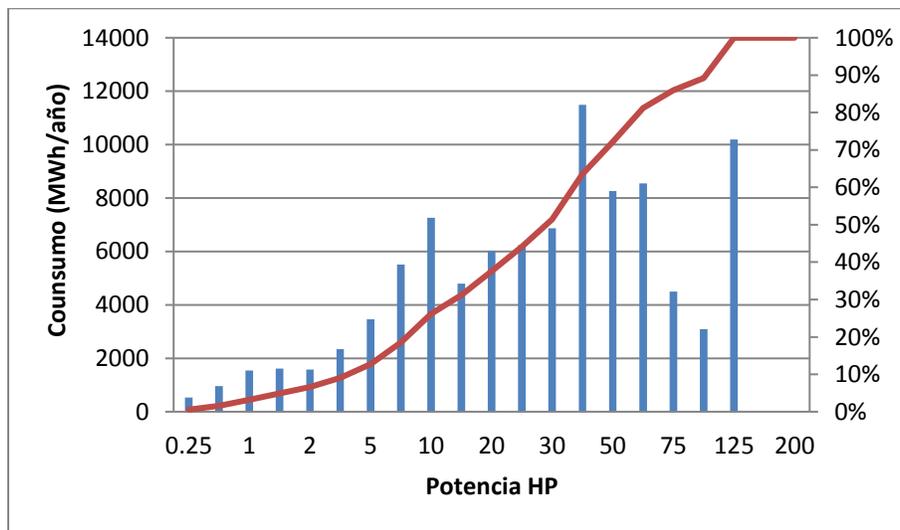
**Tabla 25 Promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

Textil	Factor de Cargo (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	70,09%	6425
Mediana	46,33%	6129
Micro	21,46%	2880
Pequeña	36,91%	3619

Para realizar este trabajo, en la empresas intervenidas se registraron 4252 motores sacados de las empresas muestreadas, se aprecia en la Figura 148 que en el rango de 0,25 a 1 HP la cantidad de motores está repartida casi equitativamente por potencia, oscilando entre los 663 y 603 motores por valor. Por otra parte, los motores con potencias por debajo de 30 HP consumen aproximadamente el 51% del consumo del sector de estudio.



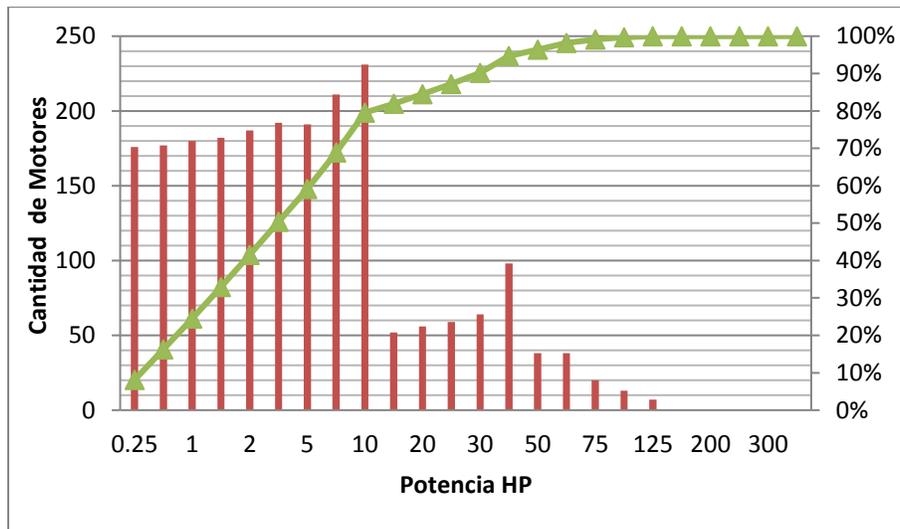
**Figura 148 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Textil**



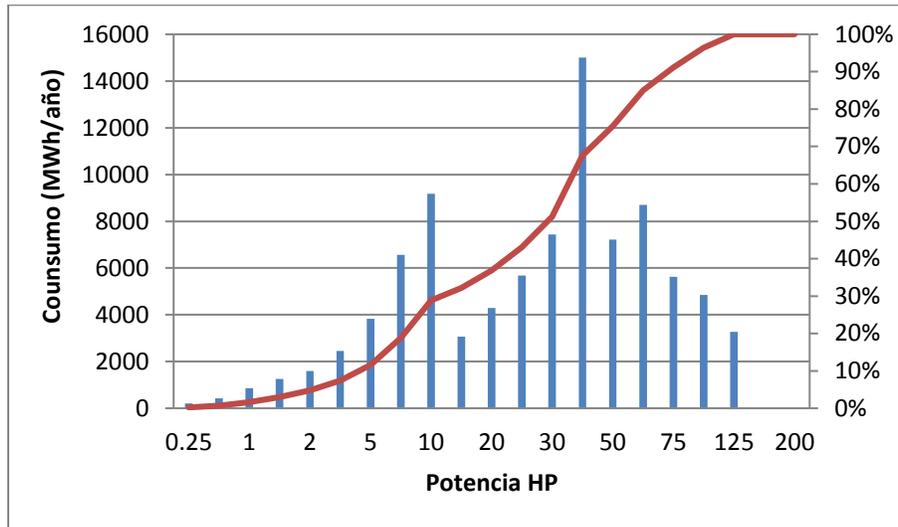
**Figura 149 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Textil**

Los datos correspondientes a las empresas micro y pequeña se consideran irrelevantes por la cantidad de información que arrojan a la muestra, es por esto que a continuación se muestran las grandes y medianas empresas, siendo éstas las que proporcionaron la mayor información.

La muestra de las empresas grandes en el sector textil arrojó los siguientes diagramas de Pareto. En la Figura 150 se muestra que el 80% de los motores tienen potencias menores a 10 HP y la mayor cantidad de éstos, son de 10HP de potencia. El consumo para los motores con la potencia anteriormente citada y por debajo de ésta, representa el 29% del consumo en MWh/año, siendo los de 40 HP los que presentan un mayor consumo, como se muestra en la Figura 151.

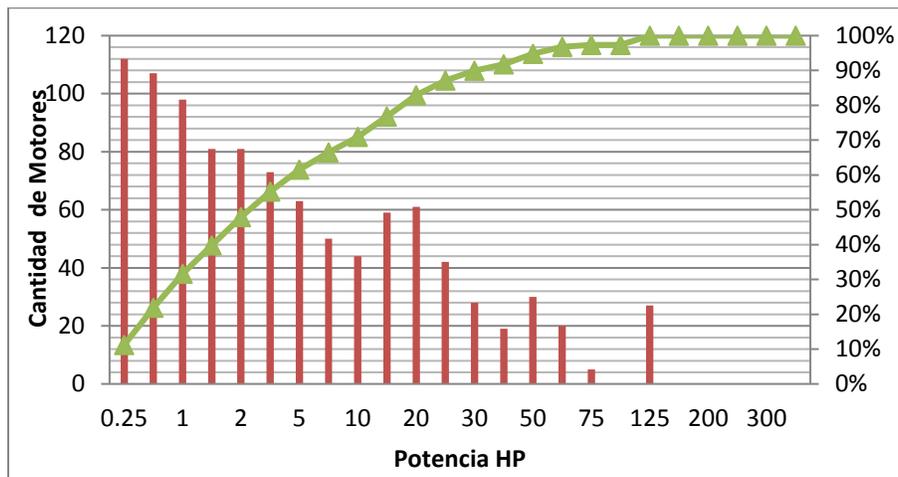


**Figura 150 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Textil – Tamaño grande**

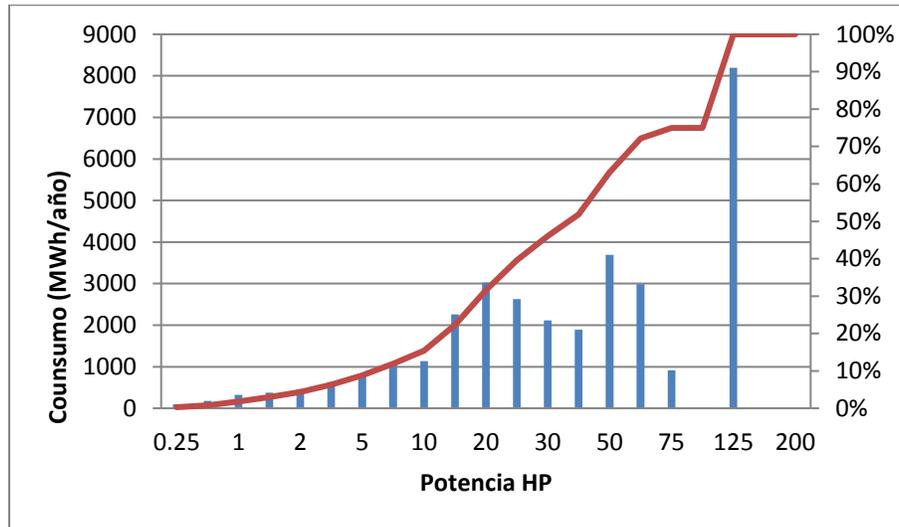


**Figura 151 Diagrama de pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Textil- Tamaño grande.**

En las empresas medianas, el 48% de la cantidad de motores pertenecen al rango de potencias de 0,25 HP a 2 HP y existiendo una gran cantidad de motores con potencia de 0,25 HP, como se puede confirmar en la Figura 152. El mayor consumo lo representan los motores de 125 HP, además motores con potencias inferiores a 50 HP consumen el 63% de la energía, como se observa en la Figura 153



**Figura 152 Diagrama de pareto de cantidad de motores - Sector Textil – Tamaño mediana.**



**Figura 153 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Textil- Tamaño mediana.**

## ILUMINACIÓN

Para el sector textil se contaron con datos de 24 empresas, distribuidas en 9 grandes, 11 medianas, 3 pequeñas y 1 microempresa, para un total de 36621 lámparas, y una potencia instalada de 1428,7 kW.

En la Figura 154 se presenta con base en la muestra representativa, se pudo establecer que el tipo de luminaria más utilizada en este sector es la fluorescente tipo T8, con la participación en la cantidad con el 95,66% (35032) y la potencia instalada con el 84,57% (1208,3 kW). Las distribuciones estimadas de luminarias según su tipo usadas en el subsector textil se muestran en la Figura 154.

Muchas de las empresas han aplicado las siguientes prácticas:

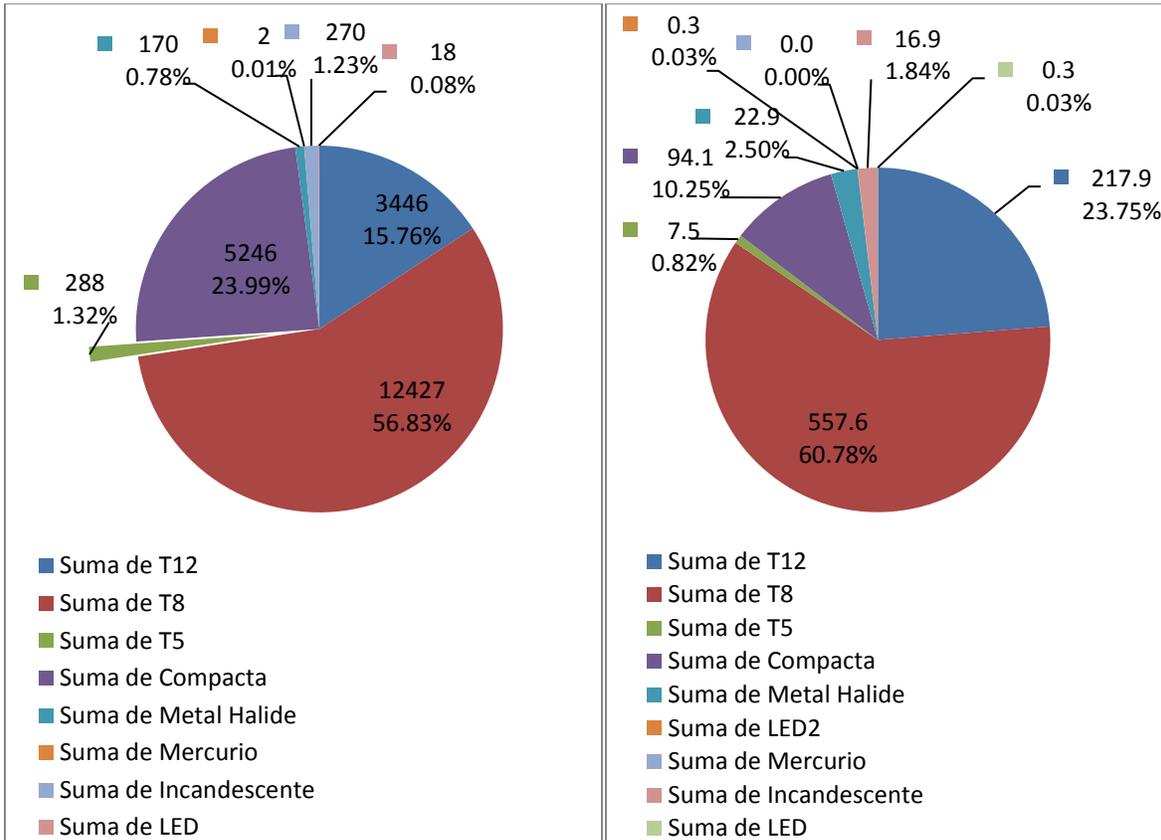
- Reemplazo de lámparas fluorescentes tipo T12 por tipo T8
- Reemplazo de lámparas Tipo T5 por tipo LED
- Reemplazo de lámparas metal halide por lámparas de inducción
- Implementación de sensores de presencia.

El otro tipo de luminaria corresponde en menor orden a las Compacta con el 0,26% (95) lámparas y una potencia instalada del 0,36% (5,1 kW), las Metal Halide con el 7% (100 kW), las fluorescentes T5 con el 2,56% (937 lámparas) y una potencia instalada correspondiente al 5,36% (76,5 kW), las fluorescentes T12 con el 0,79% (290 lámparas) y una potencia instalada correspondiente al 1,77% (25,2 kW), Mercurio con el 0,34% (125 lámparas) y una potencia del 0,11% (1,6 kW), las LED con el 0,2% (74) lámparas y una potencia de 0,03% (0,4 kW). En menor medida los Halógenos con el 0,03%

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

(12) lámparas y una potencia de 0,77% (11 kW), y las Incandescentes con el 0,03% (11) con la potencia de 0,04% (0,5 kW).

Se resalta el rezago en las lámparas T12 y las incandescentes las cuales continúan instalada y son objetivos en los planes de mejora de iluminación.



**Figura 154. Tipo de luminaria usadas en el sector textil, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

El grado de obsolescencia de las luminarias se presenta principalmente por las siguientes causas:

- Falta de mantenimientos correctivos
- Suciedad, causada por los diferentes factores contaminantes del lugar
- la implementación ineficiente, de las luminarias instaladas en los diferentes espacios de las empresas que no brinden un ambiente confortable el cual puede afectar la salud del personal de la planta
- Falta de actualización tecnológica

## **TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS**

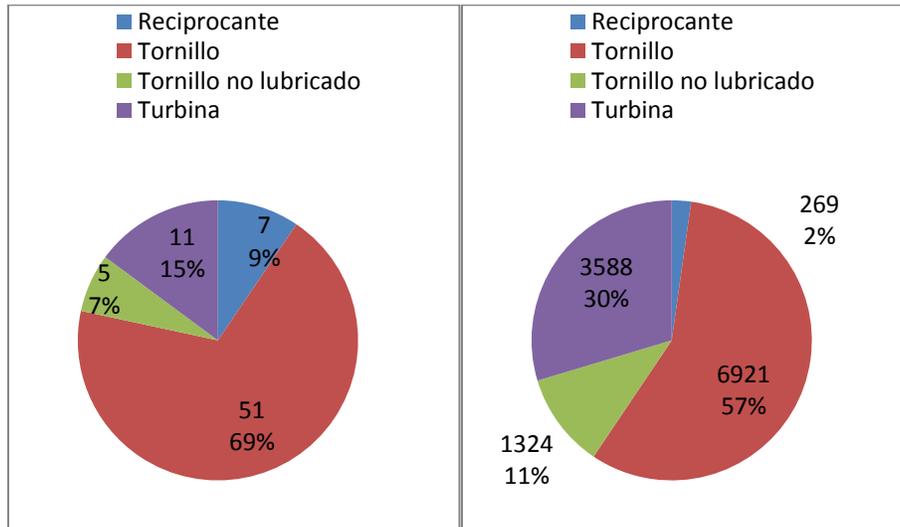
La mayoría de los transformadores utilizados en el sector son refrigerados en aceite, asunto que actualmente es cuestionado por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE- Vigente desde 2005). Aunque se encontraron unos pocos transformadores secos en empresas recientes, las cuales por cumplimiento del RETIE deben usar este tipo de transformador.

Respecto a la calidad de la energía, se encontró que en todas las empresas tienen instalados bancos de condensadores para corregir el factor de potencia, con el fin de no recibir penalizaciones por consumo de energía reactiva; entre tanto los filtros para la eliminación de armónicos son muy poco utilizados, aun cuando en algunas empresas se encontraron niveles de THD de corriente significativos es necesario aclarar que para determinar si los niveles de THD de corriente son superiores a los establecidos en la norma IEEE 519, se deben realizar estudios más detallados en los circuitos eléctricos de la empresa.

## **AIRE COMPRIMIDO**

La demanda de aire comprimido para el sector textil es una de las mayores en la industria. En grandes empresas, se encuentran unidades de compresión de aire de hasta 800 HP de potencia. Dado que el aire es usado para limpieza y operación de las máquinas de tejido e hiladoras, la calidad y limpieza del aire es fundamental. Por tal razón en algunos casos se emplean compresores de tornillo no lubricados y compresores centrífugos.

En la Figura 155 se ilustra la distribución de compresores de acuerdo a la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector textil, de la muestra de compresores 74 pertenecen a este sector. Se han encontrado compresores centrífugos, de tornillo, de tornillo no lubricados y reciprocantes; donde los compresores de tornillo tienen una participación del 9% de la cantidad de compresores del sector textil, seguido por los compresores de turbina con un 15%; por otro lado los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 57%, seguidos por los compresores de turbina con un 30%.

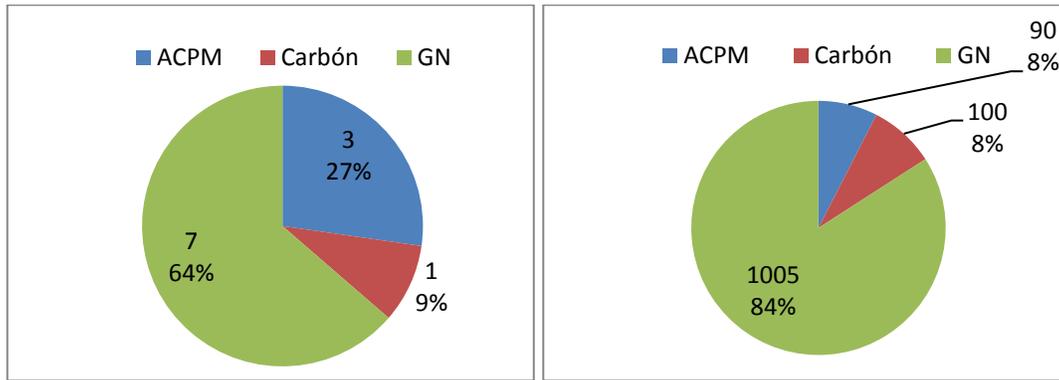


**Figura 155** Distribución de tipo de compresores en sector textil según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW (derecha).

