

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
GESTIÓN DE ENERGÍA (BASADO EN LA NORMA NTC ISO 50001) EN PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. CASO DE ESTUDIO PLANTA “RIO CALI”
DE EMCALI.**

HAROLD DAVID OCAMPO YONDA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA ÉNFASIS EN INGENIERÍA
ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2023**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
GESTIÓN DE ENERGÍA (BASADO EN LA NORMA NTC ISO 50001) EN PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. CASO DE ESTUDIO PLANTA “RIO CALI”
DE EMCALI.**

HAROLD DAVID OCAMPO YONDA

**Trabajo de profundización como requisito para optar por el título de Magister en
Ingeniería. Énfasis en ingeniería eléctrica.**

Directores

**Profesor, Harold José Díaz Martínez
Ingeniero electricista, Ph. D.**

**Profesor, Jairo Arcesio Palacios Peñaranda
Ingeniero electricista, Ph. D.**

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA ÉNFASIS EN INGENIERÍA
ELÉCTRICA**

SANTIAGO DE CALI

2023

CONTENIDO

	Pág.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
JUSTIFICACIÓN	26
OBJETIVOS	27
OBJETIVO GENERAL	27
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
1. CARACTERIZACIÓN DE LA P.T.A.P. RIO CALI: GESTIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA, MARCO NORMATIVO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	28
1.1. ANTECEDENTES	28
1.1.1. Consumo de energía eléctrica en Colombia y gestión de la energía	28
1.1.2. Normatividad para la gestión de la energía	37
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA E IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS USADOS.....	40
1.2.1. Bocatoma “Rio Cali”	40
1.2.2. Planta de tratamiento de agua potable “Rio Cali”	41
2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS ENERGÉTICAS EN LA P.T.A.P. RIO CALI: CARGAS INSTALADAS, CÁLCULOS DE CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO POR MEDIA TENSIÓN (13,2KV), BAJA TENSIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA SEGÚN RECIBO DE ENERGÍA RESPECTO A LA PRODUCCIÓN DE AGUA.	47
2.1. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE LAS CARGAS	47
2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO (MEDIA Y BAJA TENSIÓN)	60
2.3. CONSUMO DE ENERGÍA ACTIVA RESPECTO A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	64
3. DEFINICIÓN DE LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA E IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.	66
3.1. SUBESTACIÓN 1: VARIOS TIPOS DE CARGAS SIN FUNCIONAMIENTO DE LAVADO DE ESTRUCTURAS.	67
3.1.1. Motor lavado de estructuras.....	68

3.2.	SUBESTACIÓN 3: BOMBAS DE LAVADO Y SOPLADORES (SERVICIOS AUXILIARES.	69
3.3.	SUBESTACIÓN 4: BOMBAS BELLAVISTA 2 Y FLOCULACIÓN LÍNEA 1 Y 2.....	70
3.3.1.	Carga total subestación 4.	70
3.3.2.	Floculadores del número 1 al 24.....	71
3.4.	SUBESTACIÓN 5: BOMBAS BELLAVISTA 3.	72
3.4.1.	Unidad de bombeo #1.....	72
3.4.2.	Unidad de bombeo #2.....	77
3.4.3.	Unidad de bombeo #3.....	82
3.4.4.	Unidad de bombeo #4.....	87
4.	DIAGNÓSTICO, GESTIÓN Y CONTROL.	96
4.1.	COMPROMISO DE LA ALTA GERENCIA.....	96
4.4.	SEGUIMIENTO Y DIVULGACIÓN DE INDICADORES.	107
4.5.	SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO PRODUCCIÓN Y COORDINACIÓN.	108
4.6.	IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE MEJORA.	108
4.7.	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ENTRENAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PERSONAL.....	108
4.8.	CHEQUEOS DE GERENCIA DE ACUEDUCTO.	109
4.9.	AJUSTES DEL SISTEMA DE GESTIÓN.	110
4.10.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	111
4.11.	POTENCIALES DE AHORROS IDENTIFICADOS PARA INCREMENTO DE EFICIENCIA Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO.	111
4.11.1.	Cableado “ecológico” en media tensión (13,2KV) con medición.....	111
4.11.2.	Cambio de nivel de tensión por media tensión de 13,2KV a 34,5KV.	112
4.11.3.	Incremento de la eficiencia en alumbrado interior y exterior, disminución del consumo en cargas de oficinas entre otros.....	113
4.12.	POTENCIALES DE AHORRO POR INCREMENTO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EQUIPOS O SISTEMAS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.....	113
4.13.	POTENCIALES DE AHORRO POR VARIABILIDAD OPERACIONAL.....	118
4.13.1.	Línea Base de consumo.	118

4.13.2. Indicador de consumo IC.	122
4.13.3. Indicador de eficiencia base 100.....	124
4.13.4. Indicador gráfico de tendencia o de sumas acumulado CUSUM.	124
4.14. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTROL.....	126
5. CONCLUSIONES	135
ANEXO A.	138
ANEXO B.	165
ANEXO C.	167
ANEXO D.	170
SUBESTACIÓN #1	170
SUBESTACIÓN #3	182
SUBESTACIÓN #4	187
FLOCULADORES DEL 1 AL 24.....	192
BIBLIOGRAFÍA	196

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Tabla de antecedentes (elaboración propia).	31
Tabla 2. Datos de consumo de aires acondicionados presentes en la P.T.A.P. Rio Cali (Elaboración propia).	48
Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Rio Cali por sub estación (Elaboración propia. Continua).	49
Tabla 4. Cargas más representativas de la carga instalada en la planta (Elaboración propia).	55
Tabla 5. Cálculo del consumo de energía activa de las cargas más representativas de la planta (Elaboración propia).	57
Tabla 6. Cálculo del consumo de energía activa de las cargas más representativas de la planta (Elaboración propia).	58
Tabla 7. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia).	63
Tabla 8. Valores promedios, mínimos y máximos de consumo de energía activa, reactiva y producción de agua potable de la planta Rio Cali, desde enero del 2019 hasta mayo del 2022 (elaboración propia).	64
Tabla 9. Valores promedios, mínimos y máximos de consumo de energía activa, reactiva y producción de agua potable de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).	65
Tabla 10. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de la subestación # 1 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).	68
Tabla 11. Valores promedios de mediciones realizadas en el motor de lavado de estructuras de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).	69

Tabla 12. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia)...	70
Tabla 13. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de la subestación # 1 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).	71
Tabla 14. Valores promedios de mediciones realizadas en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	72
Tabla 15. Valores promedios de mediciones realizadas en la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).....	77
Tabla 16. Valores promedios de mediciones realizadas en la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).....	82
Tabla 17. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).	87
Tabla 18. Valores promedios de mediciones realizadas en la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).....	92
Tabla 19. Mediciones en las bombas de la estación de bombeo Bellavista 3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia). Nota: Los armónicos de voltaje la bomba #4 marcados con “*” (asterisco) son los armónicos de frecuencia 180 Hz.	93
Tabla 20. Valores en porcentajes de las cargas respecto al promedio calculado de consumo de energía eléctrica de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	94
Tabla 21. Datos medidos para el funcionamiento de cada bomba de la estación de bombeo bellavista 3 (elaboración propia).....	115
Tabla 22. Datos medidos para el funcionamiento de cada bomba de la estación de bombeo bellavista 3 luego de cambio de conexión de fases de las bombas (elaboración propia).	115

Tabla 23. Datos de precios de venta de energía eléctrica y agua de EMCALI, CELSIA, CEO, ACUAVALLE Y EMQUILICHAO (elaboración propia).	122
Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Río Cali (elaboración propia. Continua).....	151
Tabla 25. Datos energía activa, reactiva y producción de agua total de la planta “Río Cali” desde el mes de enero de 2019 hasta el mes de mayo de 2022 (elaboración propia, continua).....	165

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Participación de consumo de energía en sector industrial por energético – 2014 (Fuente: UPME 2015).	29
Figura 2. Participación de usos de la energía en sector industrial – 2014 (Tomado de UPME 2015).....	29
Figura 3. Participación de los usos de la energía eléctrica en la industria (Tomado de UPME 2015).....	30
Figura 4. Documentos referentes a gestión de la energía por año (Tomado de SCOPUS 2023).	36
Figura 5. Documentos referentes a gestión de la energía por país (Tomado de SCOPUS 2023).	37
Figura 6. Mapa mental norma NTC 50001 (Elaboración propia).	38
Figura 7. Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (Tomado de NTC-ISO 50001 2019)...39	
Figura 8. Recibo de servicios públicos mes de septiembre de 2021P.T.A.P. Rio Cali...59	
Figura 9. Diagrama unifilar P.T.A.P. Rio Cali (Alimentación, transferencia manual y medición, elaboración propia).	60
Figura 10. Diagrama unifilar P.T.A.P. Rio Cali (distribución de subestaciones, elaboración propia).	61
Figura 11. Diagrama unifilar P.T.A.P. Rio Cali (cargas, elaboración propia).	61
Figura 12. Diagrama unifilar completo planta Rio Cali (Elaboración propia).	62
Figura 13. Consumo de energía activa en función de los Metros cúbicos de agua producidos de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	64

Figura 14. Desviación estándar para la obtención de límite máximo y mínimo del promedio de consumo de energía eléctrica de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	66
Figura 15. Regresión lineal para obtener la línea base (Elaboración propia).	67
Figura 16. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	73
Figura 17. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	73
Figura 18. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	74
Figura 19. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	74
Figura 20. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	75
Figura 21. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	75
Figura 22. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	76
Figura 23. Caudal de salida de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	77
Figura 24. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	78
Figura 25. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	78

Figura 26. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	79
Figura 27. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	79
Figura 28. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	80
Figura 29. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	80
Figura 30. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	81
Figura 31. Caudal de salida de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	82
Figura 32. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	83
Figura 33. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	83
Figura 34. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	84
Figura 35. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	84
Figura 36. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	85
Figura 37. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	85

Figura 38. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	86
Figura 39. Caudal de salida de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	87
Figura 40. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	88
Figura 41. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	89
Figura 42. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	89
Figura 43. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	90
Figura 44. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	90
Figura 45. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	91
Figura 46. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).....	91
Figura 47. Caudal de salida de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	92
Figura 48. Diagrama de Pareto de las cargas de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	95
Figura 49. Evolución de estrategia energética (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos practicos.” 2014).....	97

Figura 50. Ejemplo de plan de comunicaciones en un sistema de gestión integral de la energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos practicos.” 2014) (Continua).	100
Figura 51. Aportes a la norma NTC ISO 50001 mediante el presente trabajo de profundización (Elaboración propia).....	101
Figura 52. Contenido de una manual de gestión de energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energia. Fundamentos y casos practicos.” 2014).....	103
Figura 53. Procedimiento para realizar una auditoría interna al sistema de gestión de la energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energia. Fundamentos y casos practicos.” 2014).	106
Figura 54. Estructuración de reportes sobre eficiencia energética (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energia. Fundamentos y casos practicos.” 2014).	107
Figura 55. Ejemplo de revisión gerencial al SGIE (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energia. Fundamentos y casos practicos.” 2014).....	110
Figura 56. Regresión lineal para obtener la línea meta (Elaboración propia).....	119
Figura 57. Variación de producción y consumo de energía activa en el tiempo (Elaboración propia).	120
Figura 58. Indicador de consumo Base e IC Mínimo en función de la producción mensual de agua, IC Base (Elaboración propia).	123
Figura 59. Indicador CUSUM en función del tiempo (Elaboración propia).	125
Figura 60. Histograma de Intervalos más típicos o frecuentes de producción (Elaboración propia).	126
Figura 61. Ingreso de datos para cálculo indicadores (Elaboración propia).....	128

Figura 62. Tabla de base de datos (Elaboración propia).....	129
Figura 63. Variación de la energía eléctrica respecto al bombeo por Bellavista 2 (Elaboración propia).	129
Figura 64. Variación de la energía eléctrica respecto al bombeo por Bellavista 3 (Elaboración propia).	130
Figura 65. Línea base de consumo del total de la energía consumida en toda la planta (Elaboración propia).	130
Figura 66. Desviación estándar del total de los datos ingresados (Elaboración propia).	131
Figura 67. Línea meta del total de la energía consumida en toda la planta (Elaboración propia).	131
Figura 68. Variación de la energía eléctrica y producción por periodo de tiempo (Elaboración propia).	132
Figura 69. Indicador de consumo base y mínimo (Elaboración propia).....	132
Figura 70. Indicador de consumo base (Elaboración propia).	133
Figura 71. Indicador gráfico de tendencias o sumas acumulados CUSUM (Elaboración propia).	133
Figura 72. Histograma de producción (Elaboración propia).	134
Figura 73. Placa característica bomba de muestreo 1 agua cruda bocatoma.	138
Figura 74. Placa característica bomba de muestreo 2 agua cruda bocatoma.	138
Figura 75. Placa característica bomba de lavado desarenadores.....	139
Figura 76. Placa característica bomba de muestreo 1 agua cruda planta.....	139
Figura 77. Placa característica bomba de muestreo 2 agua cruda planta.....	139
Figura 78. Placa característica motor CAL 1.	139

Figura 79. Placa característica motor CAL 2.....	140
Figura 80. Placa característica motor CAL 3.....	140
Figura 81. Placa característica motor CAL 4.....	140
Figura 82. Placa motor y Variador, dosificación de coagulante # 1.....	141
Figura 83. Placa motor y Variador, dosificación de coagulante # 2.....	141
Figura 84. Placa característica bomba de muestreo 1 agua coagulada.....	142
Figura 85. Placa característica bomba de muestreo 2 agua coagulada.....	142
Figura 86. Placa característica motor tipo 1 de línea 1 y 2 de floculación.....	142
Figura 87. Placa característica motor tipo 2 de línea 1 y 2 de floculación.....	142
Figura 88. Placa característica motor tipo 3 de línea 1 y 2 de floculación.....	143
Figura 89. Placa característica variador tipo 1 de floculación.	143
Figura 90. Placa característica variador tipo 2 de floculación.	143
Figura 91. Placa característica motor tipo 1 de línea 3 de floculación.....	144
Figura 92. Placa característica motor tipo 2 de línea 3 de floculación (reductor).	144
Figura 93. Placa característica motor lavado de estructuras.....	144
Figura 94. Placa Característica Actuador eléctrico Tipo 1.....	145
Figura 95. Placa Característica Actuador eléctrico Tipo 2.....	145
Figura 96. Placa Característica Actuador Neumático.....	145
Figura 97. Placa Característica motor eléctrico del soplador.	146
Figura 98. Placa Característica Bomba de Lavado #1.	146
Figura 99. Placa Característica Bomba de Lavado #3.	146
Figura 100. Placa Característica Bomba de Lavado #4.	147

Figura 101. Placa Característica moto-bomba agua tratada.	147
Figura 102. Placa Característica motor #1 Bellavista 3.	147
Figura 103. Placa Característica bomba #1 Bellavista 3.	148
Figura 104. Placa Característica motor #2 Bellavista 3.	148
Figura 105. Placa Característica bomba #2 Bellavista 3.	148
Figura 106. Placa Característica motor #3 Bellavista 3.	149
Figura 107. Placa Característica bomba #3 Bellavista 3.	149
Figura 108. Placa Característica motor #4 Bellavista 3.	149
Figura 109. Placa Característica bomba #4 Bellavista 3.	150
Figura 110. Descripción de colores usados en la tabla 21.	164
Figura 111. Recibo de servicios públicos planta “Rio Cali” del mes de julio de 2022...167	
Figura 112. Consumo de energía activa de la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	170
Figura 113. Consumo de energía activa acumulada de la salida principal el transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	171
Figura 114. Consumo de energía reactiva de la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	171
Figura 115. Factor de potencia medido en la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	172
Figura 116. Corrientes medidas por fase a la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	173
Figura 117. Voltajes medidos por fase a la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	174

Figura 118. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase a la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	175
Figura 119. Consumo de energía activa motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	176
Figura 120. Consumo de energía activa acumulada motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	177
Figura 121. Consumo de energía reactiva motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	177
Figura 122. Factor de potencia medido en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	178
Figura 123. Corrientes medidas por fase en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	179
Figura 124. Voltajes medidos por fase en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	180
Figura 125. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	181
Figura 126. Consumo de energía activa en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	182
Figura 127. Consumo de energía activa acumulada en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	183
Figura 128. Consumo de energía reactiva en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	183
Figura 129. Factor de potencia medido en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	184

Figura 130. Corrientes medidas por fase en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	185
Figura 131. Voltajes medidos por fase en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 la planta Rio Cali (Elaboración propia).	185
Figura 132. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	186
Figura 133. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	187
Figura 134. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	187
Figura 135. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	188
Figura 136. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	189
Figura 137. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	189
Figura 138. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	190
Figura 139. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	191
Figura 140. Consumo de energía activa en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	192
Figura 141. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	193

Figura 142. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	193
Figura 143. Factor de potencia medido en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	194
Figura 144. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	194
Figura 145. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	194
Figura 146. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).	195

RESUMEN.

El presente trabajo de profundización presenta una propuesta metodológica para realizar la implementación de un sistema de gestión de energía en la planta de tratamiento de agua potable Río Cali de EMCALI. Por medio de un diagrama de Pareto se identificó que el mayor consumo de energía eléctrica de la planta se presenta en la estación de bombeo Bellavista 3, Bellavista 2 y salida de baja tensión del transformador 1 ubicado en la subestación 1. En la primera se encuentran instalados 4 motores de 150HP de los cuales ocasionalmente pueden funcionar 3 al mismo tiempo, pero generalmente se encuentran encendidos 2 y solo uno funciona por un tiempo máximo en el día de 20 horas con un encendido y apagado automático que depende de un sensor de nivel ubicado en un tanque llamado Bellavista. En la estación de bombeo Bellavista 2 se encuentran instalados 3 motores de 150 HP, pero generalmente por condiciones de la tubería solo pueden funcionar 2 al tiempo. Para estas dos estaciones de bombeo se identificó que Bellavista 2 actúa como respaldo de Bellavista 3, siendo esta última la que representa un 98% de funcionamiento con respecto a la primera.

El equipo utilizado para medir los parámetros eléctricos durante la operación fue un registrador industrial de marca DRANETZ con referencia HDPQ GUIDE usado para medición, registro y análisis de datos con su respectivo software. Se realizó un recorrido con el fin de identificar las prácticas energéticas, es decir, como es el comportamiento actual de los equipos, periodos de operación y magnitudes de consumo para la producción de agua en la planta. También se realizó recolección de la información necesaria que se obtuvo de la placa característica de los equipos, de documentos suministrados por EMCALI, de la revisión del sistema eléctrico de la planta con el fin de la elaboración de planos eléctricos presentados en este documento y elaboración de cuadros de carga, etc.

Se realizó la cuantificación de consumos de energía eléctrica entre otros parámetros en varios puntos del proceso de producción de agua potable en la planta. Se tomaron mediciones en Bellavista 3 (punto donde se presenta el mayor consumo de energía eléctrica de la planta) de cada motor individualmente y se tomó como línea base los datos de producción total de agua y consumo total de energía eléctrica de la planta los cuales fueron suministrados por EMCALI, todo esto para el periodo comprendido entre enero de 2019 hasta mayo de 2022 para un total de 41 datos, puesto que fue la información suministrada por EMCALI para el desarrollo de este trabajo.

Además, se establecieron las acciones principales para encaminar la planta hacia la implementación de un sistema de gestión de energía, proponiendo los indicadores a establecer, identificando oportunidades de ahorro, etc. Se planteó un compromiso y modelo que debería adoptar la planta para la gestión energética. Se determinó el personal clave para la implementación del sistema de gestión de energía, se diseñó y planteó un sistema de monitoreo de indicadores de desempeño energético, se identificaron implementaciones de nula o baja inversión. Se diseñó un plan de mejoramiento (mejoras tecnológicas y organizacionales). Se planteó un seguimiento de indicadores energéticos establecidos, se establecieron acciones para el control de los indicadores energéticos que son objeto de seguimiento. Se planteó un proceso de mejora continua del sistema de gestión de energía, mediante retroalimentación de mesas de trabajo.

Finalmente, se describe el análisis realizado para cada prueba obteniendo así las posibles mejoras para sistema de bombeo Bellavista 3, salida en baja tensión de la subestación #1 y las sugerencias hechas para la corrección de cada uno de los eventos encontrados. Se encontró que

los eventos más comunes son: desequilibrio notable de corrientes en las fases de cada bomba, presencia de armónicos de frecuencia (300Hz), la baja carga instalada en los transformadores de potencia, bajo factor de potencia. También se encontró que no se cuenta con medición de caudal para cada bomba, medición de parámetros para cada proceso o subproceso dentro de la planta que permita dar un posible diagnóstico. Adicionalmente, se encontró que la gran mayoría de equipos cumplieron su vida útil hace mucho, puesto que se evidenciaron fechas de fabricación desde 1954.

Palabras clave: Gestión, prueba, análisis, bombeo, sistema, datos, eficiencia, energía, motor, estación.

SUMMARY

This deepening work presents a methodological proposal to carry out the implementation of an energy management system in the EMCALI Rio Cali drinking water treatment plant. By means of a Pareto diagram, it was identified that the greatest consumption of electrical energy in the plant occurs in the Bellavista 3 and Bellavista 2 pumping stations and the low voltage output of transformer 1 located in substation 1. In the first one there are 4 150HP motors have been installed, of which 3 can occasionally work at the same time, but generally 2 are on and only one works for a maximum time of 20 hours a day with automatic on and off that depends on a level sensor located in a tank called Bellavista. In the Bellavista 2 pumping station, 3 150 HP motors are installed, but generally, due to pipe conditions, only 2 can work at a time. For these two pumping stations, it was identified that Bellavista 2 acts as a backup for Bellavista 3, the latter being the one that represents 98% of operation with respect to the first.