#### 4.8.5 SECTOR CONFECCIONES. CIU 14

##### VAPOR

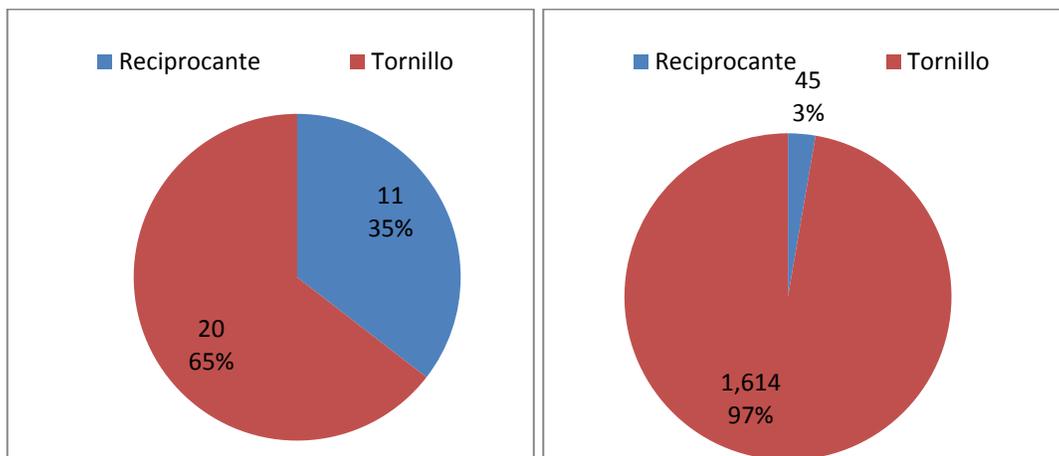
En la Figura 156 se muestra la distribución de calderas de acuerdo a la cantidad y a la sumatoria de potencia instalada en relación al tipo de combustible, de la muestra de calderas 12 pertenecen al sector confecciones, donde el combustible más utilizado es el Gas Natural correspondiente al 59% del total de calderas del sector, el 25% emplea ACPM como energético, seguido por el carbón con el 8%. De igual forma, en cuanto a la sumatoria de potencia se encuentra que las calderas que operan con Gas Natural representan el 72% de la potencia instalada del sector, seguido por el Carbón con el 14%. Para el sector confecciones todas las calderas encontradas son piro tubulares.



**Figura 156 Tipo de combustible utilizado en calderas sector confecciones. Según la cantidad (izquierda) y potencia en BHP (derecha)**

### AIRE COMPRIMIDO

Para el sector confecciones, la demanda de aire comprimido es relativamente baja si se compara con los otros sectores. En la Figura 157 se muestra la distribución de compresores de acuerdo a la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector confecciones, de la muestra de compresores 31 pertenecen a este sector, en el sector confecciones se han encontrado compresores de tornillo y recíprocantes; de acuerdo a la cantidad y tipo de compresor se tiene el mismo porcentaje, pero los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 97%, seguidos por los compresores recíprocantes con el 3% restante.



**Figura 157 Distribución de tipo de compresores en sector confecciones según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW (derecha).**

## FUERZA MOTRIZ

El sector confecciones cuenta con la muestra que se presenta a continuación en la Tabla 26.

**Tabla 26 Cantidad de empresas del sector Confecciones desagregadas por tamaño**

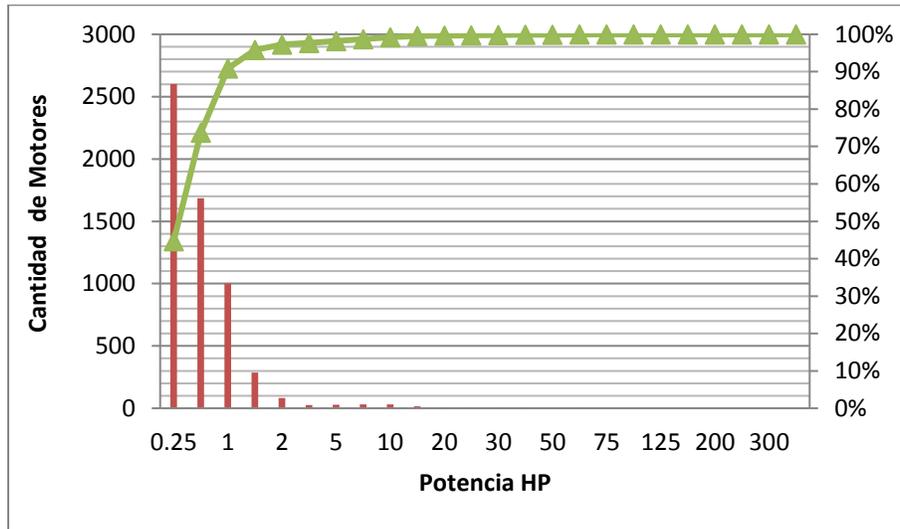
Confecciones	Cantidad de empresas
Grande	9
Mediana	4
Micro	1
Pequeña	14

Los valores promedio de factor de carga y el promedio de horas de trabajo/año son mostrados en la Tabla 27, donde se desagregan para implementarlos en el diagrama de Pareto de consumo.

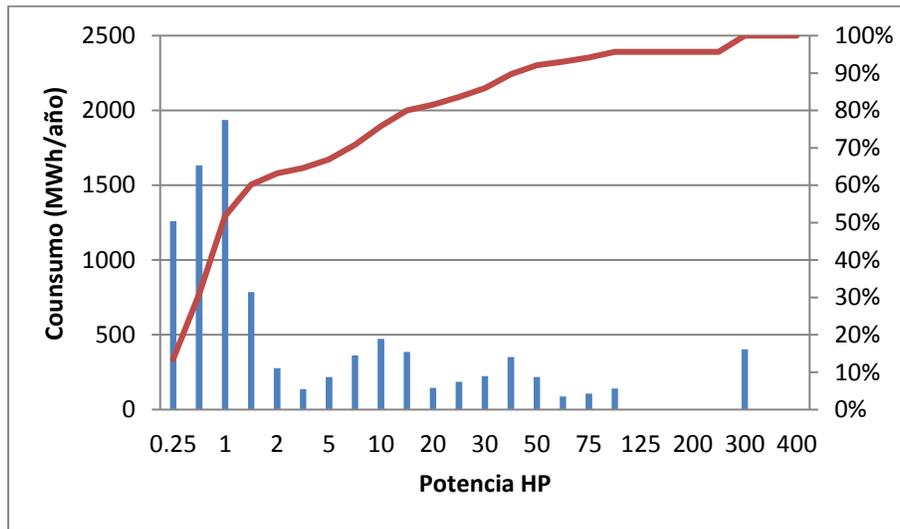
**Tabla 27 Promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

Confecciones	Factor de Carga (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	34,65%	4858
Mediana	51,29%	4504
Pequeña	55,88%	2375

El sector confecciones registró un total 5817 motores en la muestra, los cuales el 45% son de 0,25 HP de potencia, como se muestra en la Figura 158. El sistema de transmisión de estos motores es en su mayoría de acoples directos, correas o bandas, reductores y cadenas. El consumo de motores inferiores a 1,5 HP representa el 60% del consumo de la muestra para el sector estudiado, como se aprecia en la Figura 159.



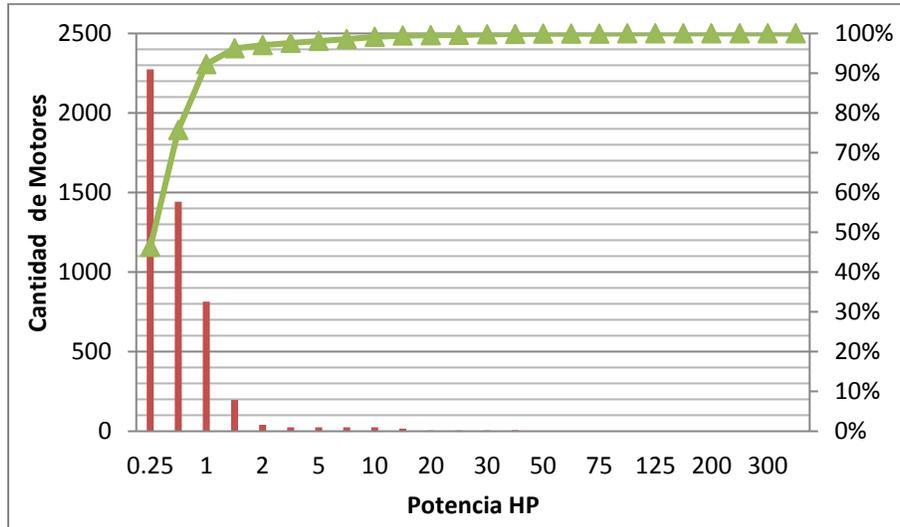
**Figura 158 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Confecciones**



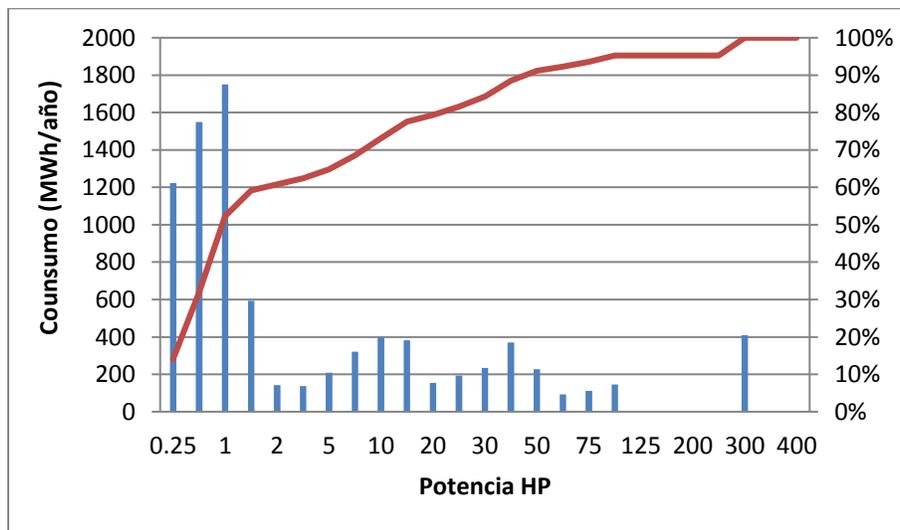
**Figura 159 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Confecciones**

En la Figura 160 se corrobora que la mayor cantidad de motores son los de 0,25 HP y que son el 46% los que representan esta potencia dentro de las empresas de tamaño grande. Los motores con potencias por debajo de 0,5 HP representan el 32% del consumo de la energía año como se observa en la Figura 161.

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

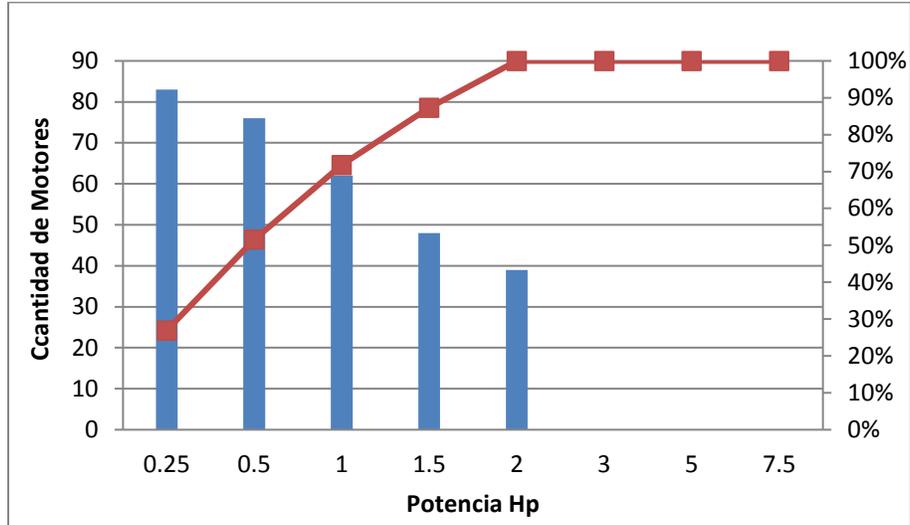


**Figura 160 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Confecciones – Tamaño grande**

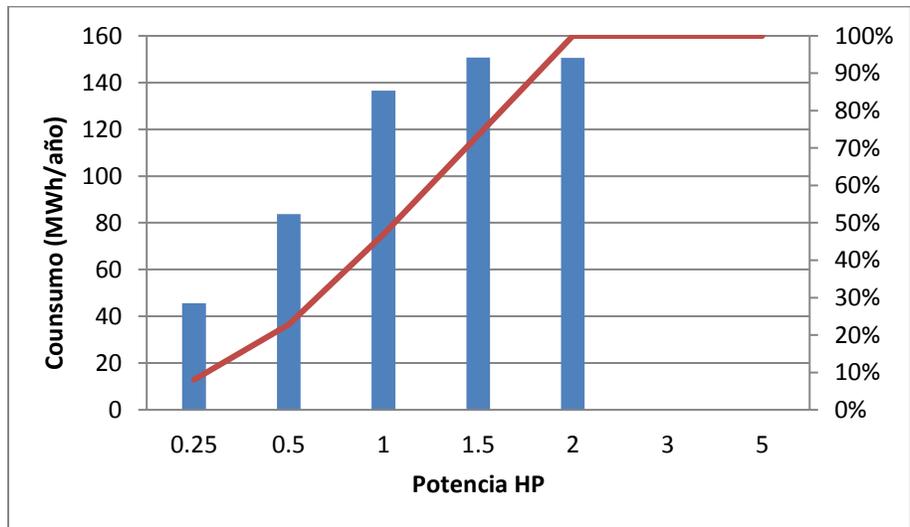


**Figura 161 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Confecciones – Tamaño grande.**

En la muestra de las empresas medianas, se obtuvo como resultado que el 52% de la cantidad de los motores tengan potencias inferiores a 0,5 HP y que el 73% del consumo se le atribuye a los motores que están por debajo de 1,5 HP, ver la Figura 162 y la Figura 163.

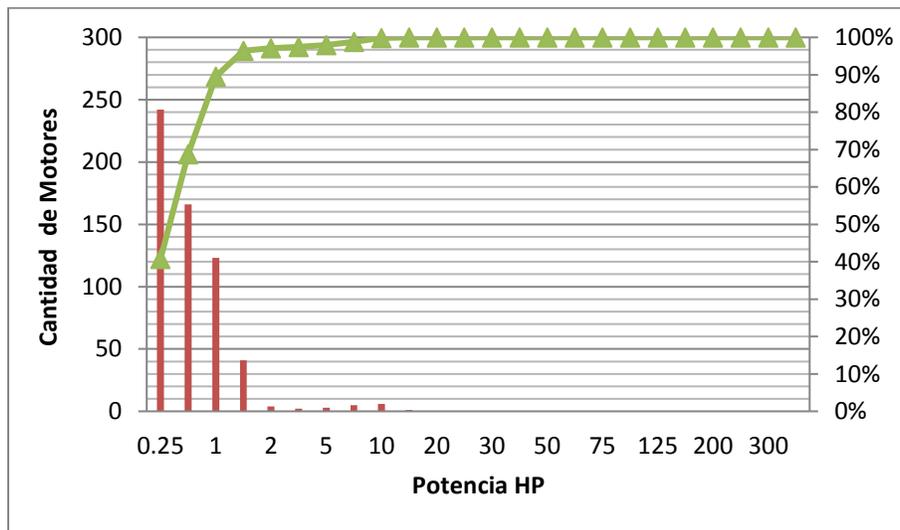


**Figura 162 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Confecciones – Tamaño mediana**

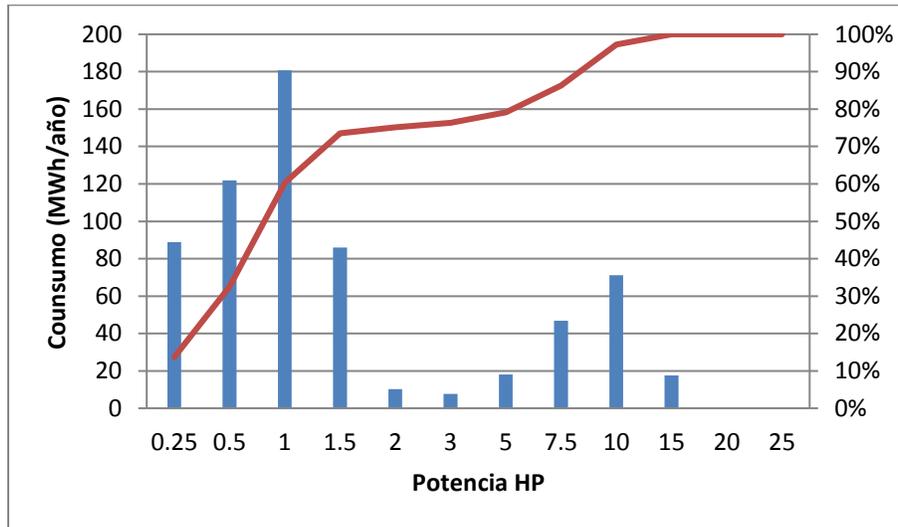


**Figura 163 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Confecciones – Tamaño mediana.**

En las empresas de tamaño pequeño se tiene un total de 593 motores, de los cuales 242 representan el 41% de la cantidad total existente, siendo éstos de 0,25 HP. Los motores con potencias menores a 1 HP que consumen el 60% del consumo total del sector para el tamaño. Datos que pueden ser verificados en la Figura 164 y Figura 165.



**Figura 164 Diagrama de pareto de cantidad de motores - Sector Confecciones – Tamaño pequeña**



**Figura 165 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Confecciones – Tamaño pequeña**

## ILUMINACIÓN

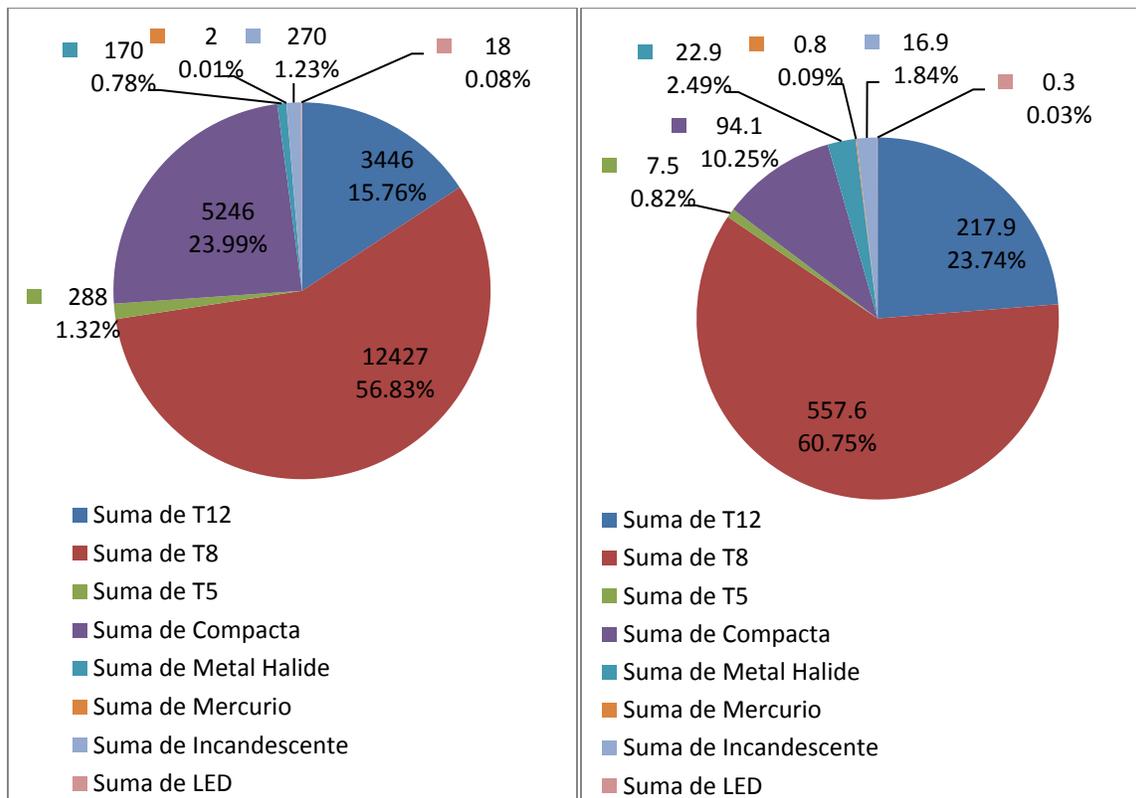
Para el sector confección se contaron con datos de 32 empresas, distribuidas en 8 grandes, 5 medianas, 18 pequeñas y 1 microempresa, para un total de 21867 lámparas y una potencia instalada de 918,2 kW.