The equipment used to measure the electrical parameters during the operation was a DRANETZ brand industrial recorder with reference HDPQ GUIDE used for measurement, recording and data analysis with its respective software. A tour was carried out in order to identify energy practices, that is, how is the current behavior of the equipment, periods of operation and magnitudes of consumption for the production of water in the plant. The necessary information was also collected, obtained from the characteristic plate of the equipment, from documents supplied by EMCALI, from the review of the electrical system of the plant in order to prepare the electrical plans presented in this document and the preparation of load charts etc.

The quantification of electrical energy consumption was carried out, among other parameters, at various points of the drinking water production process at the plant. Measurements were taken at Bellavista 3 (the point where the highest electrical energy consumption of the plant occurs) of each motor individually and the data of total water production and total electrical energy consumption of the plant were taken as a baseline, which were supplied by EMCALI, all this for the period from January 2019 to May 2022 for a total of 41 data, since it was the information provided by EMCALI for the development of this work.

In addition, the main actions were established to guide the plant towards the implementation of an energy management system, proposing the indicators to be established, identifying savings opportunities, etc. A commitment and model that the plant should adopt for energy management was proposed. The key personnel for the implementation of the energy management system were determined, a monitoring system of energy performance indicators was designed and proposed, implementations of null or low investment were identified. An improvement plan (technological and organizational improvements) was designed. A follow-up of established energy indicators was proposed, actions were established to control the energy indicators that are monitored. A process of continuous improvement of the energy management system was proposed, through feedback from work tables.

Finally, the analysis carried out for each test is described, thus obtaining the possible improvements for the Bellavista 3 pumping system, low voltage output of substation #1 and the suggestions made for the correction of each of the events found. It was found that the most common events are: notable imbalance of currents in the phases of each pump, presence of frequency harmonics (300Hz), low load installed in power transformers, low power factor. It was also found that there is no flow measurement for each pump, measurement of parameters for each process or sub-process within the plant that allows a possible diagnosis. Additionally, it was found that the vast majority of the equipment expired its useful life long ago, since manufacturing dates from 1954 were evidenced.

Keywords: Management, test, analysis, pumping, system, data, efficiency, energy, motor, station.

Introducción

La optimización del uso de la energía eléctrica se ha convertido en uno de los objetivos principales de los consumidores a nivel industrial, sabiendo que, mediante una adecuada utilización de este recurso, se puede obtener el mismo resultado del proceso a un menor costo en la facturación. De aquí que surja la necesidad de estudios enfocados en: controlar fallas eléctricas y minimizarlas, optimizar la productividad en los procesos, reducir riesgos eléctricos en los equipos y evitar daños, además de aumentar la seguridad del personal humano.

En el presente trabajo de profundización se presenta una propuesta metodológica para realizar la implementación de un sistema de gestión de la energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (P.T.A.P.) Rio Cali de EMCALI, la cual es alimentada por media tensión a 13,2 kV por los circuitos “Siloé” y “carrera 13” con números de nodo 1183192 y 5297117 respectivamente, cabe aclarar que uno de estos actúa como respaldo del otro. La P.T.A.P. Rio Cali cuenta con una carga de 36 unidades de floculación, 2 moto-sopladores, una estación de bombeo que cuenta con 4 unidades de bombeo llamada “Bellavista 3”, estación de respaldo de bombeo que cuenta con 3 unidades de bombeo llamada “Bellavista 2”, “Sala de Bombas de Lavado” que cuenta con 3 unidades de bombeo, motores de tomas de muestras de agua, 4 unidades agitadoras de cal, unidad de bombeo para lavado de estructuras y las cargas perteneciente a oficinas, instrumentación de equipos, servicios generales, etc.

El propósito de este trabajo de profundización es proponer metodología para realizar la implementación de un sistema de gestión de la energía eléctrica y para así tomar las respectivas decisiones en el uso óptimo de esta en los procesos de potabilización del agua que así lo requieran. Además, como trabajos a futuro se pretende proporcionar una fuente de información confiable que pueda brindar soluciones a las fallas existentes y/o mejoras en el sistema eléctrico, en el uso de la energía eléctrica y como consecuencia se tendrá una mejora en la calidad del proceso para tratar el agua.

Planteamiento del problema

Las acciones en las que se ve involucrada la humanidad para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, como lo son la COP 21 [1] Y COP 24 las cuales reúnen a representantes de más de 150 países para debatir y elaborar instrumentos que puedan ayudar a cumplir con la agenda internacional contra el Cambio Climático [2], ambas con el fin de cumplir los objetivos pactados en el acuerdo de París [3]. De aquí que, Colombia en el evento: “Colombia enfrenta el cambio climático: bosques, agricultura y usos de la tierra en su visión de crecimiento sostenible” en donde se expusieron los compromisos que conlleva al país a lograr la reducción de gases de efecto invernadero en un 20% para el 2030 [4].

Las diversas formas de producción de energía eléctrica en algunos de sus casos son aportantes a la emisión de gases de efecto invernadero, por tanto, su consumo va ligado a la emisión de éstos. El alto consumo de energía eléctrica en las industrias es uno de los agentes que más influye en este sentido, de aquí que se busque reducir el consumo de energía inicialmente mediante estrategias de aprovechamiento eficiente de energías que presentan las empresas, por medio de acciones que vayan encaminadas a esta misión, con lo cual se estaría dando un paso para el cumplimiento del objetivo 7.3 de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) [5][6][7], propuesto por el departamento nacional de planeación (DNP) de Colombia.

Una de las industrias que tiene un alto consumo de energía eléctrica, es la producción de agua potable, un servicio esencial para la comunidad, que está incluido en el objetivo número 6 de los ODS, el cual indica que se debe lograr el acceso universal a el agua potable con proyección al 2030 [7] [8], por tanto, se debe contar con un sistema eléctrico confiable, eficiente y seguro que brinde un óptimo servicio. Además de garantizar condiciones de operación eficiente de todos los equipos en las diversas condiciones y otros elementos necesarios para la producción de agua al más bajo consumo de energía eléctrica posible, sin afectar la calidad del proceso. Cabe aclarar que el no contar con energía eléctrica en cualquier parte del proceso en el tratamiento de agua puede causar que no se cumplan los estándares de calidad para el consumo humano, lo cual implica la pérdida de materia prima (agua) e insumos para su tratamiento.

El uso eficiente de la energía eléctrica ha tomado fuerza con el tiempo, debido a la importancia que se le da al consumo eficiente de la misma, por lo que Colombia mediante la UPME expidió la resolución N°000196 de 2020 del 31 de agosto “requisitos y procedimientos para acceder a los beneficios tributarios de descuento en el impuesto de renta, deducción de renta y exclusión del IVA para proyectos de gestión eficiente de la energía” [9].

La Planta de Tratamiento de Agua Potable “Rio Cali” de EMCALI, no cuenta con un sistema de gestión de la energía eléctrica, que permita determinar si el sistema eléctrico ofrece las condiciones ideales para el funcionamiento de toda la carga instalada. Esta planta cuenta con un bajo factor de potencia (0.85), por falta de compensación de reactivos, además del costo asociado al cobro de los reactivos consumidos, los constantes disparos de los fusibles en sus subestaciones, la antigüedad de los equipos instalados entre los cuales se pueden encontrar fechas de fabricación de 1954. Cabe agregar que no se cuenta con datos de placa de algunos equipos instalados, lo cual hace que no se tenga información importante a la hora de tomar datos para tener unas recomendaciones confiables en la corrección de algún problema. También es importante destacar disparos de totalizadores o breakers por exceso de nueva carga instalada y finalmente se poseen pocos planos eléctricos de partes de sistema eléctrico de la planta. Con lo anterior se puede observar claramente que no se cuenta con un manejo eficiente de la energía eléctrica, puesto que no se tiene un control de los puntos más críticos y tampoco se tienen identificados los puntos de mayor consumo de energía en la planta, lo cual se pretende lograr con este trabajo, para así identificar los posibles eventos que afecten el buen funcionamiento del sistema eléctrico y llevar el seguimiento adecuado para la implementación de un sistema de gestión de energía eléctrica.

Con base en lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo implementar un sistema de gestión de la energía eléctrica, para aumentar la eficiencia energética de una planta de tratamiento de agua potable (P.T.A.P.)?

Se espera obtener un estudio que permita garantizar un mejor resultado en la eficiencia energética del proceso de mayor consumo de energía en la planta, con el fin de reducir el consumo de reactivos, obtener una mejor eficiencia de los equipos, reduciendo así el consumo de energía eléctrica y por tanto una reducción en el costo de la facturación.

Justificación

La planta de producción de agua potable “Rio Cali” tiene como función producir el agua necesaria para suplir las necesidades de los barrios: Aguacatal, Altos de Menga, Golondrinas, Menga, Bellavista, Sector Bosque Municipal, etc., los cuales conforman la red alta de Cali, además esta tiene la capacidad de entregar agua a los barrios: 3 de Julio, Acueducto San Antonio, Alameda, Altos de Normandía, Chipichape, El Bosque, El Lido, El Peñón, Granada, Versalles, etc., por medio del bombeo a tanques ubicados en puntos estratégicos y rebombeo por medio de las estaciones de bombeo con las que cuenta EMCALI, dando así, apoyo a la producción de agua de la red baja. Dentro de sus principales e importantes clientes están hospitales, centros de salud, barrios de estrato socioeconómico alto, etc. Debido a la gran importancia de esta planta es necesario contar con su disponibilidad en todo momento, de aquí que surja la necesidad de realizar estudios de posibles mejoras para el sistema eléctrico de ésta, con el fin de minimizar los riesgos de parada.

La metodología para la implementación de un sistema de gestión de energía eléctrica que se propondrá en este trabajo de grado permitirá establecer las acciones necesarias para realizar las respectivas mejoras del sistema eléctrico en el punto de mayor consumo de energía de la planta y lograr así el uso óptimo de la energía eléctrica. Todo esto debido al mal estado del sistema eléctrico de la planta el cual no presenta una buena confiabilidad por la antigüedad de la mayoría de sus equipos, vulnerabilidad de sus alimentaciones por media tensión, las cuales tienen constantes salidas de servicio por cortocircuitos causados por ramas de árboles, caídas de estos, etc. Además de no contar con un plan de mejoramiento del sistema eléctrico y el poco presupuesto asignado para la modernización de esta. Para lograr obtener una planta de producción de agua potable confiable y que además sus esfuerzos estén centrados en el ahorro de energía por medio de un sistema de gestión de energía se requiere el cambio cultural del personal en ella, además de la modernización de todos los equipos y sistema eléctrico de esta en media y baja tensión, con el fin de obtener un proceso confiable el cual pueda prestar un adecuado servicio a la ciudad.

Como resultado de este trabajo de grado se obtendrá: una mejora en el abastecimiento de energía eléctrica que contribuirá a la confiabilidad de suministro de agua potable a la ciudad implicando ahorro en facturación de energía eléctrica, disminución del lucro cesante, se tendrá un mayor conocimiento del estado actual del sistema eléctrico de la planta para la corrección de problemas existentes, eficiencia en la operación y/o producción, entregar comodidad y bienestar a empleados sin reducir la condición de los recursos y mantener en mayor medida la disponibilidad de la planta.