El sistema de iluminación de las plantas se encuentra conformado principalmente por lámparas fluorescentes T8, T12, Compacta e Incandescentes; este subsector se caracteriza por ser uno de los de mayores consumidores en el servicio de iluminación, debido a las necesidades de los procesos productivos, los cuales requieren de unas zonas adecuadas para el control de calidad y para subsanar los problemas de salud ocupacional.

En la Figura 166 se presenta la potencia instalada de las lámparas T8 con un 56,83% (12427) lámparas, con una potencia instalada correspondiente al 60,73% (557,6 kW), seguido por la lámparas compactas con el 23,99% (5246) lámparas y una potencia instalada del 10,24% (94,1 kW). En esta medida se destaca planes de cambio de iluminación a las lámparas T8 y fluorescentes en esta industria. Sin embargo, debido a la gran cantidad de luminaria instalada muchas empresas aún guardan un rezago tecnológico con la instalación de luminaria T12 que representa el 12,76% (3446) lámparas con una potencia instala de 23,73% (217,9 kW) la cual supera en potencia a las fluorecentes pero con menor número de luminaria. De igual manera se encuentran las lámparas Incandescente con el 1,23% (270) lámparas con una potencia instalada de 1,84% (16,9 kW).

Los procesos de confección demandan una gran cantidad de luminaria para los procesos de costura y revisión de prendas. En menor medida se encuentran una implementación de luminarias ahorradora como las T5 y LED, las cuales varias empresas especializadas en la implementación de planes de cambio de iluminaria han procurado implementar en varias zonas cuantificadas para demostrar los potenciales de ahorro energético y económico, ofreciendo instalaciones de forma gratuita para pequeñas zonas, con objetivo de negociación e implementación en toda la planta. En la Figura 166 se presentan las T5 con el 1,32% (288) lámparas con una potencia instalada de 7,5% (0,81 kW), y las LED con el 0,08% (18) lámparas con una potencia instalada de 0,03% (0,3 kW).

Para zonas de exteriores se presentan las luminarias Metal Halide con el 0,78% (170) lámparas con una potencia instalada de 2,49% (22,9 kW), y las Mercurio con el 0,01% (2) lámparas con una potencia instalada de 0,09% (0,8 kW).



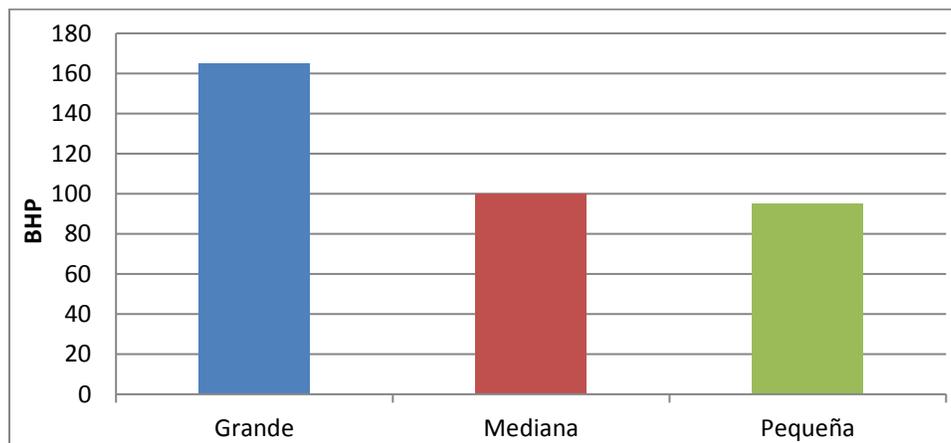
**Figura 166. Tipo de iluminaria usadas en el sector confección, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

#### 4.8.6 SECTOR CUERO. CIU 15

El análisis energético tanto eléctrico como térmico por subcódigo CIU 15 correspondiente al curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y artículos similares, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería; adobo y teñido de pieles, se lleva a cabo para cada uno de los principales procesos.

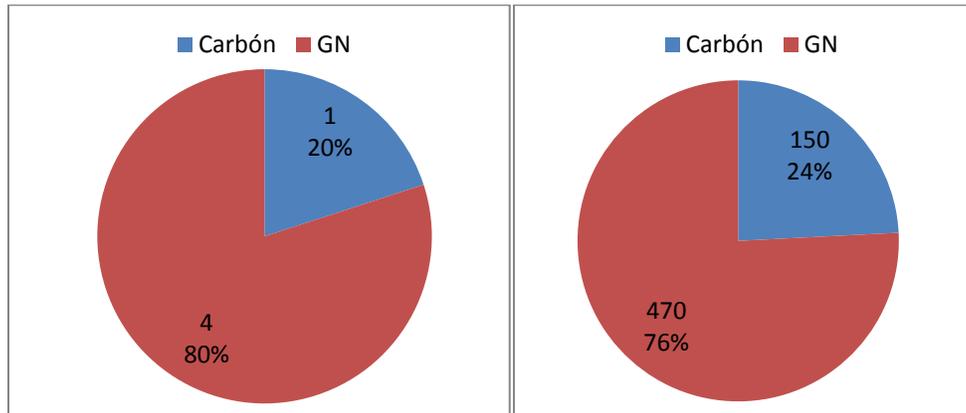
#### VAPOR

En la Figura 167 se presenta la distribución por potencia de calderas instalada según el tipo de empresa, donde se evidencia que las empresas grandes cuentan con potencia promedio de generación de vapor de 160 BHP. Una evidencia crítica ocurre con la potencia de las empresas pequeñas que presentan una potencia similar a las medianas (100 BHP), con lo cual sugiere que en este sector las potencias de generación de vapor no cuentan con un control en la adquisición de los equipos, y que posiblemente estos sean adquiridos por ofertas comerciales sin asesoramiento técnico, dado que las presiones de generación son menores a 100 psi.



**Figura 167 Promedio de capacidad instalada en calderas en BHP. Todos los tipos de calderas y combustibles**

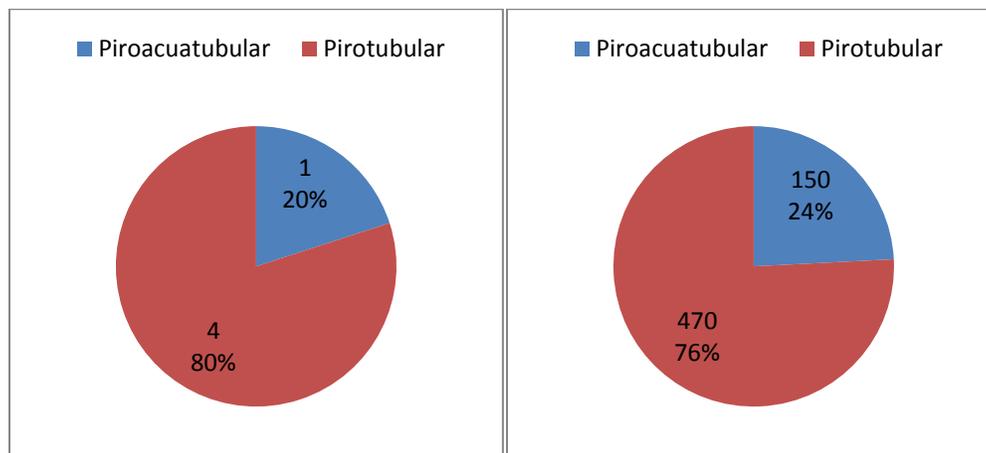
En la Figura 168 se ilustra la distribución de calderas de acuerdo a la cantidad y a la sumatoria de potencia instalada en relación al tipo de combustible, de la muestra de calderas, 5 pertenecen al sector cuero, donde el combustible más utilizado es el Gas Natural correspondiente al 80% del total de calderas del sector, el otro 20% emplea Carbón como energético. De igual forma, en cuanto a la sumatoria de potencia se encuentra que las calderas que operan con Gas Natural representan el 76% de la potencia instalada del sector. La edad media de las calderas corresponde al año 1982.



**Figura 168 Tipo de combustible utilizado en calderas sector cueros. Según la cantidad (izquierda) y la potencia en BHP (derecha)**

En la Figura 169 se observa la distribución de calderas por cantidad y por sumatoria de potencia instalada de acuerdo al tipo de caldera, en esta se evidencia que para las 5 calderas evaluadas en el sector cuero, las calderas que tienen mayor participación son las pirotubulares con el 80%.

Por otro lado, se muestra que de acuerdo con la sumatoria de potencia instalada, las calderas pirotubulares representan el 76% de la sumatoria de la potencia instalada en el sector, seguida por las calderas piroacuotubulares con el 24% restante.



**Figura 169 Tipo de calderas usadas en el sector cueros, según la cantidad (izquierda) y según la potencia en BHP (derecha)**

## FUERZA MOTRIZ

La distribución de las empresas por tamaño se encuentra en la Tabla 28 y en la Tabla 29. En estas se muestran los valores promedio del factor de carga y el número de horas trabajadas/año desagregadas por sector.

**Tabla 28 Cantidad de empresas del sector Cuero desagregadas por tamaño**

Cueros	Cantidad de empresas
Grande	2
Mediana	3
Micro	1
Pequeña	6

**Tabla 29 Valores promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

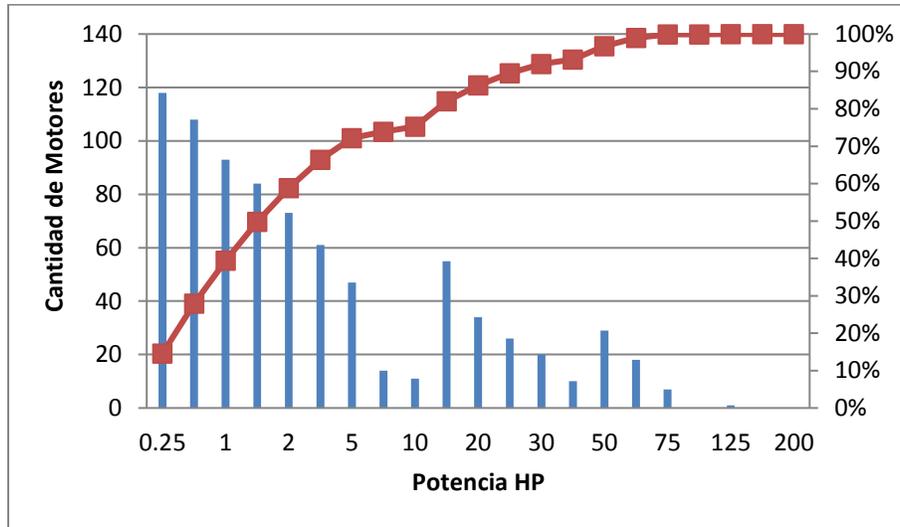
Cueros	Factor de Carga (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	53,92%	3712
Mediana	44,50%	2688
Micro	24,06%	2641
Pequeña	38,91%	2268

La mayoría de los motores en este subsector son de inducción, de eficiencia estándar y solo 4 motores son de alta eficiencia IE2, conociendo el hecho que varias empresas no tienen ningún motor de alta eficiencia. Los principales usos de los motores son para procesos de corte, esmerilado, prensado, desalinizado, curtido, bombas de vacío y transporte de producto. Las empresas tienen un alto grado de obsolescencia tecnológica con máquinas que tienen hasta más de 30 años y están expuestas a ambientes altamente corrosivos, por lo que las instalaciones y equipos están en deterioro permanente. Los motores de los “fulones” son los que se ven muy afectados por la operación y ambiente de trabajo, y muchos de ellos ya han sido rebobinados hasta más de 2 veces.

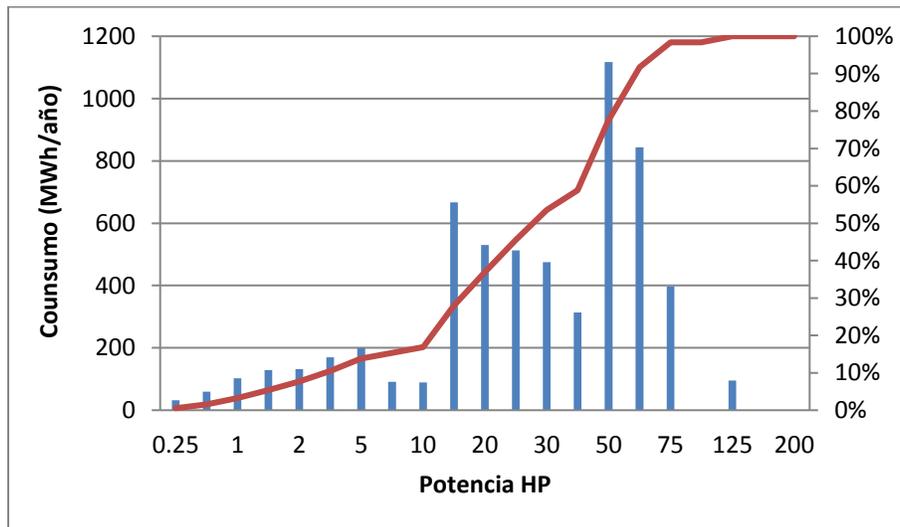
La distribución por potencias, relacionadas con la cantidad y con el consumo se representa mediante diagramas de Pareto de la siguiente forma.

En la Figura 170 se puede ver que el 50% de la cantidad de motores de la muestra corresponde a motores con potencias menores a 1,5 HP y la mayoría de los motores pertenecen a la potencia de 0,25 HP. Para el análisis del consumo se ilustra el 78% del consumo de motores le pertenecen a motores con potencias menores a 50 HP y éste valor de potencia es el que presenta el mayor consumo respecto a las otras. Los motores que lideran los consumos luego del de 50 HP son los de

60 HP que consumen 842 MWh/año y los de 15 HP con un consumo de 667 MWh/año, como se puede constatar en la Figura 171.



**Figura 170 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Cuero**



**Figura 171 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - Sector Cuero**

Por ser una muestra pequeña de empresas, se citará la información referente a la cantidad total de motores por tamaño, en la de tamaño grande cuenta con un total de 224 motores, de los cuales el 58% de la cantidad de motores tienen potencias menores a 20 HP. En el caso de las medianas tiene

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

369 motores y el 61% de éstos poseen potencias menores a 1,5 HP. Las empresas micro y pequeña asumen un 75% de motores con valores de potencia menores a 25 HP y el 42% de la cantidad de motores es menor a 0,25 HP respectivamente.

## **ILUMINACIÓN**

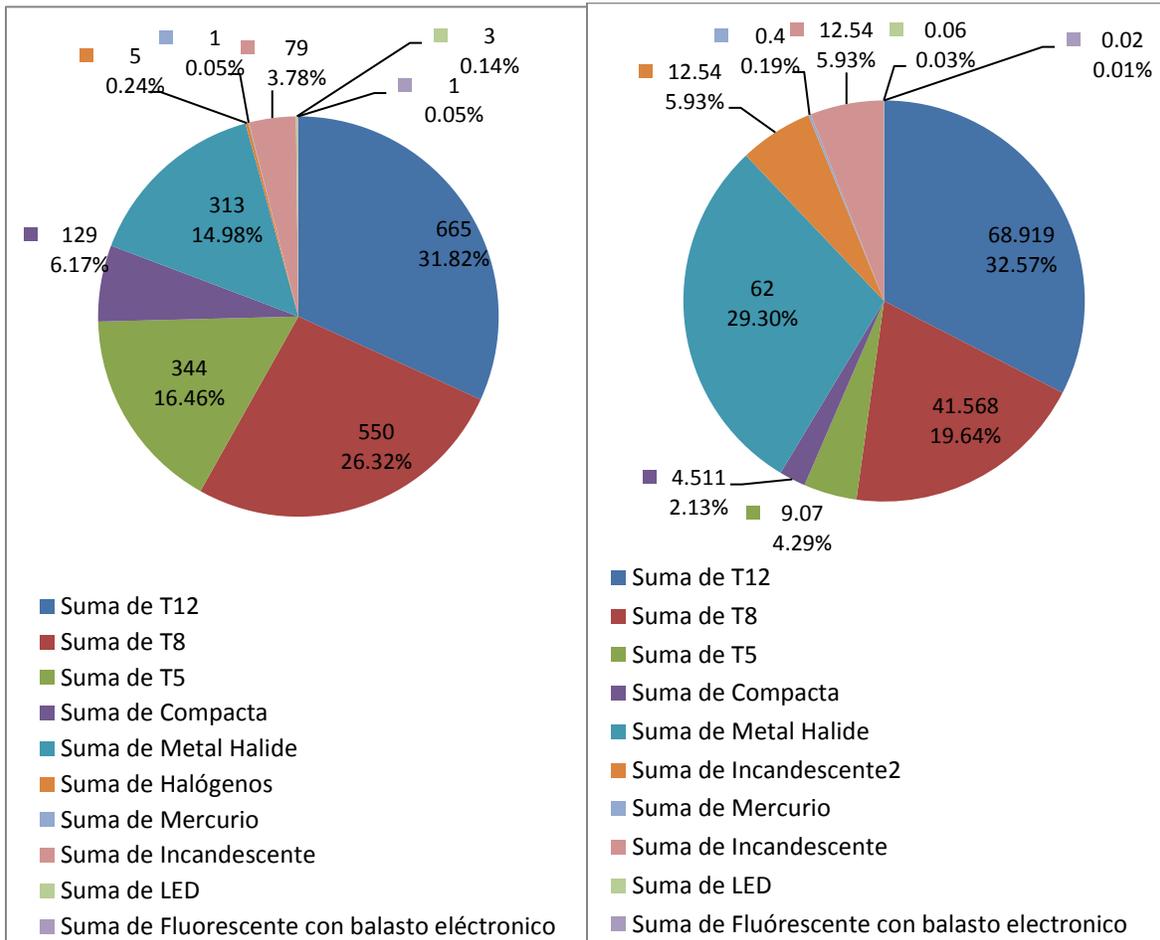
Para el sector cuero se contaron con datos de 12 empresas, distribuidas en 2 grandes, 5 medianas, 4 pequeñas y 1 microempresa, para un total de 2090 lámparas y una potencia instalada de 211,6 kW. En cuanto a iluminación se refiere, la mayoría de las luminarias son lámparas fluorescentes T12, T8 y Metal Halide, con unos inicios de participación de la luminaria fluorescentes T5 y LED.

Es notorio que en éste subsector se presenta una alta obsolescencia en tecnologías para iluminación, por lo cual al realizar sustituciones por luminarias más eficientes, se obtendría un ahorro aproximado del 20% del consumo de energía destinado para este servicio. A pesar del grado de obsolescencia, algunas de las empresas se preocupan por realizar mediciones y llevar un control de indicadores de eficiencia energética.

En la Figura 172 se muestra para el proceso productivo las fluorescentes T12 con el 31,82% (665) lámparas que representan una potencia instalada de 68,9 kW (34,53%), seguido de las T8 con el 26,32% (550) con una potencia instalada de 41,6 kW (20,82%), las Metal Halide con el 14,98% (313) y una potencia instalada correspondiente a 62 kW (31,06%). Un rezago tecnológico se presenta con las lámparas incandescentes con el 3,78% (79) lámparas y una potencia instalada de 12,5 kW (6,28%).

La participación de luminaria con ahorro energético se identifica a las fluorescentes T5 con el 16,46% (344) con una potencia instalada de 9,1 kW (4,54%), y compacta (LFC) con el 6,17% (129) lámparas y una potencia instalada de 4,5 kW (2,26%). Una muy baja proporción se identifican para la luminaria LED con el 0,14% (3) lámparas y una potencia instalada de 0,1 kW (0,03%). Se evidencia un gran rezago tecnológico en este sector, debido a faltas de políticas de las empresas respecto a la gestión energética y a la falta de personal calificado que contribuya con buenas prácticas en el uso racional y eficiente de la energía.

En menor proporción se presentan las luminarias Halógenos con el 0,24% (5) lámparas con una potencia instalada de 0,5 kW (0,27%), Mercurio con el 0,05% (1) lámparas con una potencia instalada de 0,4 kW (0,2%). Mercurio con el 0,05% (1) lámparas con una potencia instalada de 0,4 kW (0,2%), y Fluorescente con balasto electrónico con el 0,05% (1) lámparas con una potencia instalada de 0,02 kW (0,01%).



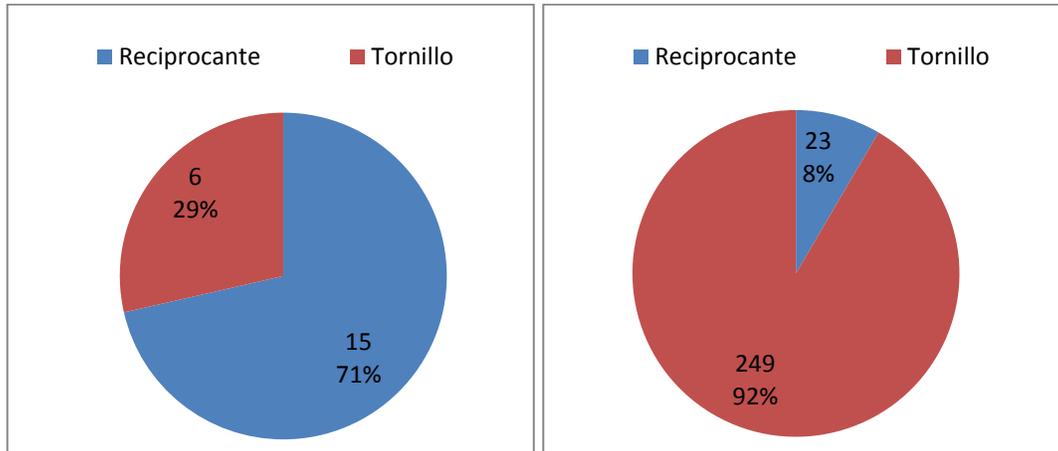
**Figura 172. Tipo de iluminaria usadas en el sector cuero, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

### CALIDAD DE ENERGÍA

Respecto a la calidad de la energía, se encontró que en todas las empresas tienen instalados bancos de condensadores para corregir el factor de potencia, con el fin de no recibir penalizaciones por consumo de energía reactiva; entre tanto los filtros para la eliminación de armónicos son muy poco utilizados, aun cuando en algunas empresas se encontraron niveles de THD de corriente significativos es necesario aclarar que para determinar si los niveles de THD de corriente son superiores a los establecidos en la norma IEEE 519, se deben realizar estudios más detallados en los circuitos eléctricos de la empresa.

### AIRE COMPRIMIDO

En la Figura 173 se ilustra la distribución de compresores de acuerdo a la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector cuero, de la muestra de compresores 21 pertenecen a este sector. Se han encontrado compresores de tornillo y recíprocos; donde los compresores recíprocos tienen una participación del 71% de la cantidad de compresores del sector cuero, seguido por los compresores de tornillo con el 29% restante. Por otro lado, los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 92%.



**Figura 173 Distribución de tipo de compresores en sector cuero según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW (derecha).**

### REFRIGERACIÓN

Las curtimbres de pieles especiales; cuero de babilla, serpientes y aves, tienen unidades de refrigeración para el almacenamiento y conservación de la piel y se tienen cavas de almacenamiento con potencias de 3 a 5 toneladas de refrigeración y es adaptada del sector comercial. Aunque es de resaltar la mayoría de empresas del sector se dedican al procesamiento de pieles de bovino, por lo que este tipo de sistemas de refrigeración no es normal.

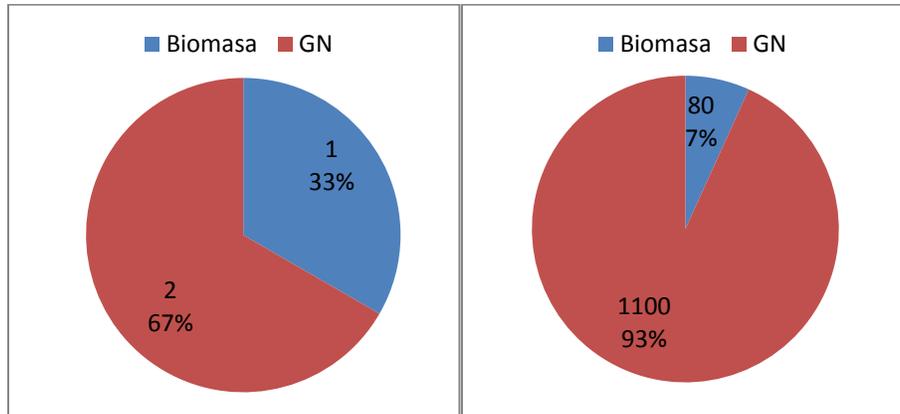
#### 4.8.7 SECTOR MADERA. CIU 16

A continuación se presenta el análisis térmico y uso de fuerza motriz para el sector

### VAPOR

En la Figura 174 se ilustra la distribución de calderas de acuerdo a la cantidad y a la sumatoria de potencia instalada en relación al tipo de combustible, de la muestra de calderas 3 pertenecen al sector madera, donde el combustible más utilizado es el Gas Natural correspondiente al 67% del total de calderas del sector, el otro 33% emplea Carbón como energético. De igual forma, en cuanto

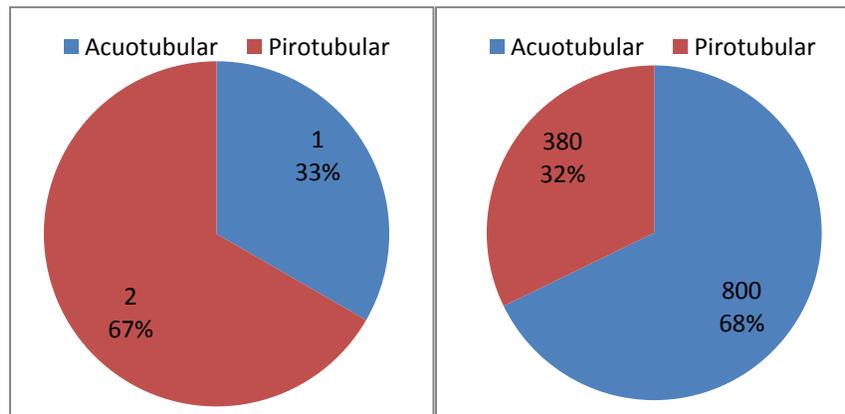
a la sumatoria de potencia se encuentra que las calderas que operan con Gas Natural representan el 93% de la potencia instalada del sector. La edad media de las calderas corresponde al año 2000.



**Figura 174 Tipo de combustible utilizado en calderas sector madera. Según la cantidad (izquierda) y potencia en BHP (derecha)**

En la Figura 175 se ilustra la distribución de calderas por cantidad y por sumatoria de potencia instalada de acuerdo al tipo de caldera, en esta se evidencia que para las 3 calderas evaluadas en el sector madera, las calderas que tienen mayor participación son las pirotubulares con el 67%.

Por otro lado, se muestra que de acuerdo a la sumatoria de potencia instalada, las calderas acuotubulares representan el 68% de la sumatoria de la potencia instalada en el sector, seguida por las calderas pirotubulares con el 32% restante.



**Figura 175 Tipo de calderas usadas en el sector madera, según la cantidad (izquierda) y la potencia (derecha)**

## FUERZA MOTRIZ

La fuerza motriz en el sector madera tuvo una muestra de 5 empresas, las cuales se desagregaron por tamaño y se les asignaron sus valores promedios respectivo de factor de carga y las horas promedio de trabajo/ año realizado. En la Tabla 30 y Tabla 31 se muestra la información anteriormente mencionada.

**Tabla 30 Cantidad de empresas del sector Cuero desagregadas por tamaño**

Madera	Cantidad de empresas
Mediana	1
Micro	2
Pequeña	3

**Tabla 31 Valores promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

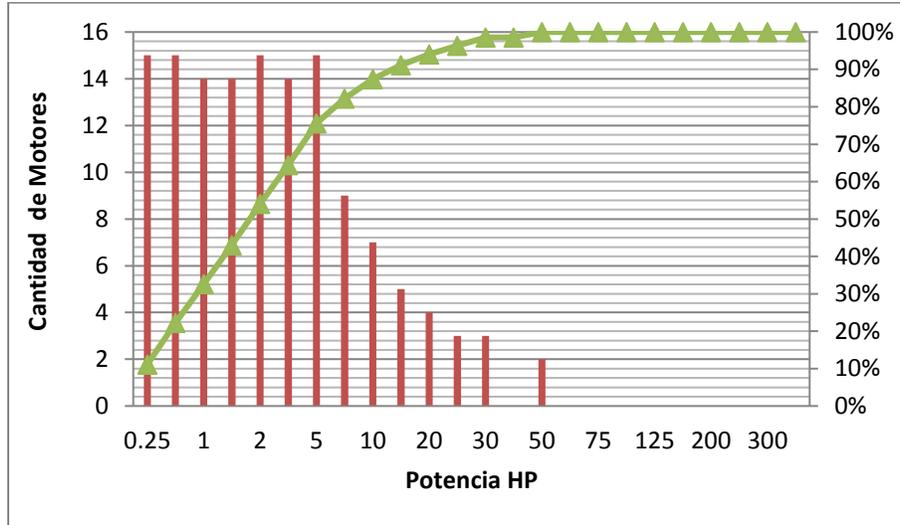
Madera	Factor de Cargo (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Mediana	26,09%	2880
Micro	62,80%	722
Pequeña	25,80%	2600
Promedio	38,18%	2021

El subsector manufacturero para procesamiento de maderas utiliza motores de inducción para la fuerza motriz. Estos motores son de eficiencia estándar, oscilando entre el 75% y 89%. Se encontraron 3 motores de alta eficiencia generación IE2 y un motor de eficiencia Premium generación IE3 utilizados en compresores de aire. Estos motores se usan principalmente para procesos de corte, triturado, ventilación, bombeo, transporte de producto y materia prima a través de bandas transportadoras.

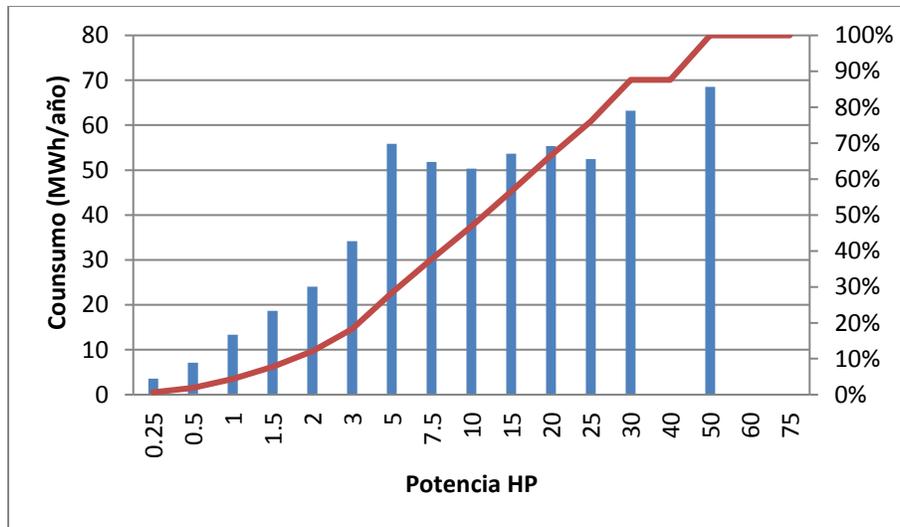
Se evidencia un alto grado de obsolescencia de las maquinas en las plantas visitadas, con edades de equipos entre 30 y 50 años. Muchos equipos trabajan con una carga variable que en ocasiones conlleva a que los motores operen con un bajo factor de carga el cual afecta notoriamente el factor de potencia y la eficiencia de estos motores. Es común la práctica del rebobinado de motores cuando se presentan averías en estos, sin realizar reposición ni cambio a motores de alta eficiencia.

La cantidad de motores de la muestra es de 135 unidades y la relación de consumo y cantidad por valores de potencias se relaciona a continuación. El 76% de la cantidad total de los motores del sector madera están entre las potencias menores a 5HP y la distribución de la cantidad de éstos está repartida casi igual en el rango de 0,25 HP a 5 HP, como se observa en la Figura 176. Haciéndose

referencia al consumo, el 47% lo realizan los motores de las potencias menores a 10 HP aunque el mayor consumo lo registran los motores de 50 HP, como se ilustra en la Figura 177.



**Figura 176 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Madera**



**Figura 177 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Madera**

## ILUMINACIÓN

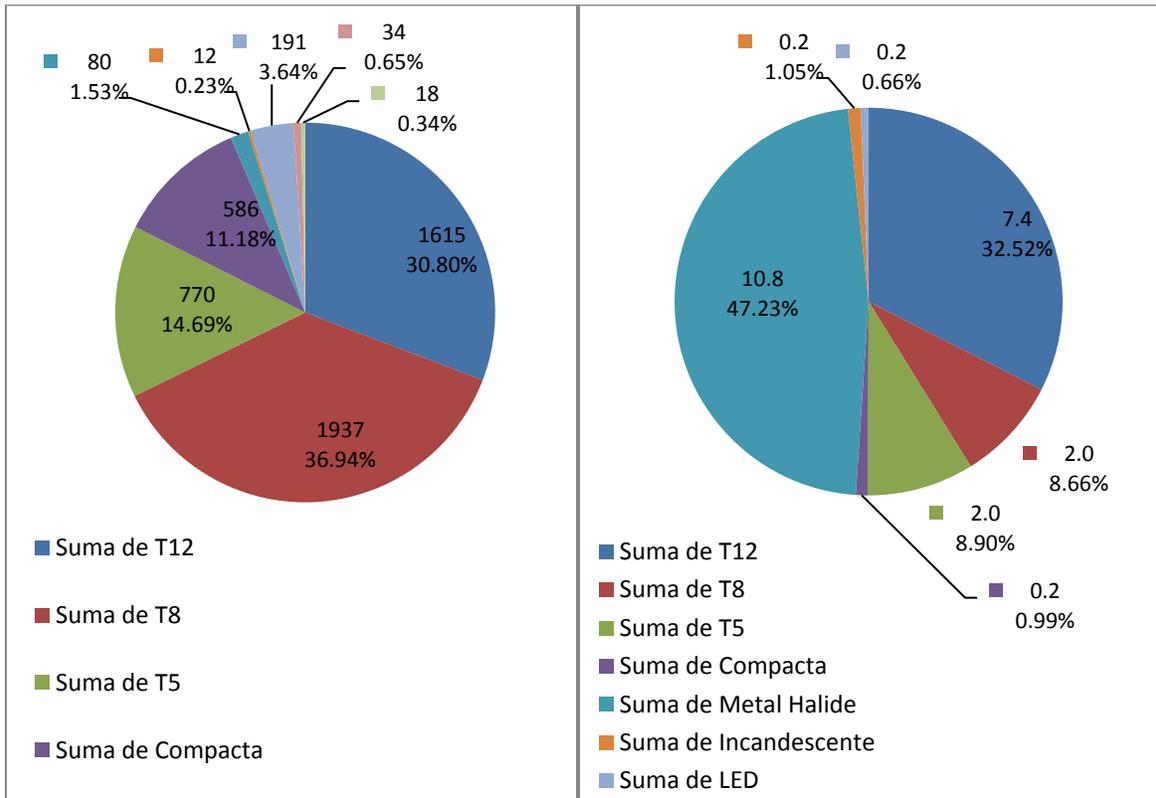
Para el sector madera se contaron con datos de 10 empresas, distribuidas en 2 grandes, 2 medianas, 4 pequeñas y 2 microempresa, para un total de 352 lámparas y una potencia instalada de 22,9 kW, como se muestra en la Figura 178.

Del total de empresas visitadas en el subsector de maderas, se evidenció una alta utilización de luminarias T5 con el 32,10% (113) lámparas y una potencia instalada de 2,03 kW (8,9%). Sin embargo aún existe un atraso en los cambios de políticas de varias empresas respecto al cambio de la luminaria T12 que representa el 25% (88) lámparas y una potencia instalada de 7,4 kW (32,52%), y las incandescentes con el 1,14% (4) lámparas y una potencia instalada de 0,2 kW (1,05%).

Debido a que esta empresa cuenta con gran parte de sus procesos en ambientes al aire libre o bajo techo, las luminarias tipo metal halide presentan una alta participación respecto a potencia instalada con 10,8 kW (47,23%) y un número de 78 lámparas (22,16%).

La participación en menor grado de otro tipo de lámparas ahorradoras se evidencia con una baja implementación en los planes de cambios tecnológicos como las lámparas T8 con el 12,5% (44) lámparas y una potencia instalada de 2 kW (8,66%), Compacta (LFC) con el 4,55% (16) lámparas y una potencia instalada de 0,2 kW (0,99%), y LED con el 2,56% (9) lámparas y una potencia instalada de 0,2 kW (0,66%).

Este sector industrial todavía tiene mucho potencial de ahorro energético. Si se llegara a implementar una sustitución de luminarias fluorescentes tipo T12 por unas más eficientes como las T8 o T5, esta estrategia conduciría a un ahorro estimado superior al 25% del consumo de energía eléctrica destinado para el servicio de iluminación.



**Figura 178. Tipo de iluminaria usadas en el sector madera, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

### AIRE COMPRIMIDO

En la Figura 179 se ilustra la distribución de compresores de acuerdo con la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector madera, de la muestra de compresores 22 pertenecen a este sector, en el sector madera se han encontrado compresores recíprocos y de tornillo; donde los compresores de tornillo tienen una participación del 59% de la cantidad de compresores del sector madera, seguido por los compresores recíprocos con 41% restante; igualmente los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 75%.

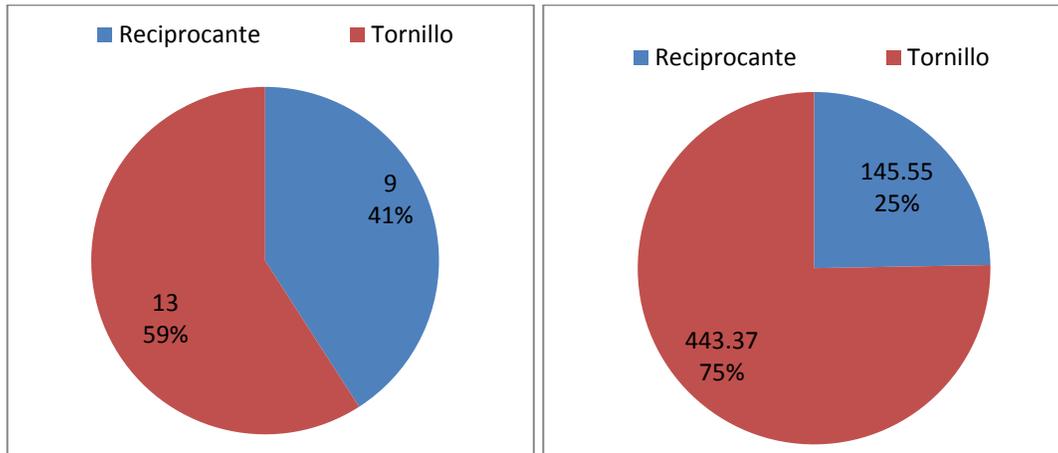


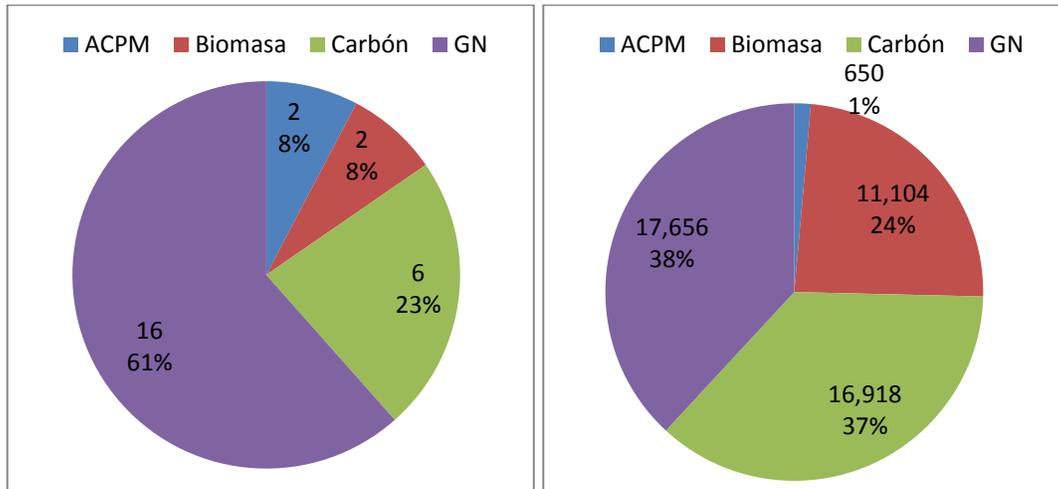
Figura 179 Distribución de tipo de compresores en sector madera según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW (derecha).