Objetivos

Objetivo general

Proponer una metodología para la implementación de un sistema de gestión de energía (S.G.E) basado en la norma NTC ISO 50001. Caso de estudio planta de tratamiento de agua potable “Rio Cali” de EMCALI.

Objetivos específicos

- Identificar el proceso de producción de la P.T.A.P. Rio Cali, flujos de energías y abastecimiento, uso de la energía y tecnologías en cada proceso.
- Identificar y establecer indicadores de desempeño necesarios para la implementación de S.G.E. en el marco de la norma NTC ISO50001 en la P.T.A.P Rio Cali.
- Determinar mediante mediciones pertinentes las posibles causas que disminuyan la eficiencia energética en el proceso de mayor consumo energético de la PTAP Rio Cali.
- Proponer una metodología para la implementación de un sistema de gestión de energía en una planta de tratamiento de agua potable, aplicada en la planta Rio Cali.

1. Caracterización de la P.T.A.P. Rio Cali: gestión energética en Colombia, marco normativo y descripción del proceso de tratamiento de agua.

La gran importancia que tienen las plantas de potabilización de agua, como en el caso de la P.T.A.P. “Rio Cali” de EMCALI, hace necesario contar con un sistema de gestión de energía que permita evaluar y realizar un seguimiento al consumo de energía de cada proceso para el tratamiento del agua. Esto con el fin de lograr identificar las causas que afecten la eficiencia de los equipos y/o procesos, y así, plantear las acciones necesarias para la mitigación o eliminación de éstas. Por consiguiente, mediante la implementación de un sistema de gestión de energía se podrán atacar las causas que afecten la eficiencia del sistema eléctrico de la planta.

1.1. Antecedentes

La UPME establece que: El sector industrial manufacturero del país, códigos 10 a 31 según clasificación CIIU (Clasificación industrial internacional uniforme), el cual representa el código de actividad económica[10]. Está compuesto por cerca de 4.100 empresas, de acuerdo con el informe de 2014 del Sistema de Información y Reporte Empresarial de la Superintendencia de Sociedades sobre empresas que pertenecen al sector real de la economía. El CIIU para el caso de la actividad económica de tratamiento de agua potable es el 3600 y su subsector es captación, tratamiento y distribución de agua[11][12].

1.1.1. Consumo de energía eléctrica en Colombia y gestión de la energía

Según el balance energético colombiano, la industria en Colombia consume menos del 30% de la energía total del país, lo cual lo convierte en el segundo sector que más consumo de energía eléctrica tiene después del transporte, que tiene un consumo alrededor del 40%. En el consumo industrial, se resalta la importancia de la producción de su propia energía por medio de generación térmica con energéticos como: el carbón mineral, gas natural y bagazo, los cuales suplen un 83% del total de energía que consume la industria. El 17% usa la electricidad que consume de la red y con energía generada por medio de auto y cogeneración. Estos consumos son presentados en la Figura 1[10].

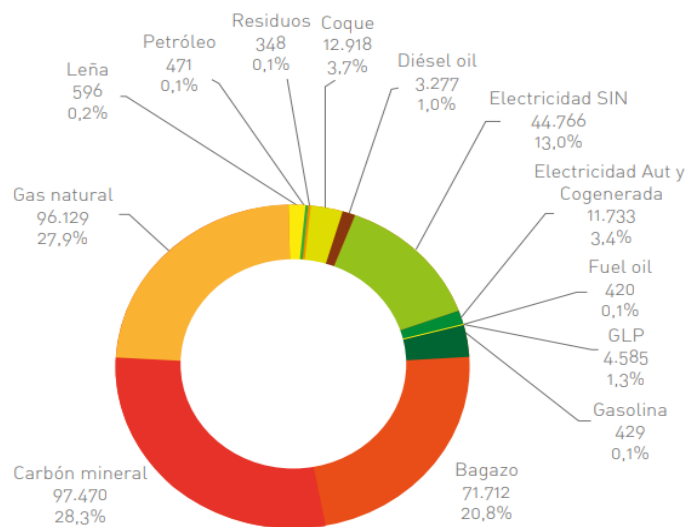


Figura 1. Participación de consumo de energía en sector industrial por energético – 2014 (Fuente: UPME 2015).

En la Figura 2 se muestran los resultados de un servicio contratado por la UPME cuya finalidad fue “Priorizar programas de eficiencia energética en la industria”, el cual en su primera parte hace una caracterización de los consumos energéticos principales en la industria con códigos CIIU 10 a 18.

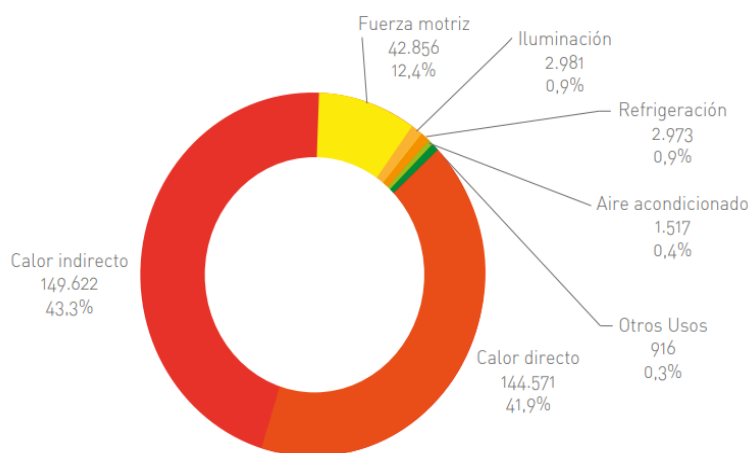


Figura 2. Participación de usos de la energía en sector industrial – 2014 (Tomado de UPME 2015).

Luego de identificar los usos energéticos en la industria la UPME afirma que: “La fuerza motriz constituye el principal uso de esta energía con un 76% de participación en el agregado total para todos los subsectores. Esto también incluye procesos de bombeo de agua, compresión de aire y otras aplicaciones indirectas de motorización eléctrica. También se encontró un amplio uso de la energía eléctrica para calor directo, concentrado

principalmente en los sectores de metales básicos, plásticos y químicos. La Figura 3 muestra la participación de los usos de la electricidad en el sector[10].

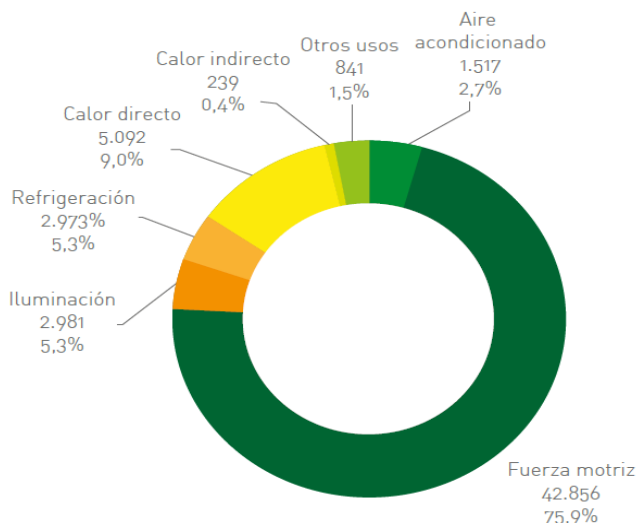


Figura 3. Participación de los usos de la energía eléctrica en la industria (Tomado de UPME 2015).

Como se puede observar en los estudios realizados por la UPME, los motores son las máquinas eléctricas más utilizadas en la industria, este mismo caso se presenta en la planta de tratamiento de agua potable “Rio Cali”, la cual involucra el uso de motores desde el inicio hasta el final del proceso; pasando por la toma de muestras del agua entrante y durante todo el proceso del tratamiento de agua. También usa motores para el proceso de floculación, lavado filtros con bombeo de agua, en el uso de actuadores eléctricos para apertura y cierre de válvulas, sopladores, compresores y finalmente como motobombas las cuales distribuyen el agua ya tratada a la red del acueducto de Cali.

De acuerdo con la resolución 41286 del 30 de diciembre de 2016[13] en donde se adopta el “Plan de acción indicativo de eficiencia energética (PAI) 2017-2022”[10] y bajo el documento de nombre: “comunicado premio eficiencia energética 2019”[14] en donde se promueve la inscripción al “V Premio de Eficiencia Energética en Colombia que otorgan el Ministerio de Minas y Energía, Andesco, la UPME y Findeter”, se puede observar la gran importancia que se le da al buen uso de la energía eléctrica, por lo que se hace necesaria la implementación de un sistema de gestión de energía, para así, no solo obtener incentivos por el ahorro en la energía eléctrica, si no, también contribuir a la reducción de muchos factores ambientales que se ven alterados por el consumo de esta. Algunos estudios encontrados para la implementación de un sistema de gestión de energía fueron almacenados en la tabla 1 y en estos se determinó el tipo de industria donde se aplicó, qué variables son tenidas en cuenta, el año de publicación, entre otros.

Referencia Año	Tipo de Industria	Variables medidas	Necesidades identificadas para implementar el SGEN	Revisión energética	Indicadores de desempeño	Evaluación del desempeño	Mejora
[15] 2017	Estación de bombeo de aguas residuales	Velocidad de operación.	Velocidad del motor porque afecta la eficiencia de la bomba.	Identificación de equipos de mayor consumo en la planta	Indicador de energía específica	-	Cambios Tecnológicos.
		Caudal Bombeado			Indicador de consumo energético		
		Cabeza dinámica estimada*					
		Potencia de salida en la bomba en kW y HP					
		Tensión de alimentación					
		Tensión aplicada al motor	Costo inapropiado en facturación de energía por elevarse las pérdidas al manejar una baja eficiencia (Baja Velocidad)		Indicador para gestión de mantenimiento		
		Corriente de alimentación			Indicador de gestión de la demanda		
		Potencia aparente de entrada y salida			Indicador de operación		
		Eficiencia estimada del sistema			Indicador de costo unitario de energía		
		Eficiencia estimada de la bomba					
[16] 2019	Empresa fabricante de cables para el sector eléctrico y telecomun icaciones	Energía eléctrica consumida por categoría de cableado	Categorización de los tipos de cableados que se fabrican, con el fin de definir en qué grupos se debían concentrar más según la cantidad de energía eléctrica que se consume para la fabricación de estos.	Identificación de áreas con mayor consumo de energía eléctrica	-	-	-

Tabla 1. Tabla de antecedentes (elaboración propia).