#### 4.8.8 SECTOR PAPEL. CIU 17

A continuación se presenta el análisis térmico y uso de fuerza motriz para el sector

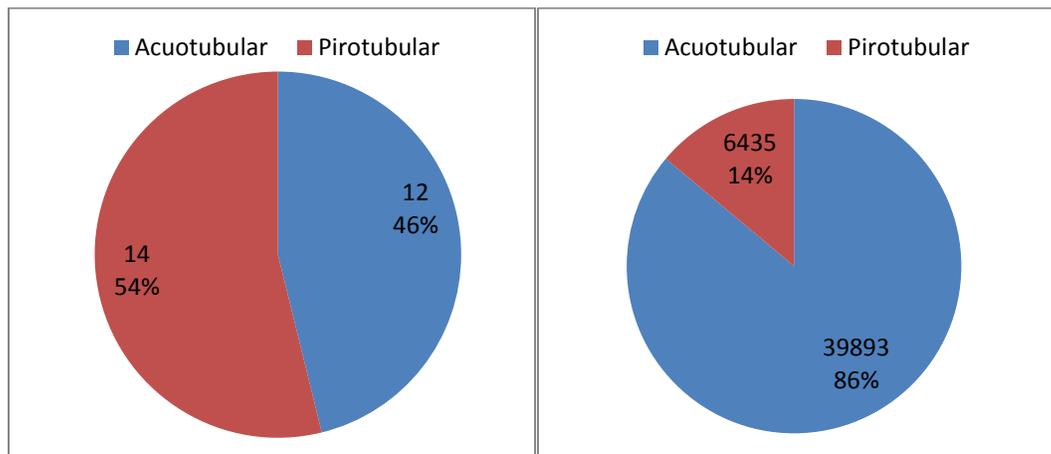
##### VAPOR

En la Figura 180 se ilustra la distribución de calderas de acuerdo con la cantidad y a la sumatoria de potencia instalada en relación al tipo de combustible, de la muestra de calderas 21 pertenecen al sector papel, donde el combustible más utilizado es el Gas Natural correspondiente al 61% del total de calderas del sector, seguido por el Carbón con 23%. De igual forma, en cuanto a la sumatoria de potencia se encuentra que las calderas que operan con Gas Natural representan el 38% de la potencia instalada del sector, seguido por la Biomasa y el carbón con 24 y 37% respectivamente. La edad media de las calderas corresponde al año 1991.



**Figura 180 Tipo de combustible utilizado en calderas sector papel. Según la cantidad (izquierda) y la potencia (derecha)**

En la Figura 181 se ilustra la distribución de calderas por cantidad y por sumatoria de potencia instalada de acuerdo al tipo de caldera, en esta se evidencia que para las 21 calderas evaluadas en el sector papel, en función de la cantidad las calderas pirotubulares y acuotubulares tienen igual participación. Por otro lado, se muestra que de acuerdo a la sumatoria de potencia instalada, las calderas acuotubulares representan el 86% de la sumatoria de la potencia instalada en el sector, seguida por las calderas pirotubulares con el 14% restante.



**Figura 181 Tipo de calderas usadas en el sector papel, según la cantidad (izquierda) y la potencia (derecha)**

## FUERZA MOTRIZ

El sector papel agrupó como muestra a 16 empresas las cuales se muestran en la Tabla 32 de forma desagregada por tamaños, también en la Tabla 33 están desagregados los factores promedio de carga al igual que las horas promedio de trabajo/año.

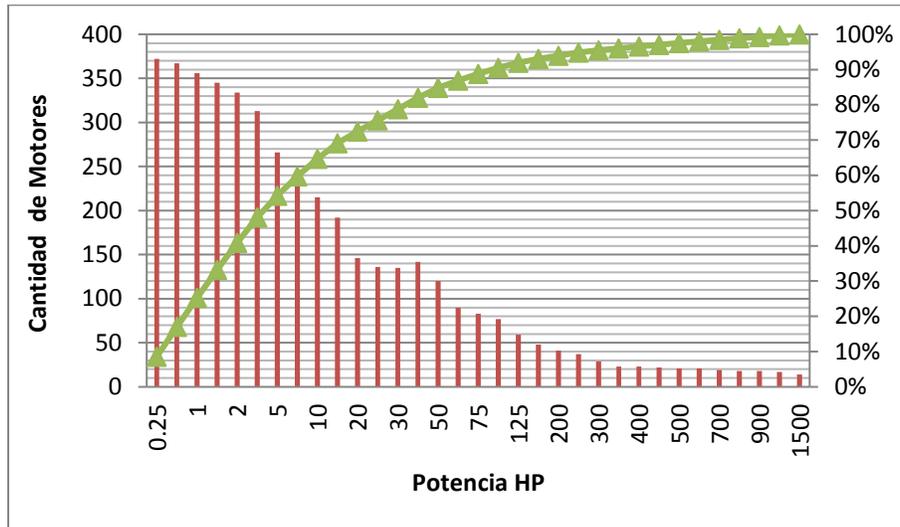
**Tabla 32 Cantidad de empresas del sector papel desagregadas por tamaño**

Papel	Cantidad de empresas
Grande	12
Mediana	5
Pequeña	1

**Tabla 33 Promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

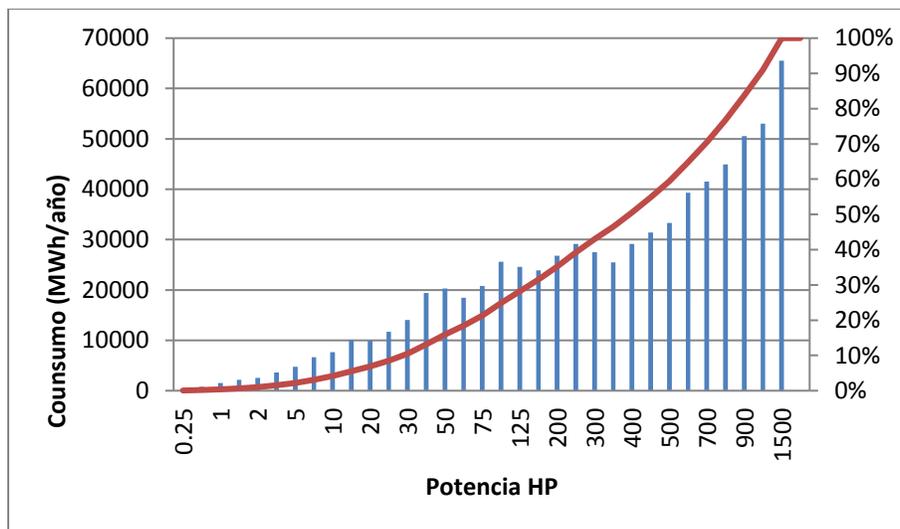
Papel	Factor de Carga (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	56,18%	7892
Mediana	66,93%	4842
Pequeña	51,76%	2496
Promedio	59,08%	6745

Los datos generales de la cantidad de motores y sus consumos respectivos, se verán reflejados en los diagramas de Pareto. En la Figura 182 se observa que el 91% de los motores son menores de 100 HP.



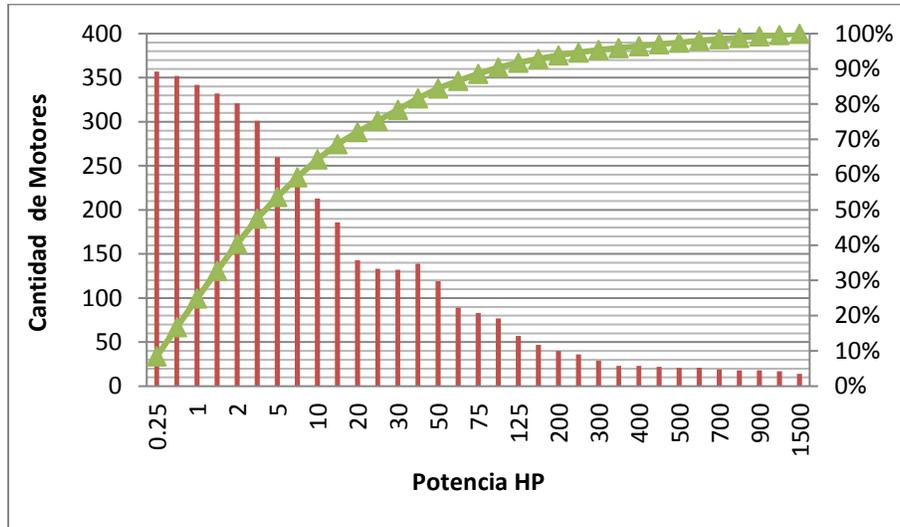
**Figura 182 Diagrama de Pareto de cantidad de motores – Sector Papel**

El consumo en el sector papel presenta una característica particular, como se puede apreciar en la Figura 183. Los consumos más altos se presentan en los motores que tienen potencias superiores a 400 HP, caso contrario a los que se han analizado en los otros sectores, que indican los mayores consumos en los de potencias pequeñas. El mayor consumo es registrado por los motores de 1500 HP con un consumo de 65217,66 MWh/año, teniendo en cuenta que el consumo total del sector es de 726523,4089 MWh/año.

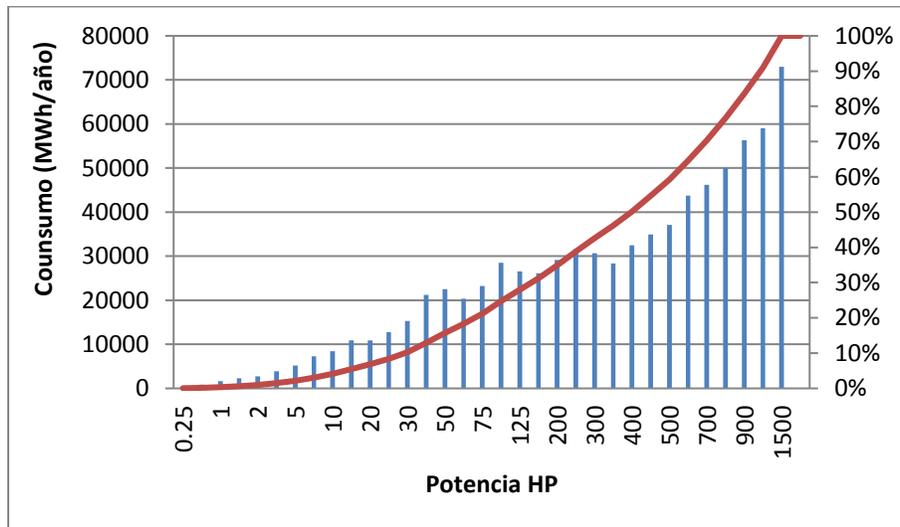


**Figura 183 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Papel**

En las empresas de tamaño grande del sector papel el 64% de la cantidad de motores de la muestra, con tiene potencias a 10 HP y con una distribución de la cantidad de motores equitativa entre valores de potencia de 0,25 HP a 3 HP como se observa en la Figura 184.



**Figura 184 Diagrama de Pareto de cantidad de motores – Sector Papel – Tamaño grande**



**Figura 185 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año – Sector Papel – Tamaño grande**

El 39% del consumo corresponde a los motores con potencias menores a 250 HP y se sigue identificando que el mayor consumo lo realizan los motores de potencias superiores, siendo el de 1500 el que tenga el mayor consumo. Por ser el tamaño que más datos arrojó a la muestra, se nota que en la Figura 185 se comporta casi igual que la del sector papel en general.

## **ILUMINACIÓN**

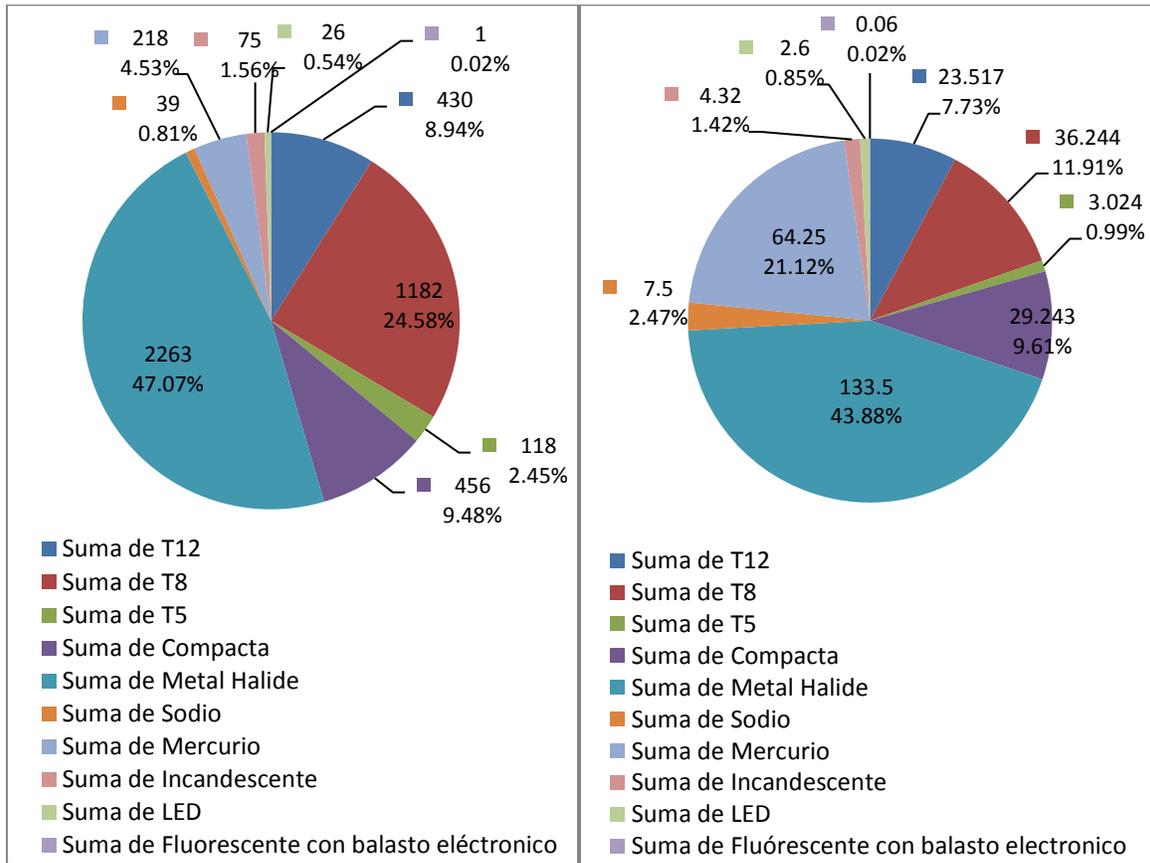
Para el sector papel se contaron con datos de 21 empresas, distribuidas en 14 grandes, 6 medianas, y 1 pequeña, para un total de 4808 lámparas y una potencia instalada de 304,3 kW.

Se puede observar en la Figura 186 la distribución de las luminarias para el sector Papel. Aunque hay una tendencia en el sector productivo hacia la implementación de luminarias fluorescentes tipo T8 las cuales cuentan con una participación del 24,58% (1182) lámparas con una potencia instalada de 36,2 kW (11,91%), todavía hay una participación importante en la iluminación de exteriores con la luminarias tipo Metal Halide con el de 47,07% (2263) y una potencia de 133,5 kW (43,88%), seguidas de luminarias de mercurio con una participación inferior con el 4,53% (218) lámparas – 64,3 kW (21,12%)

El tipo de implementación respecto a luminaria con bajo consumo se destaca las fluorescentes compactas (LFC) con el 9,48% (456) lámparas – 29,2 kW (9,61%), seguidas de las T5 con el 2,45% (118) – 3 kW (0,99%); en menor medida se destaca la implementación de la luminaria LED con el 0,54% (26) lámparas – 2,6 kW (0,85%).

No obstante en el sector aún se encuentran luminaria con mayores consumo que las ahorradoras como las florescentes T12 con el 8,94% (430) lámparas – 23,5 kW – (7,73%), y las incandescentes con el 1,56% (75) – 4,3 kW (1,42%). En una menor medida se encuentran las de sodio con una participación del 0,81% (39) - 7,50 kW (2,47%).

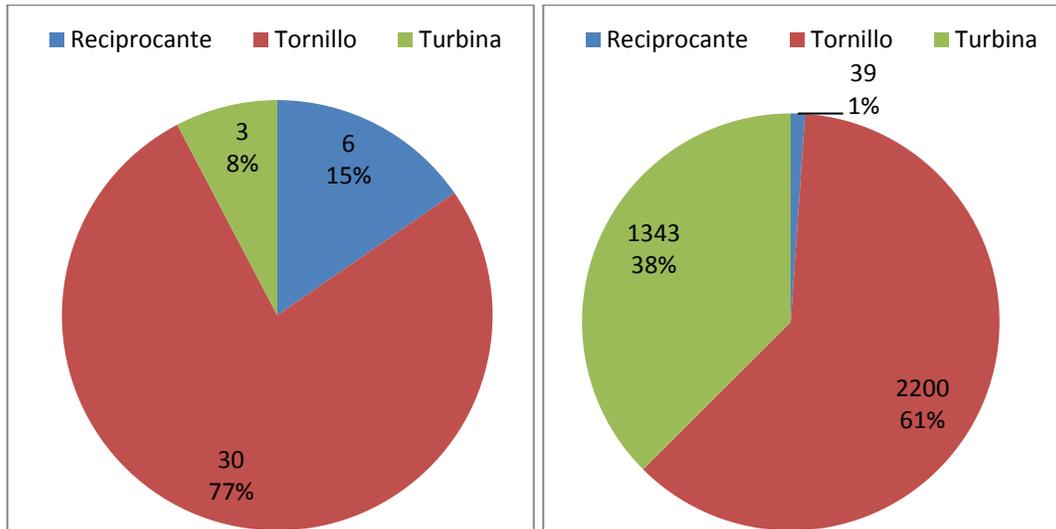
Implementar un proyecto de sustitución de luminarias por unas más eficientes como las T8 o T5, se obtendría un ahorro superior al 40% por el consumo de energía destinado para este servicio.



**Figura 186. Tipo de iluminaria usadas en el sector papel, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

### AIRE COMPRIMIDO

En la Figura 187 se ilustra la distribución de compresores de acuerdo con la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector papel, de la muestra de compresores 39 pertenecen a este sector, en el sector papel se han encontrado compresores centrífugos, de tornillo y reciprocantes; donde los compresores de tornillo tienen una participación del 77% de la cantidad de compresores del sector papel, seguido por los compresores reciprocantes con un 15%. Por otro lado los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 61%, seguidos por los centrífugos con el 38%.



**Figura 187** Distribución de tipo de compresores en sector papel según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW (derecha).

#### 4.8.9 SECTOR IMPRESIÓN. CIU 18

El análisis energético tanto eléctrico como térmico por subcódigo CIU 18 de Impresión se lleva a cabo para cada uno de los principales procesos.

#### FUERZA MOTRIZ

El sector impresión cuenta con una muestra de 16 empresas desagregadas por tamaños, como se muestra en la Tabla 34, donde cada uno proporcionó una cantidad específica de motores y se realizaron los cálculos de cantidad y consumo respecto a la potencia con los valores promedio de los factores de carga y las horas promedio de trabajo/año plasmadas en la Tabla 35.