Referencia Año	Tipo de Industria	Variables medidas	Necesidades identificadas para implementar el SGE	Revisión energética	Indicadores de desempeño	Evaluación del desempeño	Mejora
[16] 2008	Sector petroquímico	Energía consumida en los procesos de la organización	Se establecieron variables operativas y de mantenimiento de proceso que afectan la eficiencia energética, usando como herramienta gráficos de tendencia del consumo energético.	Identificación de áreas con mayor consumo de energía eléctrica y con mayores potenciales de reducción de la demanda.	Índice de consumo mínimo alcanzable	Anualmente se establecen objetivos, metas y planes de acción de acuerdo con formato establecido y se realiza seguimiento quincenalmente. En reuniones de comité energético.	Cambios tecnológicos
					Energía no asociada a la producción		
					Energía no asociada %		
					Variación de la energía a por producción		
					Capacidad medida de eficiencia		
[17] 2008	Planta procesadora de pollo	Energía consumida en los procesos de la organización	Aumento de voltajes de trabajo para compresores, sello confiable para cuartos fríos.	Identificación de áreas con mayor consumo de energía eléctrica y con mayores potenciales de reducción de la demanda	-	-	Recuperación pérdidas de vapor en tanque condensado
		Energía consumida por los equipos de cada proceso que más consumen					Recuperación de condensado de escaladora
		Eficiencia en calderas					Aumento de voltaje de compresores
		Consumo de energía por cada compresor para cada tonelada de refrigeración producido					Consumos en horario de tarifa baja usuarios no regulados
		Utilización de aire comprimido					

Tabla 1. Tabla de antecedentes (continuacion, elaboración propia).

Referencia Año	Tipo de Industria	Variables medidas	Necesidades identificadas para implementar el SGE	Revisión energética	Indicadores de desempeño	Evaluación del desempeño	Mejora
[17] 2008	Sector Hotelero	Identificar energía consumida en las áreas del hotel	Energía no asociada a la producción	Identificación de áreas con mayor consumo de energía eléctrica y con mayores potenciales de reducción de la demanda	-	Creación de una infraestructura de evaluación y control de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos del hotel, implementación de acciones correctivas preventivas y del seguimiento de variables de control.	-
		Energía consumida por los equipos de las áreas que más consumen	Identificación de personal clave que incide en los consumos energéticos	Identificación de variables de control para reducir consumo con ayuda de personal			
[18] 2008	Bombeo de agua potable	Caudal Bombeado	Baja carga de la bomba	Identificación de áreas con mayor consumo de energía eléctrica	-	-	-
		Velocidad de operación.					
		Presión	Trabajo por fuera del rango de eficiencia suministrado por el fabricante				
		Potencia eléctrica consumida					
		Temperatura					

Tabla 1. Tabla de antecedentes (continuación, elaboración propia).

Referencia Año	Tipo de Industria	Variables medidas	Necesidades identificadas para implementar el SGEn	Revisión energética	Indicadores de desempeño	Evaluación del desempeño	Mejora
[19] 2014	Empresa manufacturera del sector metalmecánico	producción total mensual de la empresa	-	Identificación de áreas con mayor consumo de energía eléctrica y luego de equipos con mayor consumo en las áreas	identificación de eficiencias en consumos, es decir, determinar en qué medida la variación de consumos energéticos se debe a variaciones de la producción	Consumo vs producción	-
		consumo de energéticos					

Tabla 1. Tabla de antecedentes (continuacion, elaboración propia).

Debido a que realice mi pasantía y trabajo de grado de pregrado enfocado en algunas estaciones de bombeo de aguas residuales de Emcali, soy conocedor de algunas de las falencias que tienen en su operación, como lo es el caso de la estación de bombeo de “Navarro” [20], en cual se usa una motobomba para bombear caudales muy por debajo de su capacidad nominal, lo que ocasiona una muy baja eficiencia y pérdidas en el sistema. Cabe mencionar que esta no es la única estación de bombeo en la que se presenta este y otros tipos de falencias en su diseño y operación.

La estación de bombeo “Floralia” presenta una mala selección del grupo bomba motor debido a que la bomba posee una velocidad nominal de 875 RPM (según su placa característica) y el motor una de 1185 RPM (según su placa característica)[20]. También cabe mencionar que la velocidad con que normalmente funciona el motor por medio de un variador de velocidad es de 809 RPM, esta representa el 68% del valor nominal de la velocidad de placa del motor.

De igual forma se puede evidenciar en la estación de bombeo “Paso del Comercio” que el motor # 1 de bajos caudales trabaja a una frecuencia de 39 Hz por medio de un variador de velocidad. Este motor ha sido reparado para cambiar su posición de funcionamiento (de horizontal a vertical), en este proceso se le cambiaron los rodamientos para el funcionamiento en la nueva posición de trabajo. Cabe aclarar que toda esta información se consiguió de forma directa con los operadores de planta puesto que no había información documental [20]. En la estación de bombeo de “Calipso” también se encuentra que los motores trabajan a velocidades por debajo de la nominal (40 Hz).

De aquí se puede observar y concluir que, en las estaciones de bombeo de aguas residuales de EMCALI, es un problema común que los motores trabajen con velocidades por debajo de la nominal, por lo que en todas las estaciones mencionadas se incurriría en problemas de baja eficiencia y por consiguiente en pérdidas en el sistema, lo cual evidencia un mal uso de la energía eléctrica.

Los documentos presentados en la tabla 1 se basan principalmente en identificar los procesos o zonas de la organización que más consumo energético tienen, a partir de esto, se identifican los equipos que tienen el mayor consumo de energía y gran posibilidad de reducción del consumo de esta, para luego concentrar sus esfuerzos en producir ideas las cuales vayan encaminadas en mantener un uso eficiente de la energía con las tecnologías disponibles. Para el caso de este trabajo las ideas o esfuerzos irán enfocados en mantener un uso eficiente de energía eléctrica, identificando las zonas de mayor consumo y luego identificando los equipos que más tienen representación en el consumo de energía. De esta forma se asegurará que se tienen en cuenta todos los procesos presentes en la P.T.A.P. “Rio Cali” y se realizará un análisis óptimo para presentar un sistema de gestión de energía confiable para el proceso de mayor consumo de energía

en la planta y que además podría llegar a ser aplicado a otras plantas de tratamiento de agua potable o procesos similares.

Según la base datos de SCOPUS se puede observar en la Figura 4 que desde el año 1910 se creó la iniciativa del uso adecuado de la energía eléctrica, pero no fue hasta mediados de los 80 que empezó a tomar fuerza este tema y en 2020 que se encontró en su pico más alto de publicaciones.

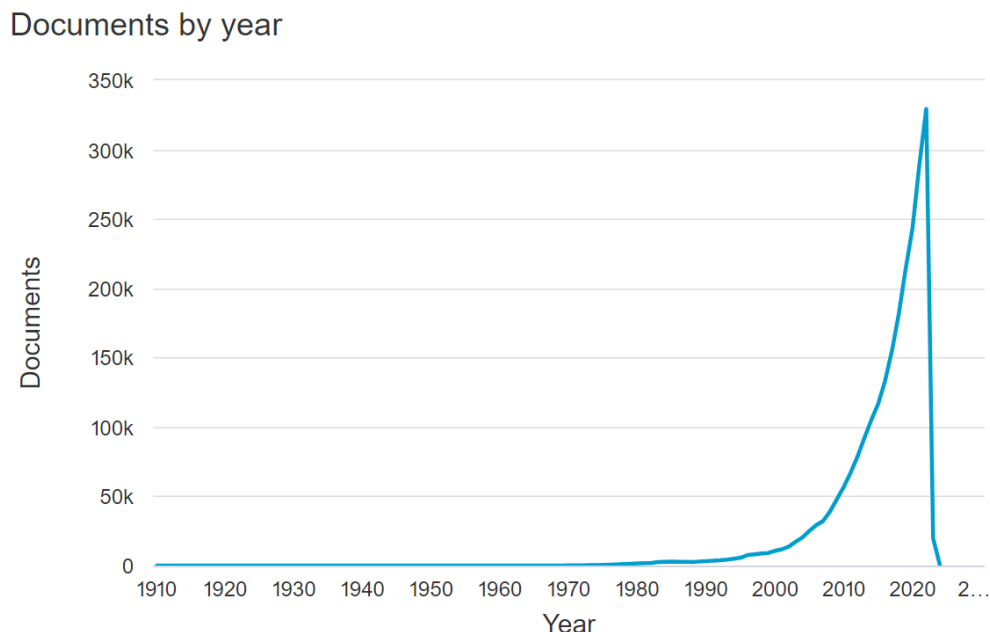


Figura 4. Documentos referentes a gestión de la energía por año (Tomado de SCOPUS 2023).

De igual forma se puede observar en la Figura 5 el interés de cada país por la implementación de un sistema de gestión de energía, en donde lidera china con 528.935 documentos, seguido por estados unidos con 471.267 documentos, mientras que países como Brasil y Colombia poseen 59.920 y 10.822 respectivamente.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

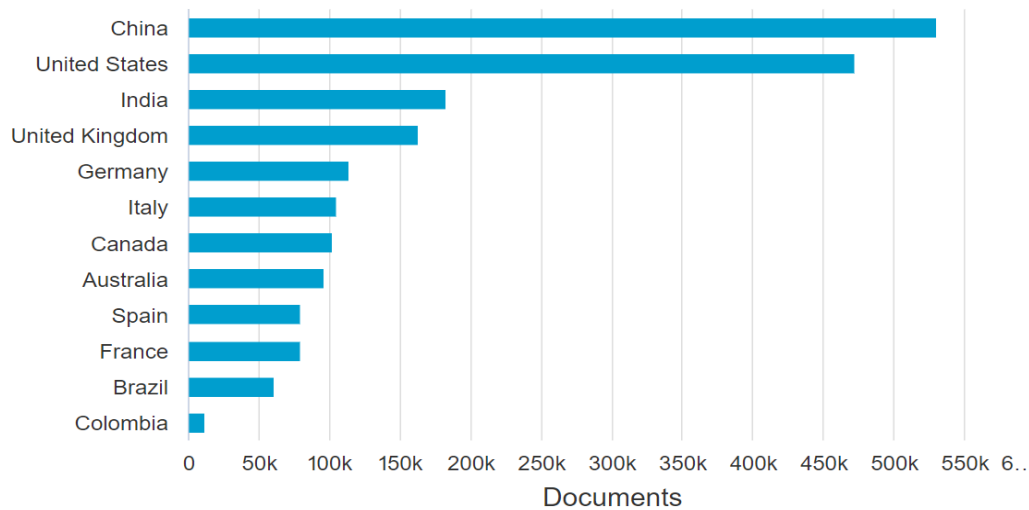


Figura 5. Documentos referentes a gestión de la energía por país (Tomado de SCOPUS 2023).

1.1.2. Normatividad para la gestión de la energía

La norma NTC ISO 50001 del 30 de enero de 2019 establece como definición de sistema de gestión lo siguiente: “conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr estos objetivos”[21]. Como definición de un sistema de gestión de energía: “sistema de gestión para establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos y las metas energéticas” [21]. En su contenido esta norma hace referencia a los sistemas y procesos que se deben implementar para la mejora continua del desempeño energético, además de incluir la eficiencia energética, el uso y consumo de energía.

El sistema de gestión de energía (SGEn) que describe la norma NTC-ISO 50001 se basa en el marco de mejora continua “planificar-hacer-verificar-actuar” (PHVA) e incorpora la gestión energética a las practicas organizacionales existentes[21]. En la Figura 6 se muestra el mapa conceptual elaborado para mostrar los temas abordados dentro de este trabajo de profundización, con el fin de facilitar el entendimiento de la norma.