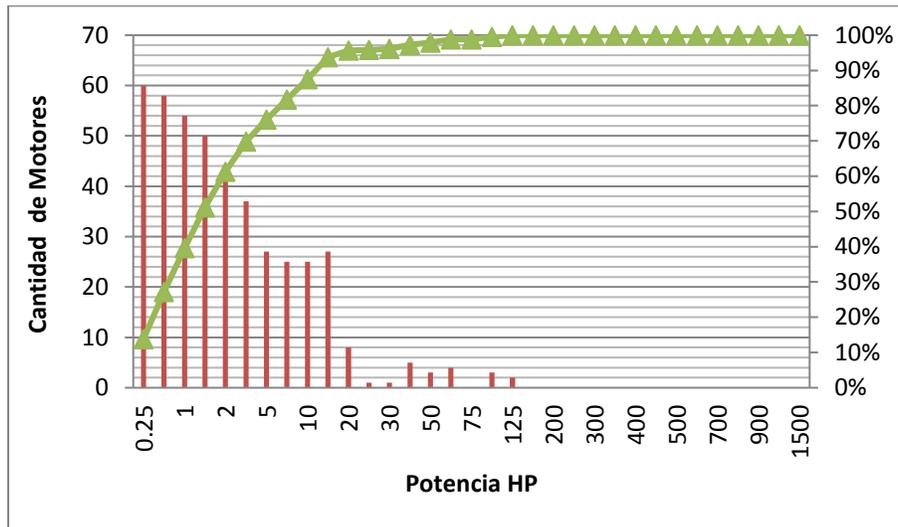
**Tabla 34** Cantidad de empresas del sector Cuero desagregadas por tamaño

Impresiones	Cantidad de empresas
Grande	2
Mediana	5
Pequeña	11

**Tabla 35 Promedio de factor de carga y horas de trabajo/año desagregadas por tamaño**

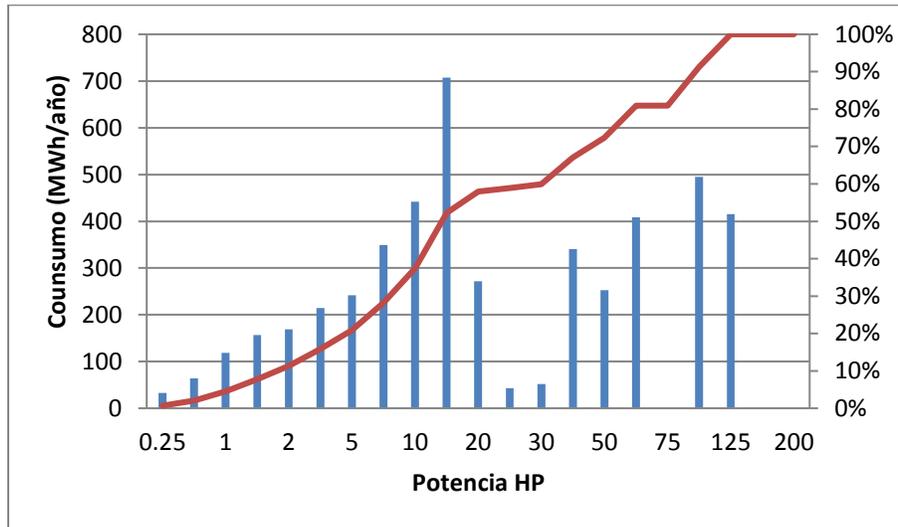
Impresiones	Factor de Cargo (promedio)	Horas de trabajo/año (promedio)
Grande	73,00%	5492
Mediana	68,67%	2540
Pequeña	43,51%	3844
Micro	53,78%	3665

La cantidad de motores registrado es de 434 unidades, del diagrama de Pareto se obtiene que el 61% de la cantidad total de los motores tienen potencias por debajo de 2 HP como se muestra en la Figura 188.



**Figura 188 Diagrama de Pareto de cantidad de motores - Sector Impresiones**

El sector impresiones maneja un valor de consumo de 4773,969214 MWh/año. Los motores con potencias de 15, 60 HP, 100 HP y 125 HP presentan los consumos más alto comparados con los otros valores de potencia, como se presenta en la Figura 189.



**Figura 189 Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica año - sector Impresiones**

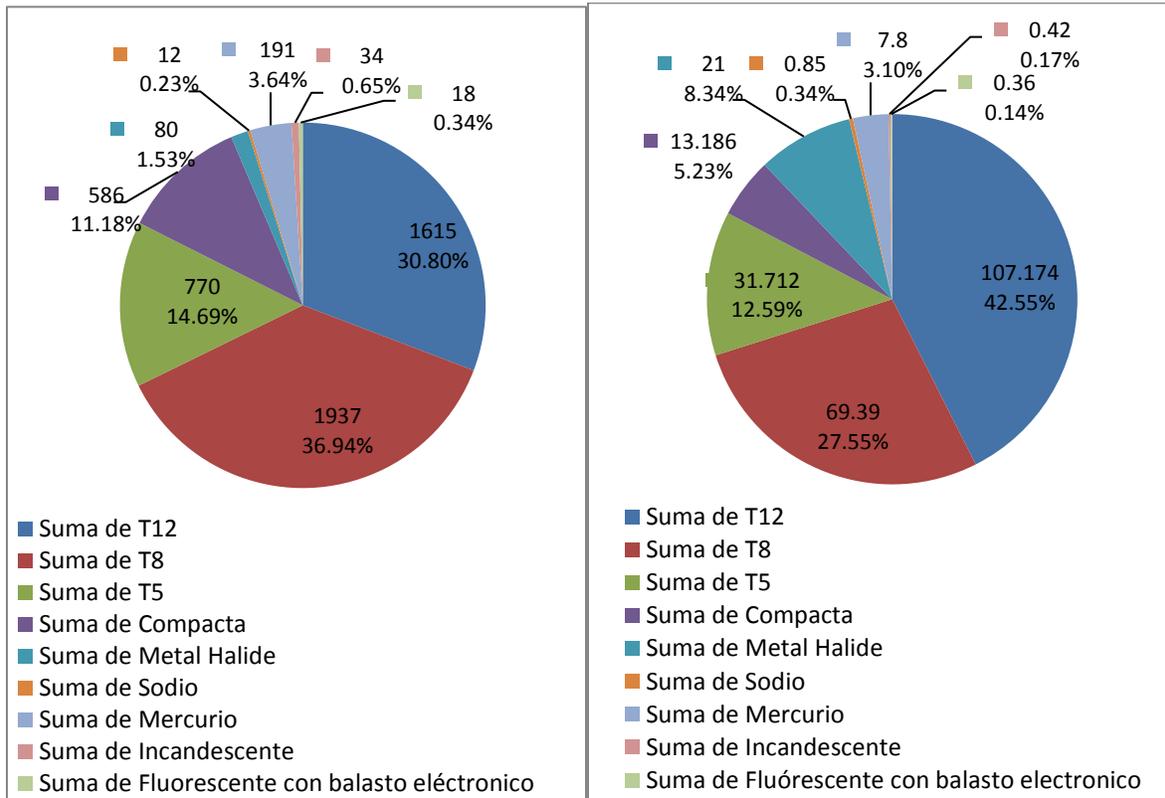
## ILUMINACIÓN

Para el sector impresión se contaron con datos de 21 empresas, distribuidas en 4 grandes, 5 medianas, y 12 pequeña, para un total de 5256 lámparas y una potencia instalada de 255,1 kW.

En las diferentes visitas a empresas de este subsector, se encontró que en el servicio de iluminación predomina el uso de lámparas fluorescentes del tipo T8, T12 y T5. En la Figura 190 se puede observar un resumen del inventario de iluminación de las empresas que se han visitado en este subsector. Como se puede deducir de la gráfica, hay un potencial de reducción del consumo energético, especialmente con la sustitución de las lámparas fluorescentes T12, que todavía tienen una participación del 30,8% (1615) lámparas, y una potencia instalada de 107,2 kW (42,55%), aun cuando varias de estas empresas, han realizado acciones para hacer un uso más eficiente de la energía en el servicio de iluminación, especialmente actualizando su inventario a luminarias más eficientes como las fluorescentes T8 con el 30,8%(1615) lámparas – 69,4 kW (27,55%), y T5 con el 14,69% (770) lámparas con el 31,5 kW (12,59%) y realizando adecuaciones para aprovechar al máximo la luz natural.

La instalación de luminaria ahorradora como las compactas (LFC) que representan el 11,18% (586) lámparas – 13,2 kW (5,23%) se destina para zonas de producción y oficinas.

No obstante aún se encuentran instaladas lámparas Incandescente 0,65% (34) lámparas -0,42 kW (0,17%) y Fluorescente con balasto electrónico 0,34% (18) – 0,36 kW (0,14%).



**Figura 190. Tipo de iluminaria usadas en el sector impresión, según el número de luminarias (izquierda) y según la potencia instalada en kW (derecha).**

En algunas empresas de este subsector se hizo un cálculo aproximado para determinar el potencial de reducción de consumo energético, en el cual se estimaron ahorros desde el 30% hasta el 70% del consumo de energía eléctrica destinado para el servicio de iluminación. En algunas empresas hicieron el cambio de luminarias fluorescentes T12 por luminarias fluorescentes T8 o T5, y no recibieron asesoría en este tema, por lo que el cambio fue uno a uno y la distribución no fue la más adecuada, desaprovechando de esta manera una gran parte del potencial de reducción de consumo energético.

### OBSERVACIONES RELACIONADAS CON BUENAS PRÁCTICAS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

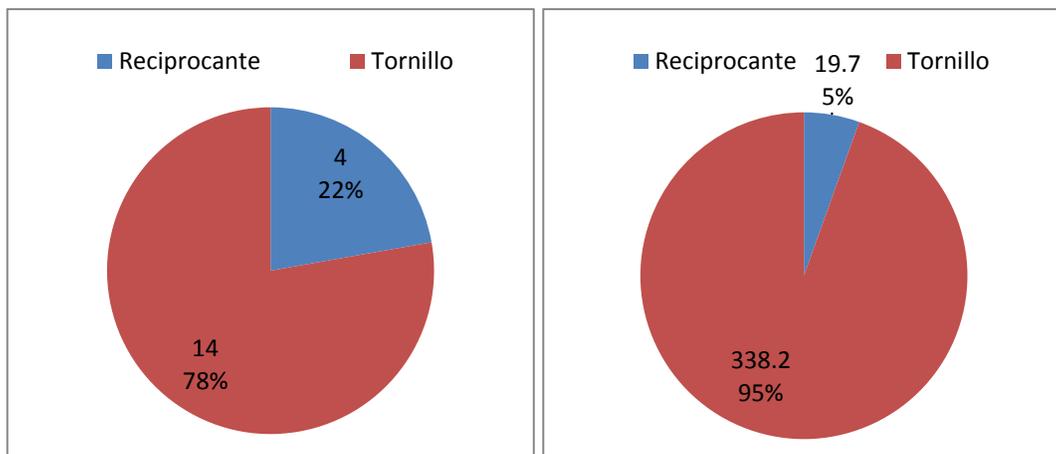
La mayor parte de empresas visitadas de este subsector, no lleva un inventario de los equipos de fuerza motriz; además no se realizan medidas de consumo de manera individual, no se tienen indicadores de eficiencia energética, y difícilmente se lleva una hoja de vida, con la información histórica de los equipos eléctricos. Cabe resaltar que algunas empresas optan por reemplazar completamente un servomotor, cuando este falla y de ninguna manera eligen su reparación, ya que es costosa y es más rentable adquirir uno nuevo.

*DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SUBSECTORES MANUFACTUREROS, CÓDIGOS CIU 10 A 18 EN COLOMBIA. INFORME FINAL*

La actualización tecnológica de este subsector, es un factor común en varias empresas visitadas, algunas de ellas, están asistiendo permanentemente a ferias y eventos nacionales e internacionales para captar las tendencias más importantes en equipos de impresión, como las máquinas rotativas. Por otro lado, las empresas que se encuentran todavía en un rezago tecnológico, muestran interés por la actualización de sus procesos, pero tienen dificultades económicas para llevarla a cabo.

### AIRE COMPRIMIDO

En la Figura 191 se ilustra la distribución de compresores de acuerdo con la cantidad y la sumatoria de potencia en relación al tipo de compresor para el sector impresión, de la muestra de compresores 18 pertenecen a este sector, en el sector impresión se han encontrado compresores recíprocos y de tornillo; donde los compresores de tornillo tienen una participación del 82% de la cantidad de compresores del sector impresión, seguido por los compresores recíprocos con 18% restante; igualmente los compresores que más participación tienen de acuerdo a sumatoria de potencia instalada son los compresores de tornillo con el 95%.



**Figura 191 Distribución de tipo de compresores en sector impresión según la cantidad (izquierda) y la potencia en kW (derecha).**

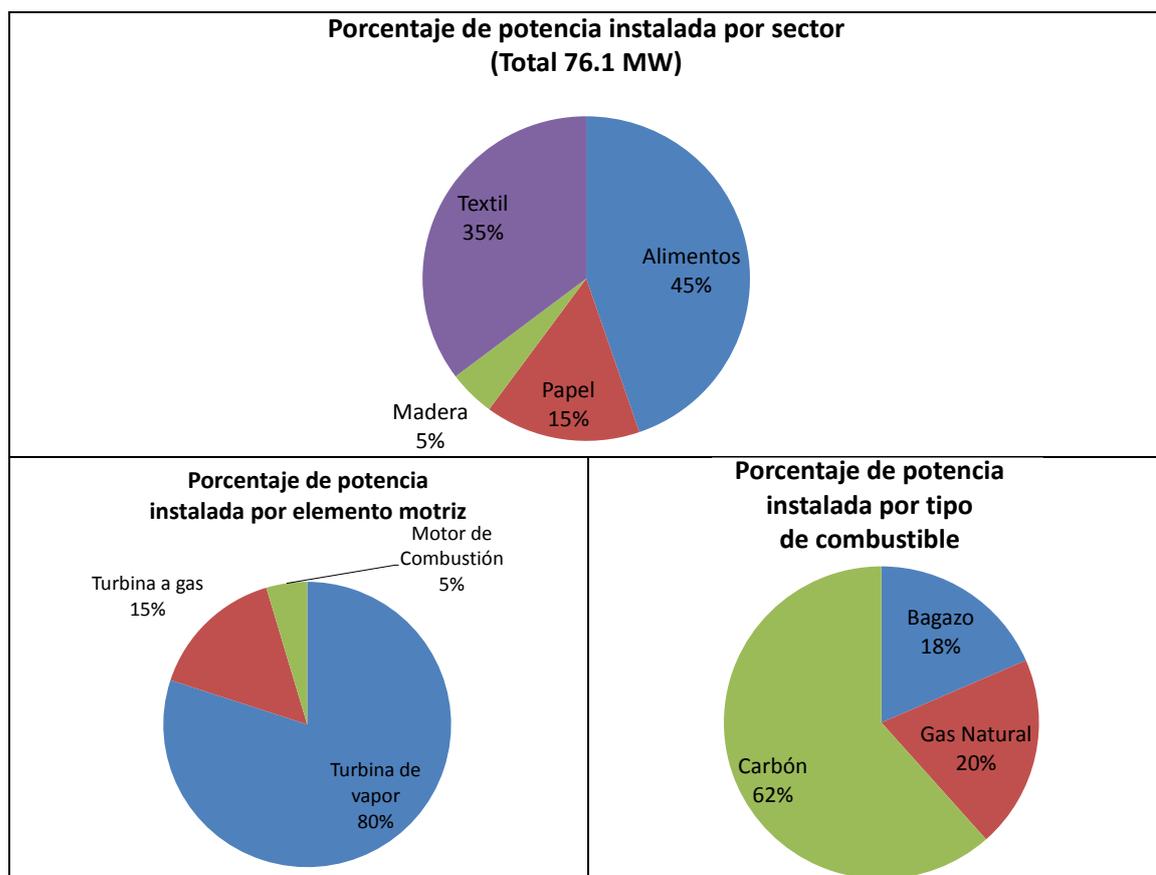
La información contenida en la Tabla 36 permite determinar la potencia instalada según el tipo de industria, elemento motriz y combustible empleado. Las empresas consultadas tienen un total de 76.1 MWe instalados, siendo la industria de alimentos la más representativa, con un 45% del total (ver Figura 192). El elemento motriz predominante es la turbina de vapor con un 80% y el combustible más utilizado es el carbón con un 62% del total instalado.

**Tabla 36. Información técnica, potencia instalada y flujos energéticos en 2012 ó 2013 para empresas que utilizan cogeneración.**

<b>Sector Industrial (Código CIU - N° empresa)</b>	<b>Combustible</b>	<b>Tecnología (Elemento motriz)</b>	<b>Tipo de recuperación de energía térmica</b>	<b>Potencia eléctrica instalada (MW)</b>	<b>Energía primaria utilizada kWh (2013)</b>	<b>Energía eléctrica generada kWh (2013)</b>	<b>Energía térmica recuperada aparente kWh (2013)*</b>
Alimentos (107-1)	Bagazo	Turbina de vapor, contrapresión	Calentamiento indirecto con vapor	8.1	403852959	28963770	249000000
Alimentos (107-2)	Bagazo	Turbina de vapor, contrapresión	Calentamiento indirecto con vapor	6	445831913	32478274	310000000**
Otros alimentos (108)	Carbón	Turbina de vapor, contrapresión	Calentamiento indirecto con vapor	20	371000000	85364333	158000000
Madera (162)	Gas Natural	Motor de combustión	Calentamiento indirecto con gases de escape	3.5	46437494	15157486	4720000
Textil (131-1)	Carbón	Turbina de vapor, contrapresión	Calentamiento indirecto con vapor	6.9	472854083	47515700	153000000
Textil (131-2)	Carbón	Turbina de vapor, extracción	Calentamiento indirecto con vapor	20	458972324	41377560	223000000
Papel (170-1)	Gas Natural	Turbina a gas	Gases de escape como oxidante, calentamiento indirecto con vapor	6.4	107672954	26940699	39420000
Papel (170-2)	Gas Natural	Turbina a gas	Gases de escape como oxidante, calentamiento indirecto con vapor	5.3	105290838	26219712	29300000

\* Se ha utilizado una eficiencia de intercambio de calor de 63.3%

\*\* Se han utilizado 10 meses de 2013

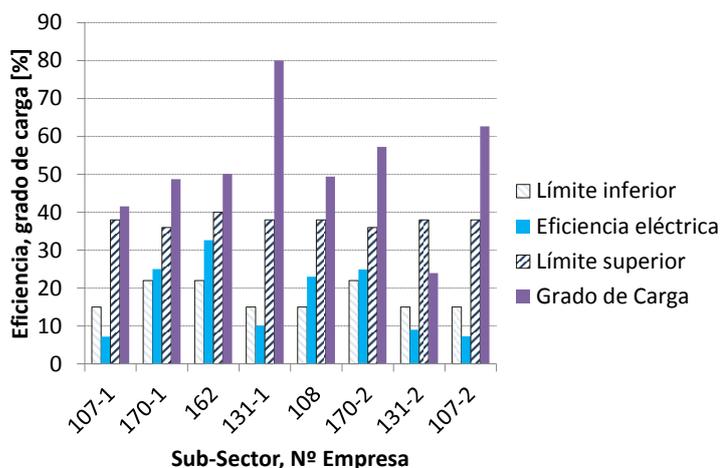


**Figura 192. Porcentaje de potencia instalada según tipo de industria, elemento motriz y combustible utilizado**

La eficiencia eléctrica de los casos estudiados es presentada en la Figura 193 acompañada de los límites máximo y mínimo usuales en el contexto internacional (ver Tabla 37). Este parámetro ha sido calculado con los datos presentados en la Tabla 36 para la energía primaria utilizada y la energía eléctrica generada en un año de operación. Los sistemas de cogeneración que utilizan motores de combustión o turbinas a gas como elementos motrices presentan eficiencias eléctricas dentro de los límites usuales, pero alejados del límite máximo. Las empresas que cogeneran a partir de turbinas de vapor (107-1, 131-1, 131-2 y 107-2) presentan eficiencias eléctricas por debajo del límite inferior usual. En la figura también se muestra el grado de carga del elemento motriz, factor que influye significativamente en la eficiencia de conversión de energía primaria a energía eléctrica. Se observa que en la mayoría de los casos evaluados se trabaja con un grado de carga por debajo del 50%, lo cual es altamente desfavorable sobre todo para las turbinas a gas y de vapor. En el caso de las empresas 131-1 y 107-2, los grados de carga son altos, por lo que la baja eficiencia eléctrica puede deberse a una baja eficiencia de combustión o defectos en la operación de las turbinas de vapor.

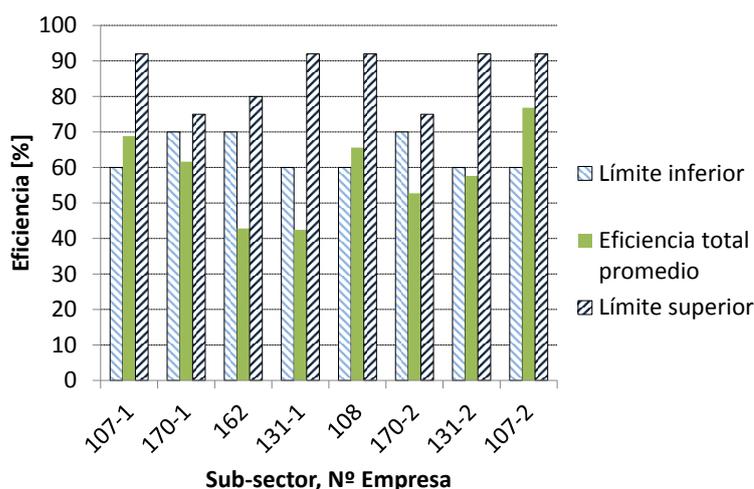
**Tabla 37. Parámetros de diseño y funcionamiento de los sistemas CHP de acuerdo al elemento motriz. PCS (Poder calorífico superior) [21]**

Tecnología	Turbina de vapor	Motor de combustión	Turbina de gas	Micro-turbina	Celda de combustible
Eficiencia eléctrica (PCS)	15-38%	22-40%	22-36%	18-27%	30-63%
Eficiencia total promedio (PCS)	80%	70-80%	70-75%	65-75%	55-80%
Eficiencia eléctrica efectiva	75%	70-80%	50-70%	50-70%	55-80%
Potencia eléctrica típica (MWe)	0.5-250	0.01-5	0.5-250	0.03-0.25	0.005-2
Relación electricidad generada /energía térmica recuperada neta	0.1-0.3	0.5-0.1	0.5-2	0.4-0.7	1-2
Operación a carga parcial	Bien	Bien	Regular	Bien	Bien
Costos de instalación (\$/kWe)	430-1100	1000-2200	970-1300 (5-40 MW)	2400-3000	5000-6500
Costos de mantenimiento (\$/kWe)	<0.005	0.009-0.022	0.004-0.011	0.012-0.025	0.032-0.038
Disponibilidad	Cerca de 100%	92-97%	90-98%	90-98%	>95%
Horas antes de mantenimiento	>50000	25000-50000	25000-50000	20000-40000	32000-64000
Tiempo de puesta en marcha	1 hora – 1 día	10 segundos	10 min-1hora	60 segundos	3 horas – 2 días
Presión del combustible (psig)	N/A	1-45	100-500 (compresor)	50-80 (compresor)	0.5-45
Combustibles	Todos	Gas natural, biogás, propano, gas de relleno sanitario	Gas natural, biogás, propano, aceite	Gas natural, biogás, propano, aceite	Hidrógeno, gas natural, propano, metanol
Intensidad de ruido	Alto	Alto	Moderado	Moderado	Bajo
Usos típicos de la energía térmica recuperada	Vapor a baja y alta presión	Agua caliente y vapor a baja presión	Calentamiento, agua caliente, vapor a alta y baja presión	Calentamiento, agua caliente, vapor a baja presión	Agua caliente, vapor a alta y baja presión
Densidad de potencia (kW/m <sup>2</sup> )	>100	35-50	20-500	5-70	5-20



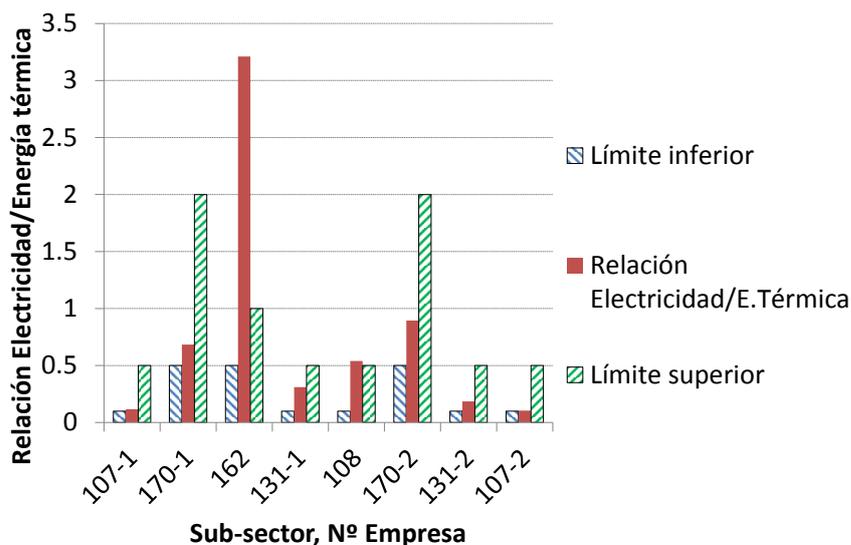
**Figura 193. Eficiencia eléctrica, límites observados en el contexto internacional para la eficiencia eléctrica y grado de carga para los casos estudiados**

La eficiencia total promedio de los casos estudiados es mostrada en la Figura 194. Como tendencia general se observa que los valores de esta variable están por debajo del límite inferior usual reportado internacionalmente o muy cercano a él cuando está dentro del rango usual. La eficiencia total promedio se calcula teniendo en cuenta la eficiencia eléctrica y la eficiencia térmica, por lo que los valores bajos observados para esta variable en la Figura 194, son altamente influenciados por las bajas eficiencias eléctricas mostradas en Figura 193. Sin embargo, es necesario mencionar que el calor útil recuperado del sistema de cogeneración debió ser estimado a partir de variables operacionales y datos técnicos de los elementos motrices, por lo que se presenta un grado de incertidumbre mayor en el cálculo de la eficiencia térmica. Es recomendable entonces que las empresas tengan una mejor lectura y control sobre el calor útil recuperado ya que incide de manera significativa en el estimativo del funcionamiento global del sistema de cogeneración.



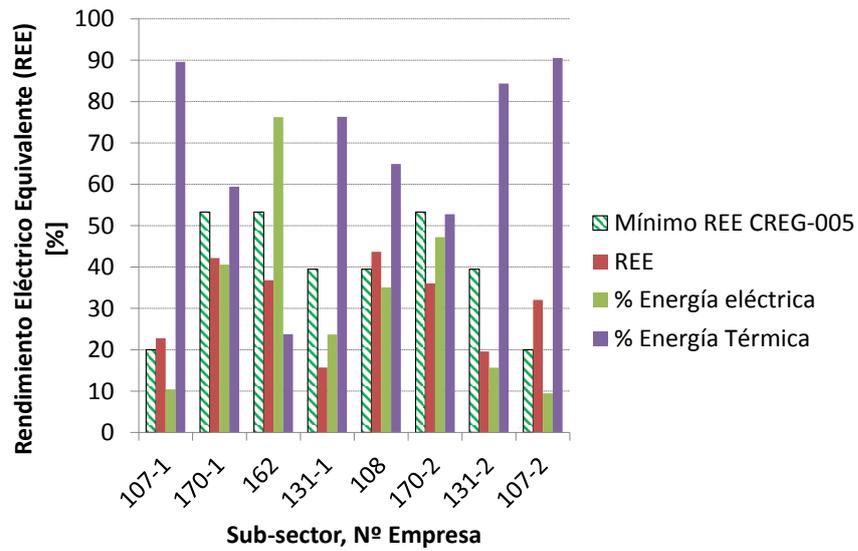
**Figura 194. Eficiencia total promedio y límites observados en el contexto internacional para la eficiencia total promedio de los casos estudiados**

Uno de los parámetros más importantes para la implementación de un sistema de cogeneración es la relación entre las necesidades de energía eléctrica y de energía térmica. La Figura 195 muestra esta relación para los casos estudiados acompañada de los límites usuales en el contexto internacional. Se observa que en la mayoría de los casos la relación electricidad/energía térmica recuperada se encuentra dentro de los rangos usuales y con valores bajos, resultado esperado debido a la gran demanda de energía térmica de las empresas estudiadas. En el caso de la empresa con CIU 162, la relación es mayor al límite superior ya que utilizan motores de combustión y no recuperan el calor proveniente del sistema de refrigeración del motor.



**Figura 195. Relación electricidad generada – energía térmica recuperada y límites usuales en el contexto internacional para los casos evaluados**

En la Figura 196 se muestra las variables más importantes para determinar si las empresas estudiadas pueden vender parte de la energía eléctrica generada “in-situ” de acuerdo a la Resolución 005 de la CREG. El primer criterio es cumplir con el mínimo porcentaje de energía eléctrica y energía térmica, los cuales son 5% y 15% respectivamente. Se observa que todas las empresas cumplen con los mínimos porcentajes requeridos, pese a que las eficiencias eléctricas están por debajo de los valores promedio usuales (ver Figura 193). El segundo criterio es lograr un Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE) mínimo propuesto de acuerdo al tipo de combustible empleado en la resolución de la CREG. Se observa como tendencia que los REE calculados están por debajo del mínimo requerido para ser considerados como sistemas de cogeneración que pueden vender electricidad al SIN. Sólo tres empresas (107-1, 108 y 107-2) logran tener un REE mayor al mínimo exigido, las tres pertenecen al sub-sector alimentos. Las empresas 107-1 y 107-2 venden cerca del 30% de la electricidad producida al SIN, mientras que el resto de las empresas sólo compran y generan electricidad. Para mayor información sobre el cálculo del Rendimiento Eléctrico equivalente (REE) y las ecuaciones utilizadas, revisar la parte II del informe.



**Figura 196. Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE), REE mínimo según CREG-005 y porcentajes de energía eléctrica y térmica generados para los casos evaluados**

## 5 CONCLUSIONES

A continuación se hace una serie de conclusiones sobre el estado de las tecnologías y sobre el uso de la energía en los subsectores estudiados.

### 5.1 ACERCA DE LA SITUACIÓN DEL REGISTRO Y MANEJO DE INFORMACIÓN TÉCNICA ENCONTRADA EN LA EMPRESAS INTERVENIDAS

- Se ha encontrado una gran heterogeneidad en las unidades en que se expresa la producción de las empresas, lo cual incide en tener también heterogeneidad al momento de expresar los consumos energéticos específicos. Esta situación se presenta entre subsectores y al interior de algunos subsectores. En general, se encuentran unidades en masa (kg), volumen (hl), área (m<sup>2</sup>) y cantidades unitarias.
- En muchas empresas no se dispone de datos de placa de los equipos ni de sus especificaciones técnicas más importantes. Es evidente la falta de tradición en el registro, actualización y control de la información tecnológica de los procesos industriales.
- En algunos casos no se tienen registro de planos e historiales de sistemas eléctricos.
- La clasificación CIU de las industrias y subsectores industriales no refleja consistencia desde el punto de vista de indicadores energéticos, como por ejemplo: consumo específico de energía eléctrica, consumo específico de energía térmica, relación energía térmica/energía eléctrica, factor de carga y factor de utilización de los equipos y procesos.
- En la gran mayoría de empresas diagnosticadas, tanto grandes, medianas, pequeñas y micro, no se encontraron instrumentos de medición de consumo (energía térmica y energía eléctrica) en los equipos y procesos macro-consumidores.

### 5.2 ACERCA LA DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE LOS ENERGÉTICOS EN LOS SECTORES INTERVENIDOS.

- El mayor consumo de energía lo representa la energía térmica, en definitiva los códigos CIU 10-18 no hacen parte de las industrias que se consideran típicamente electro-intensivas en el contexto internacional. El consumo de energía térmica se soporta en el uso de los siguientes combustibles: carbón, gas natural, ACPM, bagazo, fuel oil, biomasa, GLP y otro
- En su orden el consumo de combustible se distribuye así: carbón 39,9%, gas natural 25,0%, bagazo 19,6%, biomasa 11,9%, otros 2,9%, fuel oil 0,3%, GLP 0,1% y ACPM 0,1%. Destacándose el carbón con la mayor penetración y el alto consumo de bagazo y biomasa. No obstante la disponibilidad de redes de gas natural en las regiones donde se ubican la mayoría de códigos CIU 10-18, la penetración de este energético es importante, pero no representa el combustible mayoritariamente usado. En relación con el GLP su participación es baja, señal que es importante ante el eventual incremento significativo de la oferta de este energético en Colombia.

- El gas natural es la principal fuente de energía térmica en los sectores bebida (91,7%), confección (95,5%), cuero (94,4%), impresión (100%) y madera (99,2%). También es importante su participación en los sectores alimento (22%) y papel (22%). Si del sector alimento se excluyeran los ingenios azucareros, sustentado ello en que pueden darse situaciones y circunstancias en que con la producción de etanol se comporta como producto energético y no como alimento, el gas natural y el carbón serían los principales combustibles usados en este sector. La situación se explica por la alta participación de bagazo de caña como combustible en el sector azucarero.
- El carbón es la principal fuente de suministro de energía térmica en los sectores textil (84,7%), papel (46,2%), teniendo también una participación importante en el sector alimento del 19%. De no considerarse el subsector azucarero dentro del sector alimentos, por las razones anteriormente expuestas, el carbón tendría una participación significativa en este sector al igual que el gas natural. La alta participación del carbón en el sector textil, se debe al uso de este energético en las grandes textileras ubicadas en la región noroeste, más precisamente en el Valle de Aburrá.
- El bagazo con el 56,3% representa el combustible con mayor participación en el sector alimento, si se considera el impacto de su consumo en el sector azucarero. Como ya fue analizado. La biomasa, constituida por cascarilla de café, fibras de fruto de palma, madera y polvillo de bagazo de caña, con una participación del 25,6% es el segundo combustible usado en el sector papel. También se observa una leve participación en el sector alimento, particularmente en la industria de aceites.
- En relación con los combustibles líquidos derivados petróleo, no se observa una participación significativa en los subsectores estudiados, lo cual puede ser explicado por la penetración del gas natural.
- Acerca de la distribución regional del consumo de combustible, la región suroeste del país (Valle del Cauca, Cauca, Risaralda) concentra el mayor consumo de biomasa y bagazo de caña del país con el 100%, así como el mayor consumidor de carbón con el 54.84%. El alto consumo de carbón y bagazo de caña se deben a que en dicha región se concentra la producción de azúcar del país y gran parte de la producción de papel, siendo estas industrias intensivas en el consumo de energía térmica. El uso que se le da al carbón y al bagazo de caña es para la generación de vapor en calderas acuatubulares con propósitos de cogeneración en turbinas de vapor. La región noroeste (Antioquia) es la segunda región en consumo de carbón con el 32.99% debido a la presencia de industrias textileras que tienen instalados sistemas de cogeneración con turbina de vapor y caldera acuatubular.
- El consumo de gas natural tiene una mayor distribución entre las regiones y las industrias, aunque en la región central (Bogotá y Cundinamarca) se presenta la mayor demanda con el 45.70%, seguido por la región suroeste con el 21.68% y Noroesteste con el 18.57%. El gas natural es empleado principalmente para generación de vapor en calderas pirotubulares de mediana y baja capacidad (menor a 1000BHP) y para calentamiento directo en hornos de secado y cocción. La industria que más consume gas natural es la de papel con 1168 GWh/año, seguido por la industria de alimentos con 486GWh/año. El gas natural es el combustible más común en todas las industrias que demandan calor.

### 5.3 ACERCA DEL PERFIL ENERGÉTICO DE LOS SUBSECTORES.

- Los sectores alimentos, textil, bebidas y papel se caracterizan por tener consumo de energía térmica (ET) y eléctrica (EE), observándose que en general la relación ET/EE es mayor que uno y en promedio alrededor de 1,5 a 3, es decir, son sectores con mayor consumo de energía térmica. Los sectores confección, cueros, madera e impresión usan como principal energético energía eléctrica en la caracterización global, aunque se presentan valores mayores a 2 en algunas empresas.
- En los sectores intensivos en energía térmica, la producción de vapor en calderas representa la mayor cantidad, la participación de calentamiento directo es muy reducida. La mayor cantidad de calderas son piro-tubulares con potencias que oscilan entre 15 y 1000 BHP, sin embargo en los datos consolidados las calderas acu-tubulares representan la mayor potencia instalada.
- El calentamiento directo a través de hornos con combustión, solo se identificó en los sectores confecciones, alimentos, textil, madera y cuero, con una distribución respectiva del consumo total de la energía térmica obtenida por este modo del 68,7%, 26,6%, 4,6%, 0,01% y 0,00003%. Esta energía está destinada principalmente a procesos de cocción con quemadores atmosféricos de premezcla y secado por convección de aire caliente. No obstante, en empresas donde se usa calentamiento directo e indirecto, el uso de vapor es significativamente mayor con una participación del 80% al 99%.
- La tendencia general en la mayoría de los sectores fue de mayor uso de energía térmica para calentamiento directo e indirecto con relación al consumo de energía eléctrica, aunque existe una alta variabilidad en este indicador en empresas del mismo sector, como por ejemplo en el de alimentos, donde la mediana de la relación energía térmica a energía eléctrica fue de 2,6 kWh/kWh pero se observaron valores tan altos como 30 kWh/kWh y subsectores donde la mediana fue de 16 kWh/kWh. Algunas empresas de este sector por el contrario tuvieron una relación de 0 kWh/kWh por solo utilizar energía eléctrica en los procesos productivos. En varios casos, la alta relación se originó por uso ineficiente de la energía térmica por la operación de equipos con baja eficiencia de combustión.
- En el sector de bebidas la mediana indica que la energía térmica tiene un consumo 1,3 veces mayor al de la energía eléctrica. El valor más alto de este indicador fue de 2,81 kWh/kWh. En este punto, es importante destacar que todo el consumo de energía térmica que se identificó corresponde al uso de vapor para calentamiento indirecto por medio de chaquetas y serpentines.
- La tendencia general en el sector de textiles mostró consumos de energía térmica similares a los de energía eléctrica, en los que la relación entre energía térmica y energía eléctrica en el sector tiene una mediana de 1,0 kWh/kWh. Sin embargo, hay subsectores en los que esta relación puede ser tan alta como 16 kWh/kWh en preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles. (CIU 131) o puede ser incluso 0 kWh/kWh en empresas donde solo se hace uso de la energía eléctrica en este mismo subsector.

- Los sectores de confecciones y cuero han mostrado un consumo mayor de energía eléctrica con respecto a la energía térmica, con medianas de 0,6 y 0,36 kWh/kWh, respectivamente. No obstante, en algunas empresas de estos sectores se identificaron relaciones de 2,7 y 3,5 kWh/kWh, lo que refleja el grado de heterogeneidad del uso de la energía en los distintos procesos de este sector. Por su parte el sector de impresión basa su producción netamente en el uso de energía eléctrica.
- En el sector madera, la mediana indica que la energía térmica tiene una tendencia a un consumo de poco menos de 1/3 del consumo de energía eléctrica, aunque hubo consumos que subieron este indicador hasta 9,8 kWh/kWh en empresas de producción de tableros, madera especial y otros productos de madera, mientras que en otras empresas que basan su producción en la energía eléctrica, esta relación es 0 kWh/kWh. En este sector todo el consumo de energía térmica que se identificó en las empresas intervenidas corresponde al uso de vapor para calentamiento indirecto.
- La relación de energía térmica a energía eléctrica en el sector de papel presentó un valor máximo de 7,5 kWh/kWh, con una mediana para el sector de 2,6, aunque en algunas empresas de fabricación de artículos de papel la producción se basa en la energía eléctrica, siendo esta relación 0 kWh/kWh. Este hecho explica la alta varianza que se observó para este sector. En términos prácticos, todo el consumo de energía térmica que se identificó en las empresas intervenidas corresponde al uso de vapor para calentamiento indirecto.