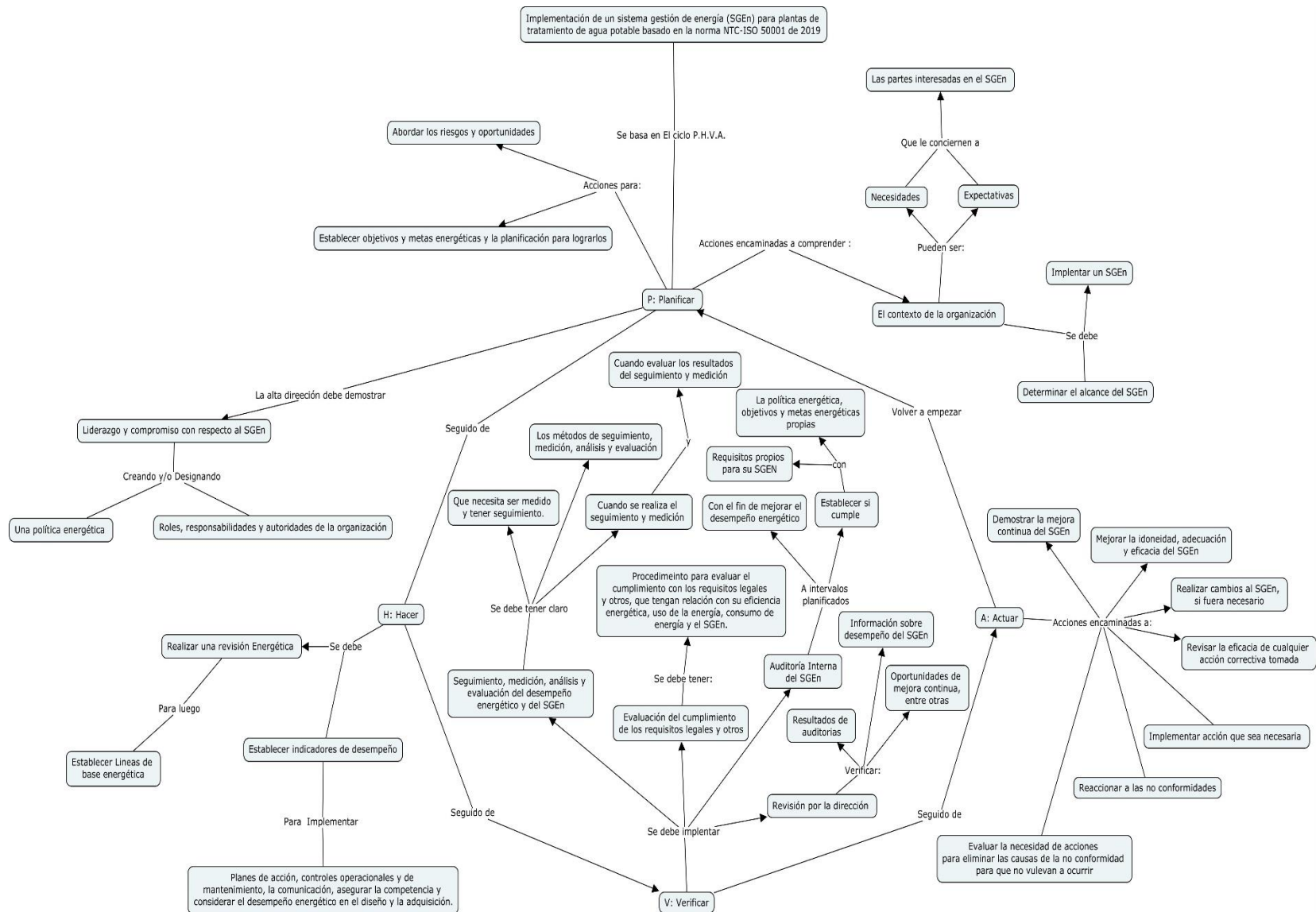


Figura 6. Mapa mental norma NTC 50001 (Elaboración propia).

El sistema de gestión de energía presente en la norma se puede resumir de la siguiente forma.

Planificar: comprender el contexto de la organización, establecer la política energética y el equipo de gestión de la energía, considerar las acciones para abordar los riesgos y las oportunidades, realizar una revisión energética, identificar los usos significativos de la energía (USE) y establecer indicadores de desempeño energético (IDENn), líneas de base energética (LBEn), metas y objetivos energéticos y los planes de acción necesarios para entregar los resultados que mejoraran el desempeño energético, de acuerdo con la política energética de la organización [21].

Hacer: implementar planes de acción, controles operacionales y de mantenimiento, y la comunicación, asegurar la competencia y considerar el desempeño energético en el diseño y la adquisición [21].

Verificar: realizar el seguimiento, medir, analizar, evaluar, auditar y dirigir las revisiones por la dirección del desempeño energético y del SGEN [21].

Actuar: tomar acción para abordar las no conformidades, y mejorar continuamente el desempeño energético y el SGEN [21].

La Figura 7 muestra el ciclo PHVA (Planificar, hacer, verificar y actuar) el cual se aplicó durante el proceso de implementación del sistema de gestión de energía.



Figura 7. Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (Tomado de NTC-ISO 50001 2019).

1.2. Descripción del proceso de tratamiento de agua e identificación de equipos usados.

La P.T.A.P. “Rio Cali” de EMCALI se identifica como una planta de producción de agua potable, la cual es un servicio público esencial según la ley 142 de 1994[22]. Esta planta es la encargada de suministrar agua a la ladera (red alta) y la red hospitalaria de la ciudad de Cali. Dentro de los barrios que cubre esta planta están: Aguacatal, Altos de Menga, Menga, Bellavista, Sector Bosque Municipal, entre otros. Cabe mencionar que el agua tratada cumple con todas las normas y regulaciones nacionales establecidas para el consumo humano. Además, esta se encuentra acreditada bajo la norma ISO 9001, cumpliendo siempre con cada una de las disposiciones establecidas en ella y suministrando a los caleños agua con los más altos estándares de calidad.

1.2.1. Bocatoma “Rio Cali”

El proceso de tratamiento de agua inicia en la bocatoma “Rio Cali” ubicada en Carrera 1 oeste N°21-126. Esta es la encargada de captar el agua proveniente del Rio Cali. Cuenta con tres formas de captación: la primera tiene el nombre de “Chidral” y es cuando se toma el agua de salida proveniente de una P.C.H. (Pequeña Central Hidroeléctrica) llamada “Chidral”, cabe mencionar que esta es muy poco usada debido a que solo se toma de aquí, cuando la PCH entra en funcionamiento, además de que podría usarse en paralelo con otro tipo de captación por no lograr tomar la cantidad de agua necesaria que se necesita en la planta en determinado momento.

El segundo tipo de captación es llamado “de fondo” y básicamente consta de un canal cubierto por rejillas en el fondo del rio que lo atraviesa de lado a lado, la función de las rejillas es impedir que este canal se llene de rocas, este es uno de los más usados para la captación de agua con el fin de enviarla a la planta. Finalmente, el tercer tipo de captación es llamado “Lateral” debido a que consta de una pequeña “desviación” a un costado del rio con el fin de que el agua entre por ahí y ser enviada directamente a la planta. Es de mencionar que en los dos primeros tipos de captación (Chidral y de fondo), el agua pasa por desarenadores mientras que cuando se capta el agua por “Lateral” no tiene el proceso de los desarenadores.

En esta parte se encuentran instaladas dos motobombas centrifugas, una actuando como respaldo de la otra. Estas dos tienen la función de tomar muestras con el fin de que el personal tome mediciones de turbiedad y otros factores. Algunas de las características de estas bombas son: bomba principal con una potencia de 0,75 HP, bifásica a 220V y la de respaldo con una potencia de 1,5 HP, trifásica a 220V). Ambas son de arranque directo. Sus placas características pueden ser observadas en el anexo A. El tiempo de funcionamiento de la bomba que se encuentre trabajando es de 24 horas al día.

Luego de que el agua sea captada del Río Cali es conducida por medio de canales hasta dos desarenadores los cuales se encargan como su nombre lo indica de quitar la mayor cantidad de arena, lodo y cualquier otra suciedad posible que lleve el agua. En esta etapa del proceso se cuenta una motobomba de arranque estrella triángulo (su placa característica puede ser observada en el anexo A.) con la cual se realiza el lavado de los desarenadores cuando cumplen su periodo de trabajo (3 meses), este lavado dura alrededor de 2 y 3 horas por cada desarenador, cabe aclarar que no se lavan los dos al tiempo. La bocatoma tiene un consumo promedio de energía eléctrica de 1303 kWh/Mes, según su recibo del mes de noviembre de 2022.

1.2.2. Planta de tratamiento de agua potable “Río Cali”

El agua sigue con su camino por medio de un canal de aducción llegando a la entrada de la planta de tratamiento de agua potable “Río Cali” ubicada en Calle 3 oeste N°9-00. El primer equipo que se encuentra en el recorrido del agua es una válvula de desagüe lateral tipo compuerta la cual es controlada por medio de un actuador eléctrico trifásico a 220V, el uso de este es eventual. Siguiendo por el canal de entrada se tienen dos moto-bombas centrifugas de muestreo de arranque directo para medir la turbiedad y otros factores del agua (Sus placas características pueden ser observadas en el anexo A), el tiempo de funcionamiento de estas es de 24 horas al día. Es de aclarar que están instaladas dos bombas de muestreo, pero una actúa como respaldo de la otra.

Seguido, el agua pasa por la dosificación de CAL, que está compuesta por 4 motorreductores de arranque directo (sus placas características pueden ser observadas en el anexo A) que se encargan de mover aspas para disolver la CAL en el agua, cada uno cuenta con un tanque de almacenamiento. De esos 4 motorreductores 2 son usados para el apagado de CAL (proceso donde se mezcla CAL y agua, para ser agitada con las aspas de cada tanque con el fin de obtener una mezcla más homogénea) y los otros dos como dosificadores. Para el caso de los dos de apagado, uno actúa como respaldo del otro y de igual manera que para los dosificadores. En este proceso se agita y/o revuelve CAL con agua (diferente a la del canal) para luego ser dosificada al agua que pasa por el canal. El proceso de agitación de CAL es independiente del canal de entrada de agua de la planta, aquí primero se mezcla agua con CAL en alguno de los tanques de apagado, luego pasa a alguno de los tanques dosificación y finalmente por medio de tuberías se hace llegar la mezcla al canal de entrada en donde se le adiciona al agua proveniente del río. El tiempo de funcionamiento de estos equipos es de alrededor de 7,2 horas al día para el de apagado y dosificación de CAL.

También se realiza la mezcla de ACH (Clorhidrato de aluminio) con el agua del canal por medio de dos dosificadores, uno actuando en respaldo del otro, los cuales son dos moto-bombas de desplazamiento positivo de diafragma, cada una controlada por un variador

de velocidad el cual se programa para funcionar a cierta velocidad (variable según el estado del agua) con el fin de realizar una dosificación adecuada (Sus placas características pueden ser observadas en el anexo A). El tiempo de funcionamiento de estos es de 24 horas al día.

Luego el agua pasa por donde se encuentran otras dos moto-bombas centrífugas de muestreo con arranque directo (Sus placas características pueden ser observadas en el anexo A), estas cumplen la función de hacer seguimiento al proceso de los químicos que se agregaron. Estas dos bombas funcionan al tiempo. Además, aquí también se toman muestras con el “streaming current” con el fin de verificar la adecuada dosificación de ACH (su placa característica puede ser observada en el anexo A). El tiempo de funcionamiento diario del streaming current y de las dos bombas de muestreo es de 24 horas al día.

A continuación, el agua pasa a ser distribuida en tres grandes tanques o líneas de floculación (Línea 1, línea 2 y línea 3). Cada línea cuenta con 12 floculadores formando 3 filas compuestas de 4 floculadores, estos son motores acoplados a reductores, los cuales mueven grandes aspas que tienen la función de mezclar los químicos adicionados al agua con el fin de que las partículas de lodo, entre otras, se unan y caigan por gravedad al fondo de estos tanques.

La línea 1 y 2 de floculación cuenta con motores de disposición vertical controlados por 2 tipos de variadores de velocidad, las placas características de los motores y de los variadores presentes se muestran en el anexo A, en estos datos se evidencia que los motores son de características casi idénticas, se diferencian en porcentajes mínimos (1% o 2%) por su velocidad esencialmente. En estas dos líneas de floculación existen 3 tipos de motores. El tiempo de funcionamiento de estas dos líneas de floculación es de 24 horas al día. Los 3 primeros floculadores de la línea 1 y 2 funcionan a una frecuencia de aproximadamente 28 Hz, los 3 segundos a 26 Hz, los siguientes 3 a una frecuencia de 20Hz y los 3 últimos a una frecuencia de 16Hz. Estos valores de frecuencia son fijos siempre y calculados para el peor caso de turbiedad del agua, sin tener nada que ver con que deban girar todos a la misma velocidad u otro factor.

En la línea 3 de floculación se cuenta en total con 9 floculadores. Seis de estos nueve, son motores de disposición vertical idénticos con arranque directo (la placa característica de estos motores es mostrada en el anexo A), los tres restantes son motores de disposición horizontal con arranque directo (estos no cuentan con placa visible debido a que ha sido pintada y por su antigüedad). En esta línea se desmontaron 3 floculadores de disposición horizontal de arranque directo debido a su obsolescencia, por tal razón no son 12 al igual que en las otras 2 líneas de floculación. El tiempo de funcionamiento de esta línea es de 24 horas al día y tiene variación de velocidad manual, por medio de su

respectivo reductor de velocidad, en esta línea de floculación no hay control de motores por medio de variadores de velocidad.

En las entradas de las 3 líneas de floculación se le adiciona cloro al agua por medio de clorinadores, el tiempo de funcionamiento de este proceso es de 24 horas al día. En este proceso también se cuenta con un motor que funciona como extractor y con dos Scrubber uno actuando como respaldo del otro. La función de estos equipos es la de combinar el cloro con soda caustica en caso de una fuga, el tiempo de funcionamiento de estos equipos es eventual (la placa característica de estos motores es mostrada en el anexo A).

Ahora el agua sigue con su recorrido a través de los decantadores que siguen con la numeración al igual que las líneas de floculación (línea 1, línea 2 y línea 3). Los tanques de floculación y decantación conforman las tres líneas de purificación de agua. Los decantadores se encargan de disminuir la velocidad con la que se mueve el agua con el fin de hacer que se depositen diferentes materiales y partículas más pequeñas en el fondo de estos tanques. En este proceso no se usa ninguna máquina eléctrica, ni se presenta ningún tipo de consumo de energía. Pero si existe una moto-bomba (la placa característica es mostrada en el anexo A) la cual es usada para el lavado de decantadores, tanques de floculación y estructuras aledañas, este motor es de arranque estrella triangulo y posee una bomba centrifuga. El tiempo de funcionamiento de este equipo es de aproximadamente una vez al mes por un periodo de tiempo de 4 a 6 horas. Esto debido a que cada línea de purificación debe ser lavada cada 3 meses.

Ahora, el agua pasa por los filtros que son un total de 20, estos están divididos en dos conjuntos nombrados filtros americanos y filtros franceses. El primer conjunto de 12 filtros (americanos) posee 6 actuadores eléctricos por filtro que son los encargados de controlar las válvulas de: desagüe (1 por filtro), agua filtrada (2 por filtro), lavado (1 por filtro), control de salida (1 por filtro) y agua clarificada (1 por filtro). Cabe hacer claridad que no todos los actuadores presentan las mismas características (las placas características de los tres tipos de actuadores se muestran en el anexo A). Además, aclarar que los filtros del 1 al 8 y el filtro 10 poseen actuador neumático en su válvula de agua Clarificada.

La operación o funcionamiento de los actuadores de agua filtrada, control de salida y agua clarificada depende de las condiciones de producción, pero cuando estas se establecen los actuadores permanecen es un solo estado (ya sea cerrado, abierto o en una posición intermedia). Otra de las condiciones de funcionamiento de estos actuadores es para el proceso de lavado, en el cual operan para estar totalmente abiertas o cerradas. De igual modo sucede para las válvulas de lavado y desagüe.

El segundo conjunto de filtros (franceses) está compuesto de 8 filtros que poseen actuadores neumáticos, las características de sus electroválvulas son idénticas a las de los actuadores neumáticos de los filtros americanos, estas son mostradas en el anexo A. Cada filtro cuenta con una válvula de desagüe, una de lavado, una de aire comprimido y una de agua filtrada, para un total de 4 electroválvulas por filtro, esta condición varía con respecto a los filtros americanos debido a la configuración de la tubería que se dispuso. Las condiciones para la operación y funcionamiento de estas electroválvulas son similares a las de los filtros americanos, pero teniendo en cuenta las válvulas que se manejan en estos y por tal motivo estas solo podrán estar abiertas o cerradas completamente. Para las válvulas neumáticas mencionadas anteriormente se tiene instalados 2 compresores de los cuales uno está ubicado en la estación de bombeo Bellavista 3 y otro en la sala de bombas de lavado. Su placa característica es mostrada en el anexo A.

En general, para los filtros americanos y franceses, cada filtro debe ser lavado aproximadamente cada 3 días. Se manejan 3 turnos durante las 24 horas del día con el personal de producción. En cada turno se deben lavar mínimo dos filtros, es decir, que diariamente se realiza el lavado de aproximadamente 6 filtros.

En el proceso de filtración, la arena y antracita presente en los filtros se ensucian debido al paso del agua aún contaminada por lodo y otras partículas, lo cual hace necesario el lavado de los filtros. Este proceso se realiza con dos subprocesos que son: encendido de sopladores y encendido de bombas de lavado. Durante el lavado de un filtro se realizan aperturas y cierres de válvulas, que garantizan las condiciones para el lavado, una de ellas es que no ingrese más agua al filtro. De este modo se deja el filtro con cierta cantidad de agua, para luego dar el encendido al soplador. Se cuenta con dos sopladores, uno actuando como respaldo del otro. Un soplador posee un arranque estrella triángulo y el otro un variador de velocidad (sus placas características son mostradas en el anexo A).

El soplador tiene la función de enviar aire al filtro que se pretende lavar con el fin de agitar el agua, arena y antracita, para lograr así que se desprenda la suciedad (lodo y otros). Este proceso dura alrededor de 5 minutos, luego el soplador se apaga y se deja ingresar agua limpia nuevamente al filtro, con el fin de que esta vaya reemplazando el agua sucia. El agua sucia irá saliendo del filtro por rebose y se desecha por el desagüe que tiene conducción hacia el Río Cali. Esta agua limpia es agua tratada la cual proviene de un tanque de almacenamiento que se usa para el consumo interno de la planta. Este tanque es llenado por 2 motobombas centrifugas que poseen arrancadores suaves para su funcionamiento (sus placas características son mostradas en el anexo A). El encendido de estas bombas depende del nivel del tanque de consumo interno, puesto que son controladas por un sensor de nivel y un PLC.

Cabe mencionar que estas bombas también se encienden así no haya lavado porque como se mencionó, el tanque es para el consumo interno de la planta (baños, cocinetas, dosificación de cloro, entre otros). Estas dos motobombas están ubicadas en la sala de bombas de lavado, en esta solo se encuentran funcionando únicamente las unidades # 3 y # 4. El tiempo de funcionamiento de estas dos bombas es de aproximadamente 3 horas diarias, para ambas unidades. Luego de que el agua pasa por el proceso de filtrado sale de los filtros americanos por medio de una válvula controlada por un actuador eléctrico, el cual que tiene el nombre de “salida general de filtros americanos”, de igual forma sucede para los filtros franceses, pero para este caso el actuador es llamado “salida general filtros franceses”. Estos dos actuadores son operados según las condiciones de producción de agua. A partir de aquí el agua sigue su recorrido por medio de tuberías pasando por donde hay presente otra moto-bomba centrífuga de muestreo bifásica y con arranque directo que cumple la función de verificar el estado del agua que va a ser distribuida en la ciudad, el tiempo de funcionamiento de esta es de 24 horas al día (la placa característica se muestra en el anexo A).

Adicional a esto se cuenta con dos motobombas centrífugas de arranque directo que tienen el nombre de “refuerzo de cloro” (placas características se muestran en el anexo A), cabe aclarar que una actúa en respaldo de la otra. Estas tienen la función de tomar agua tratada de los tanques de almacenamiento para distribución a la ciudad con el fin de enviarla a los clorinadores para la dosificación de cloro. El tiempo de funcionamiento de estas es eventual, puesto que normalmente se toma agua del tanque de consumo interno de la planta para realizar esta función y se tiene la opción de estas dos bombas en caso de emergencia.

Finalmente, el agua es conducida a 4 tanques de almacenamiento para su distribución en la ciudad, estos tanques son llamados tanque 1, 2, 3 y 4. Cabe mencionar que se cuenta con actuadores eléctricos que controlan las válvulas de las entradas y salidas de agua para los 4 tanques. De igual forma existe comunicación por medio de tubería entre los tanques, esta comunicación entre tanques es controlada por medio válvulas, que poseen actuadores eléctricos trifásicos a 220 V. Luego de esto termina el proceso de tratamiento de agua en la planta. La operación y funcionamiento de estos actuadores depende de las condiciones de producción de la planta y de los lavados que se realizan a los tanques de almacenamiento. Estos lavados usan agua del tanque Bellavista (ubicado fuera de la planta) aprovechando la cabeza hidráulica que este posee.

El agua almacenada en los tanques 2, 3 y 4 es distribuida a diferentes partes de la ciudad por medio de gravedad. El agua almacenada en el tanque 1 es bombeada a un tanque llamado Bellavista (mencionado anteriormente). En este proceso de bombeo están instalados 4 motores de 150 HP (ubicados en la estación de bombeo Bellavista 3) con sus respectivas bombas centrífugas verticales de pozo, estos poseen arrancadores

suaves (las placas características son mostradas en el anexo A). El tiempo de funcionamiento de estos equipos (Bellavista 3) puede variar y en algún momento podrían estar encendidos hasta máximo 3 equipos por limitaciones en la tubería, es decir, nunca se podrían encender los 4 equipos al mismo tiempo. En caso de tener que encenderse el tercer motor durara en promedio máximo 2 horas en funcionamiento. Generalmente están en constante funcionamiento 2 motores, el tiempo de trabajo para estos es de alrededor de 20 horas diarias para uno y de 14 horas diarias para el otro.