#### **5.4 ACERCA DEL USO DE COMBUSTIBLES UTILIZADO POR SUBSECTOR**

Según el uso de combustible para satisfacer la demanda de energía térmica, se observan, las siguientes evidencias:

- Sector de alimento usa como combustible principalmente el gas natural, en promedio en un porcentaje de 51% sin incluir al sector azucarero.
- Sector textil usa como principal combustible el carbón mineral en un porcentaje del 84% y es aplicado principalmente para la co-generación de energía. El gas natural tiene una utilización del 14% para procesos de acabado.
- Sector bebidas usa como principal combustible gas natural en aproximadamente 92% y en algunos subsectores cantidades complementarias de biogás.
- Sector cuero usa como principal combustible el gas natural con el 94%
- La mitad de la energía cuantificada para la generación de vapor por combustión se concentra en el sector de papel con 49,8% del consumo total. Los sectores de alimentos, textiles, bebida, madera, cueros y confecciones se reparten la otra mitad con participaciones de 33%, 12,6%, 2,7%, 1,5%, 0,2% y 0,1%, respectivamente.

#### **5.5 ACERCA DEL USO DE LA ELECTRICIDAD EN LOS SUBSECTORES.**

- Exceptuando a la empresa BRINSA SA, que emplea la electricidad como materia prima en procesos de electrólisis para la producción de sal y detergentes, no se observa el uso de este

energético como insumo en proceso electro-intensivos como son los procesos electrometalúrgicos, electroquímicos, y electromagnetismo como fuente de calor. En consecuencia, los principales usos de la electricidad son: fuerza motriz en bombas, ventiladores, compresores y transmisión de potencia como: bandas transportadoras y elevadores, en iluminación y en equipos de oficina.

- El uso de energía eléctrica por fuerza motriz es transversal a todos los sectores industriales estudiados, donde el sector papel es el mayor consumidor de este tipo de energía con 68% del consumo total, seguido de los sectores de alimentos y textiles con 19,5% y 4,6%, respectivamente. Los demás sectores tienen una participación menor al 8% en este consumo.
- El sector papel tiene una población de motores eléctricos que representa el 19% de los motores de la muestra, mientras que la población de motores del sector alimentos representa el 26%. Sin embargo de 228 motores con potencia superior a 300HP el sector papel cuenta con el 98,68%.
- Los mayores consumidores de energía eléctrica para la refrigeración se encuentran en los sectores de alimentos y bebidas, con distribución de 81,8% y 18,2%, respectivamente. El frío en estos sectores se genera en pequeña escala por medio de ciclos de refrigeración de vapor, mientras que en grandes empresas la alta demanda de frío se lleva a cabo con redes centralizadas de compresión de amoníaco con condensadores evaporativos tipo torre de enfriamiento. En el resto de los sectores industriales estudiados, solo en el curtido de cuero se identificó el uso de frío para la conservación de algunas pieles especiales, en confecciones y textiles para alistamiento de fibras y en impresiones para conservación de insumos, pero su participación en el consumo global es menor al 0,01%. Las empresas grandes tienen en su mayoría sistemas centralizados de refrigeración de compresión de amoníaco. Las empresas medianas y pequeñas emplean sistemas descentralizados con refrigerantes tipo HCFC. Las temperaturas de refrigeración oscilan entre -32°C y 10°C.
- El consumo de aire comprimido se concentra en cuatro sectores principalmente: textiles, alimentos, confecciones y bebidas con una distribución de 55,4%, 22,7%, 7,1% y 5,1%, respectivamente. En la mayoría de estas empresas predomina la distribución de aire comprimido centralizada con distribución por rama y el principal uso es la operación de equipos y sistemas de control neumáticos.
- Aproximadamente el 84% de la energía eléctrica consumida para el funcionamiento de luminarias corresponde al sector textil y de confecciones, en donde algunos de sus procesos son altamente dependientes de una buena intensidad de iluminación y para ello usan luminarias de alta potencia. El resto de sectores tiene una participación en el consumo eléctrico por iluminación menor al 3%, a excepción del sector de alimentos con 8,4%. El promedio de edad de los compresores es de 10 años, y el tipo de compresor más común es el tipo tornillo, aunque en empresas medianas y pequeñas el compresor recíprocante es el más empleado.
- El uso de sistemas de aire acondicionado se da principalmente en la región norte, suroeste, noroeste y noreste. En su mayoría son sistemas descentralizados tipo mini-split de capacidad inferior a 4 toneladas de refrigeración. El aire acondicionado se emplea para el acondicionamiento de oficinas y salas de reunión. Sólo en el subsector de impresiones, el aire

acondicionado hace parte del proceso de producción, en las etapas de diseño y elaboración de las planchas de impresión.

- El sector papel es el principal consumidor de energía eléctrica para el servicio de aire acondicionado con 28% del consumo total. Esto se debe a que las empresas con mayor capacidad instalada para la producción de papel están ubicadas en la región suroeste, donde el factor climático incrementa el uso de este servicio. La participación de otros sectores en esta distribución es baja, donde el segundo y tercer mayor consumidor son el sector alimentos con 17% y el sector textil con 13%. El sector tabaco tiene la misma participación que el sector papel, aclarando que solo una empresa de este sector fue intervenida
- El calentamiento directo con energía eléctrica es dominado por el sector de impresión con 76,2% de participación, donde el calentamiento por resistencias eléctricas o por lámparas ultravioleta es utilizado para secado de tintas y acabados en el material impreso.

## 5.6 ACERCA DE LA COGENERACIÓN

- Los sistemas de cogeneración se encuentran instalados en los subsectores de alimentos, papel y textil. De las empresas consultadas con sistemas de cogeneración, se tiene un total de 76.1 MWe instalados, siendo la industria de alimentos la más representativa, con un 45% del total. El elemento motriz predominante es la turbina de vapor con un 80% y el combustible más utilizado es el carbón con un 62% del total instalado. Los sistemas de cogeneración que utilizan motores de combustión o turbinas a gas como elementos motrices presentan eficiencias eléctricas dentro de los límites usuales, pero alejados del límite máximo. Las empresas que cogeneran a partir de turbinas de vapor (107-1, 131-1, 131-2 y 107-2) presentan eficiencias eléctricas por debajo del límite inferior usual.
- En la mayoría de los casos evaluados se trabaja con un grado de carga por debajo del 50%, lo cual es altamente desfavorable sobre todo para las turbinas a gas y de vapor. Aunque hay casos de alta carga y baja eficiencia eléctrica puede deberse a una baja eficiencia de combustión o defectos en la operación de las turbinas de vapor.

## 5.7 ACERCA DE SITUACIONES ENCONTRADAS EN LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN Y USO DEL VAPOR

- En calderas pirotubulares en un rango de potencia entre 200 bhp a 1000 bhp que utilizan gas natural, se ha encontrado como línea para la eficiencia de combustión con base al poder calorífico superior un valor del 75%, identificándose como principales factores incidentes :
  - ✓ La ausencia en la mayoría de casos del control en línea de la relación aire /combustible lo cual incide en que la operación de las calderas se realice en promedio con excesos de aire del 50% y este no sea controlado en condiciones de carga parcial. Para este combustible se obtiene óptima eficiencia de combustión cuando el exceso de aire oscila entre 10 y 20%, la reducción de un 15% de exceso de aire incrementa en aproximadamente en un 1% la eficiencia, lo cual para calderas con alto factor de carga y utilización, representa un importante ahorro anual de combustible.

- ✓ La inexistencia de aplicación de sistemas de recuperación de calor sensible y calor latente de vaporización, lo cual se ve reflejado por la salida de los gases de combustión con temperaturas entre 200 y 300 °C. El calor recuperado puede utilizarse para precalentar el aire de combustión, el agua de alimentación y/o el agua de reposición a la caldera, en algunas aplicaciones el precalentamiento de materias primas utilizadas en los procesos de transformación.
- ✓ El grado de obsolescencia de las calderas, el cual afecta la calibración y sincronización de los quemadores en particular la instalación de quemadores modernos de alta eficiencia energética y reducidas emisiones contaminantes como óxidos nitrosos, el mezclado óptimo entre el gas y el aire, la transferencia de calor por el desgaste e incrustaciones sobre las superficies internas y externas por donde circulan los gases de combustión. En el parque de calderas examinadas se encontró un promedio de servicio de 23 años.
- En calderas acuatubulares que utilizan carbón y biomasa, para potencias mayores de 1000 BHP, teniendo como referencia la eficiencia de combustión, las pérdidas de energía por inquemados en las cenizas y pérdidas por paredes, se estableció una línea base con una eficiencia del 65%. Las calderas utilizadas. Se observó un alto grado de obsolescencia tecnológica en el parque examinado, calderas de parrilla fija representan un 35%, parrilla viajera 48% y carbón pulverizado 17%. En este tipo caldera el problema no solo constituyen las bajas eficiencias energéticas, sino también las altas emisiones contaminantes de NOx, SOx, inquemados, cenizas y material particulado.

Para las calderas de potencia menor de 1000 BHP que utilizan carbón y biomasa la línea base de la eficiencia se estableció en 76%, el 66% de la capacidad instalada son de parrilla móvil, las cuales usan carbones con distribución no uniforme de tamaños que en promedio podría ser de 5 cm de diámetro equivalente, lo cual genera inquemados, mala distribución del aire y por ende pérdida de eficiencia

## 5.8 ACERCA DE LA PENETRACIÓN DE TECNOLOGÍAS MODERNAS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y BRECHA TECNOLÓGICA.

### 5.8.1 SISTEMA ELÉCTRICO

En Colombia el 99% de las industrias muestreadas operan con motores de eficiencia estándar y sólo el 1% en IE2 e IE3, de los cuales el 76% se encuentran instalados en empresas grandes de la muestra. Sólo un 21% se encuentra en empresas grandes del sector alimentos, un 45% en empresas grandes del sector confecciones y un 8% en el sector papel, siendo este último sector donde se encuentran los motores de mayor potencia del estudio.

Se encontró que los motores poseen una considerable cantidad de años de servicio, lo que acarrea una disminución en su eficiencia por debajo de la línea base de eficiencia IE1, teniendo en cuenta que se estima que un motor pierde a lo largo de su vida útil 4 puntos de eficiencia [16], estas cifras nos revelan el estado en el que se encuentra el país y la necesidad de implementar MEPS para que la normatividad regulatoria tanto de tecnología como ambiental tenga carácter de estricto cumplimiento y logren favorecer e impulsar al sector industrial nacional.

En lo que respecta a la clase de motores, las empresas mostraron ausencia de implementación del motor de corriente directa, excepto por una empresa que contaba con una unidad de 100HP, es evidente que estos motores tienen un fácil control de velocidad y son robustos ante problemas de compatibilidad electromagnética, pero con el acelerado avance de la electrónica de potencia y precios más bajos, los motores de corriente alterna (asíncronos) han llegado a poseer las mismas condiciones de control en su funcionamiento a un valor más económico, erradicando el mantenimiento costoso y laborioso de los de corriente directa. El motor más utilizado por las empresas incluidas en el estudio, es el trifásico asíncrono jaula de ardilla.

#### **ILUMINACIÓN:**

- Si bien se conoce -y ha sido ampliamente promovido- el ahorro que representa la instalación de luminarias tipo T5 y de inducción, no se encuentra una participación masiva de estas tecnologías en los sectores estudiados. La causa principal de esto es porque en el comercio aún se oferta, y a precio competitivo, luminarias antiguas. Por lo que el empresario, por facilidad, continúa utilizando las luminarias de tecnología anterior.
- El cambio de luminarias no se debe realizar uno a uno, muchas veces es necesario realizar un rediseño en la distribución de luminarias para lograr los niveles de iluminación establecidos en el reglamento.

### **5.8.2 SISTEMAS TÉRMICOS**

#### **GENERACIÓN DE VAPOR CON COMBUSTIBLES GASEOSOS.**

En relación con la transferencia y apropiación de nuevas tecnologías de combustión de alta eficiencia energética, no se ha observado que en los subsectores estudiados caracterizados por alta demanda de energía térmica y uso de gas natural, la penetración de las siguientes tecnologías:

- Recuperación de calor residual de los gases de combustión para el precalentamiento del aire de combustión.
- Calderas de condensación para recuperar el calor latente del vapor de agua en los gases de combustión, con lo cual es posible alcanzar eficiencias de combustión mayores del 90% con base al poder calorífico superior. Esta tecnología también aplica cuando el combustible es biomasa.
- Tecnologías de calentamiento directo en sustitución de sistemas centralizado con calderas y distribución de vapor en los procesos. En promedio se estima que la eficiencia global en un sistema centralizado se encuentra comprendida entre 50% a 60% (debido a una serie de transformaciones energéticas previas que hay que realizar para tener disponible la energía térmica en el punto de demanda), mientras que con tecnologías de calentamiento directo se obtienen eficiencias entre un 70% al 85%, con respecto a los sistemas centralizado se pueden obtener ahorros de combustibles entre 15% al 40% aproximadamente.

La aplicación de tecnologías de combustión de calentamiento directo en procesos de baja temperatura, menores del 100°C, usando gas natural, de acuerdo a estudios y experiencias internacionales, puede tener los siguientes beneficios:

- Aumento de la eficiencia térmica, con respecto a la de los sistemas convencionales, en aproximadamente 20 puntos, con lo cual se obtendría un ahorro de combustible en aproximadamente del 17%.
- El tiempo de recuperación de la inversión se estima entre 1,5 (calderas de condensación) y 2,8 años (para combustión sumergida, tubos compactos intercambiadores compactos).
- Se podría obtener tasa interna de retorno del orden de 38% (combustión sumergida), 28% (tubos e intercambiadores sumergidos compactos) y 63% (calderas de condensación).

## **GENERACIÓN DE VAPOR CON CARBÓN Y BIOMASA**

En relación con la transferencia y apropiación de nuevas tecnologías de combustión de alta eficiencia energética, exceptuando un par de proyectos en el sector de alimentos, no se ha observado que en los subsectores estudiados caracterizados por alta demanda de energía térmica y uso de carbón y biomasa, la penetración de la tecnología de calderas de lecho fluidizado o lecho fluidizado recirculante, la cual tiene ventaja comparativa significativas con respecto a las calderas de lecho fijo, lecho recirculante y carbón pulverizado, entre las cuales se destacan:

- Se pueden alcanzar eficiencias energéticas del orden del 82%, que con respecto a la línea base (70%) de las calderas con potencias mayores a 1000 BHP actualmente instaladas en los subsectores estudiados que utilizan carbón y/o biomasa, se puede lograr un incremento de la eficiencia de doce puntos y en consecuencia un porcentaje de ahorro de combustible del 14%.
- Una de las principales ventajas de la tecnología de lecho fluidizado está en la gama de combustibles que se pueden emplear. Esta tecnología puede aceptar los combustibles de bajo poder calórico y biomasa. Las calderas de lecho fluidizado ofrecen la posibilidad de reducir SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> durante la combustión, mediante la adición de caliza directamente a la cámara de combustión. El uso de la caliza en la cámara de combustión genera una desulfuración eficiente y brinda la posibilidad de eliminar la instalación de lavadores de gases.
- La temperatura de combustión de la tecnología CFB (840 a 900 °C) es mucho menor que la tecnología PC (1350-1500 °C), razón por la cual se reduce la formación de NO<sub>x</sub>. Adicionalmente, operar un equipo a menores temperaturas se reduce los riesgos de fatiga térmica, explosiones por puntos calientes, o cual pone a la tecnología enlecho fluidizado en ventaja significativa frente a las otras tecnologías.
- Los pulverizadores de PC que muelen el carbón (75 micras), requieren de importantes gastos de mantenimiento y estos costos son virtualmente eliminados en la tecnología CFB porque el carbón se tritura a 12 - 6 mm x 0 tamaño.
- A pesar que las calderas de CFB están diseñadas para velocidades de gases de combustión relativamente bajas, el coeficiente de la transferencia de calor en esta tecnología es casi el doble que la de PC.
- Las cenizas resultantes con la adición de la caliza en las calderas CFB, son químicamente estables y se eliminan fácilmente. Esta ceniza se puede utilizar como materia prima para la fabricación de cemento, estabilización de suelos, bloques de hormigón, base para carreteras, rellenos estructurales, etc.
- *Inquemados*. En las calderas de funcionamiento a carbón siempre existe carbón inquemado junto con las cenizas. El carbón inquemado se puede reducir significativamente a través del mejoramiento del diseño y la operación del equipo de combustión. La combustión de carbón

mejora incrementando el tiempo de combustión, la temperatura del carbón y la del aire. Una adecuada turbulencia del aire de combustión permitirá moléculas de oxígeno que estarán en contacto con partículas de sólido y por tanto se asegura una combustión completa. Los quemadores de lecho fluidizado son los más efectivos en reducción de combustible inquemados

## 6 REFERENCIAS

- [1] Consejo privado de competitividad, “Informe Nacional de Competitividad- Energía como Insumo.”
- [2] U. S. Characterization, “Characterization of the U.S. Industrial Commercial Boiler Population,” no. May, 2005.
- [3] Ministerio de Industria Turismo Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales, “Encuesta Nacional de Calderas Perú,” 2000.
- [4] Unidad de Desarrollo Tecnológico. Universidad de Concepcion, “Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial,” 2012.
- [5] “Classic™ (ICS / FB-A) Vertical Tubeless Boiler - Fulton Products.” [Online]. Available: <http://www.fulton.com/products/productprofile.php?ptc=&uid=1>. [Accessed: 16-Feb-2014].
- [6] J. R. Becher, “Optimizing Energy Saving Opportunities in Food and Dairy Plant Steam Boiler Systems,” no. November 2013, pp. 37–41, 2012.
- [7] G. E. C. Division and W. Bank, “China. Efficient Industrial Boilers,” 1996.
- [8] C. Galitsky, E. Worrell, and M. Ruth, *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Corn Wet Milling Industry An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers*, no. July. 2003.
- [9] “Methane heated shrink tunnel - Smilab.” [Online]. Available: [http://www.smilab.info/profilo.php/en/smilab\\_tunnel/1119](http://www.smilab.info/profilo.php/en/smilab_tunnel/1119). [Accessed: 17-Feb-2014].
- [10] U. Nations and I. Development, “industrial energy efficiency.”
- [11] S. Nadel and A. Council, “The China Motor Systems Energy Conservation Program : A Major National Initiative to Reduce Motor System Energy Use in China The Current Situation in China,” no. Cecidc 2000.
- [12] “Advanced Manufacturing Office: MotorMaster+.” .
- [13] V. Groza, V. Giurgiu, C. D. Pitis, and J. S. Thongam, “Energy savings techniques in ventilation processes with fans operating at variable load,” in *2009 IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC)*, 2009, pp. 1–5.
- [14] J.-N. Sheen, “Economic Feasibility of Variable Frequency Driving Pump by Fuzzy Financial Model,” in *2009 Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC)*, 2009, pp. 934–937.

- [15] P. a. a. Yanti and T. M. I. Mahlia, "Considerations for the selection of an applicable energy efficiency test procedure for electric motors in Malaysia: Lessons for other developing countries," *Energy Policy*, vol. 37, no. 9, pp. 3467–3474, Sep. 2009.
- [16] E. C. Bortoni, L. A. H. Nogueira, R. B. Cardoso, J. Haddad, E. P. Souza, M. V. X. Dias, and R. A. Yamachita, "Assessment of the achieved savings from induction motors energy efficiency labeling in Brazil," *Energy Convers. Manag.*, vol. 75, pp. 734–740, Nov. 2013.
- [17] R. Saidur, "A review on electrical motors energy use and energy savings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 877–898, Apr. 2010.
- [18] E. da C. Bortoni, "Are my motors oversized?," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 9, pp. 2282–2287, Sep. 2009.
- [19] I. for I. Productivity, A. T. De Almeida, and H. Falkner, "Best Practices in Energy Efficient Industrial Technologies: Motor Systems," p. 21, 2011.
- [20] G. Lorentzen, "The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament," *Int. J. Refrig.*, vol. 18, no. 3, pp. 190–197, 1995.
- [21] US Environmental Protection Agency. Combined Heat and Power Partnership, "Catalog of CHP Technologies," no. December. p. 139, 2008.
- [22] A. S. Mujumdar, *Handbook of industrial drying*. CRC Press, 2006.