Adicional a la estación de bombeo Bellavista 3, también está presente la estación de bombeo Bellavista 2 que cumple la función de respaldo. En la estación de bombeo Bellavista 2 hay instalados 3 motores de arranque estrella triangulo con bombas centrifugas de carcaza partida (las placas características son mostradas en el anexo A). El tiempo de funcionamiento de esta es idéntico al de Bellavista 3 (20 y 14 horas). En este caso solo pueden funcionar máximo 2 motores por limitaciones de tubería y ambos al mismo tiempo.

2. Identificación de las prácticas energéticas en la P.T.A.P. Rio Cali: cargas instaladas, cálculos de consumos de energía eléctrica, descripción del sistema eléctrico por media tensión (13,2kV), baja tensión y consumo de energía eléctrica según recibo de energía respecto a la producción de agua.

En este caso, se identificaron en campo por medio de las placas características de cada equipo las potencias instaladas de cada proceso presente en el tratamiento de agua, indicando la subestación de la cual se están alimentado eléctricamente. Esta información es mostrada en las tablas 2 y 3, para lograr así obtener la potencia total instalada de la planta (100%). Después, se calculó un estimado del consumo de las 7 cargas más representativas para calcular un aproximado del consumo de energía eléctrica real de estas cargas y así verificar el peso en porcentaje que tiene cada una de estas en la facturación.

Cabe mencionar que no se realizó el cálculo para el 100% de la carga instalada en la planta, si no, únicamente para las 7 más representativas como se indicó anteriormente. Las tablas 2 y 3 fueron resultado de este trabajo de profundización puesto que no se contaba con información documentada. Posteriormente se presentó el recibo de energía eléctrica de la planta, se realizó la descripción del sistema eléctrico de media y baja tensión, mostrando el diagrama unifilar, al igual que la tabla 7 en donde se muestran los datos de todos los transformadores presentes, es de mencionar que estos dos últimos surgen como resultado de este trabajo de grado. Finalmente se presentan los datos de consumo de energía eléctrica vs producción de agua en un diagrama de dispersión en el periodo comprendido entre enero de 2019 a mayo de 2022 para un total de 41 datos.

2.1. Análisis del consumo de las cargas

A continuación, en la tabla 2 se describen los aires acondicionados como carga independiente para verificar el consumo que tienen e identificar si podrían llegar a considerarse como un factor importante para el sistema de gestión de la energía en la planta. Esta información fue levantada en campo, debido a que no se tenía documentada.

Cantidad	Potencia [kW]	Voltaje	Corriente	BTU/h	Ubicación	Potencia Total Con Cantidad [kW]	Potencia de Aires [kW]
2	2,4	220-230	10,5	30000	Bellavista 3*	4,8 Sub 5	46,071
9	2,4	220-230	10,5	30000	Varios	21,6 Sub 1	
2	3	220	-		Varios	6 Sub 1	
1	6,9	220	31	60000	Variadores*	6,9 Sub 1	
1	3,941	230	17,6	36000	Operación	3,941 Sub 1	
1	2,4	208-230	10,9	18000	Oficina jefe Mtto Estaciones de bombeo	2,4 Sub 1	
1	0,43	220-230	1,7	60000	Mtto. Locativo	0,43 Sub 1	

Tabla 2. Datos de consumo de aires acondicionados presentes en la P.T.A.P. Rio Cali (Elaboración propia).

Los datos de ubicación presentados en la tabla anterior marcados con asterisco (*) representan los aires acondicionados de trabajo continuo, es decir, 24 horas al día. Los demás funcionan en horario de oficina un promedio de 4 horas al día. En la tabla 5 se muestran los procesos presentes en el transcurso del tratamiento de agua, con los respectivos valores de potencia por proceso.

DESCRIPCIÓN	Descripción Subestación 1. 13,2kV/220V/110V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Floculación	Motor Vertical de Floculación # 25	31,551	22,09
	Motor Vertical de Floculación # 26		
	Motor Vertical de Floculación # 27		
	Motor Vertical de Floculación # 28		
	Motor Vertical de Floculación # 29		
	Motor Vertical de Floculación # 30		
	Motor Vertical de Floculación # 31		
	Motor Vertical de Floculación # 32		
	Motor Vertical de Floculación # 33		
	Motor Vertical de Floculación # 34		
	Motor Vertical de Floculación # 35		
	Motor Vertical de Floculación # 36		
Lavado Estructuras	Motor Lavado de estructuras	30,000	40,2145
Muestreo	Cruda Principal	8,270	5,05
	Cruda Respaldo		
	Coagulada 1		
	Coagulada 2		
CAL	Motor # 1 Cal	14,066	10,44
	Motor # 2 Cal		
	Motor # 3 Cal		
	Motor # 4 Cal		
LLENADO COAGULANTE	Motor #1 llenado tanque de Coagulante	3,111	0,75
	Motor #2 llenado tanque de Coagulante		

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Río Cali por sub estación (Elaboración propia. Continua).

DESCRIPCIÓN	Descripción Subestación 1. 13,2kV/220V/110V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
SCRUBBER	Motor Scrubber # 1	5,202	1,963
	Motor Scrubber # 2		
	Extractor		
CARBON ACTIVADO	Motor Carbón Activado # 1	1,205	0,373
	Motor Carbón Activado # 2		
DOSIFICACION COAGULANTE	Motor # 1 Dosificador de coagulante	2,494	1,492
	Motor # 2 Dosificador coagulante		
Streaming Current	Streaming Current	0,286	0,161
Polipasto	Polipasto	5,983	3,800
Actuadores	Actuador canal de entrada	4,605	1,445
	Actuador de la torre		
	Actuador canal de aducción tanque 1		
	Actuador canal de aducción tanque 2		
	Actuador salida General Filtros Americanos		
Otros	Carga Oficinas y Alumbrado (pasillo filtros americano, torres, zona de floculación, decantación, casetas de vigilancia, etc.)	50,000	50,000

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Rio Cali por sub estación (Elaboración propia, continuación).

DESCRIPCIÓN	Subestación 2.	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
DISTRIBUCIÓN	Subestación 3	1430,000	1430,000
	Subestación 4		
	Subestación 5		
DESCRIPCIÓN	Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Bombas de Lavado	Bomba de Lavado # 1	262,025	324,047
	Bomba de Lavado # 3		
	Bomba de Lavado # 4		
Sopladores	Soplador # 1	118,199	95,97
	Soplador # 2		
	Ventilación		
Compresores	Compresor Bombas de Lavado	11,279	7,46
	Compresor caseta sopladores		
Muestreo	Tratada	1,626	1,14

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Río Cali por sub estación (Elaboración propia, continuación).

DESCRIPCIÓN	Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Electroválvulas	Electroválvula de lavado filtro #13	0,116	0,116
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #13		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #13		
	Electroválvula de Filtrado filtra #13		
	Electroválvula de lavado filtro #14		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #14		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #14		
	Electroválvula de Filtrada filtro #14		
	Electroválvula de lavado filtro #15		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #15		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #15		
	Electroválvula de Filtrada filtro #15		
	Electroválvula de lavado filtro #16		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #16		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #16		
	Electroválvula de Filtrada filtro #16		
	Electroválvula de lavado filtro #17		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #17		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #17		
	Electroválvula de Filtrada filtro #17		
	Electroválvula de lavado filtro #18		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #18		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #18		
	Electroválvula de Filtrada filtro #18		
	Electroválvula de lavado filtro #19		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #19		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #19		
	Electroválvula de Filtrada filtro #19		
	Electroválvula de lavado filtro #20		
	Electroválvula Descarga atmosfera filtro #20		
	Electroválvula de Aire Comprimido filtro #20		
	Electroválvula de Filtrada filtro #20		
	Electroválvula Principal		

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Rio Cali por sub estación (Elaboración propia, continuación).

DESCRIPCIÓN	Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Actuadores	Actuador Aísla Alimentación de salida refuerzo sur desde Tanque #3	11,903	2,785
	Actuador Llenado Tanque #3 por refuerzo		
	Actuador Da pase de comunicación Canaleta Tanque #1 a Salida Refuerzo Norte		
	Actuador Da pase de comunicación Tanque #1 - Tanque #2 a refuerzo Centro		
	Actuador Sopladores Salida Filtros Franceses		
	Actuador Sopladores Salida Filtros Americanos		
	Actuador Salida General filtros franceses		
	Actuador salida centro desde tanque # 4		
	Actuador salida norte desde tanque # 4		
	Actuador entrada tanque 4		
Otros	Carga Alumbrado, tomas, etc.	4,000	4,000
DESCRIPCIÓN	Subestación 4. 13,2kV/440V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Bellavista 2	Motor # 1 Bellavista 2	411,535	335,70
	Motor # 2 Bellavista 2		
	Motor # 3 Bellavista 2		

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Rio Cali por sub estación (Elaboración propia, continuación).

DESCRIPCIÓN	Subestación 4. 13,2kV/440V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Floculación	Motor Vertical de floculación #1	62,759	36,55
	Motor Vertical de floculación #2		
	Motor Vertical de floculación #3		
	Motor Vertical de floculación #4		
	Motor Vertical de floculación #5		
	Motor Vertical de floculación #6		
	Motor Vertical de floculación #7		
	Motor Vertical de floculación #8		
	Motor Vertical de floculación #9		
	Motor Vertical de floculación #10		
	Motor Vertical de floculación #11		
	Motor Vertical de floculación #12		
	Motor Vertical de floculación #13		
	Motor Vertical de floculación #14		
	Motor Vertical de floculación #15		
	Motor Vertical de floculación #16		
	Motor Vertical de floculación #17		
	Motor Vertical de floculación #18		
	Motor Vertical de floculación #19		
	Motor Vertical de floculación #20		
	Motor Vertical de floculación #21		
	Motor Vertical de floculación #22		
	Motor Vertical de floculación #23		
	Motor Vertical de floculación #24		

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Río Cali por sub estación (Elaboración propia, continuación).

DESCRIPCIÓN	Subestación 4. 13,2kV/440V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Filtro 1-12	Actuador Filtro #1 desagüe	29,906	29,91
	Actuador Filtro #1 filtrada lado 1		
	Actuador Filtro #1 filtrada lado 2		
	Actuador Filtro #1 Lavado		
	Actuador Filtro #1 control salida		
	Actuador Neumático Filtro #1 Clarificada		
DESCRIPCIÓN	Subestación 5. 13,2kV/460V/228V/110V	Potencia Total [kVA]	Potencia Total [kW]
Bellavista 3	Motor # 1 Bellavista 3	604,779	435,06
	Motor # 2 Bellavista 3		
	Motor # 3 Bellavista 3		
	Motor # 4 Bellavista 3		
	Transformador baja - baja 440-220/110		
	Compresor # 1		
	Compresor # 2		
	Transformador Baja a Baja 440-220/110		
Actuadores	Actuador Salida por Tanque #1 y Tanque #2	3,506	0,746
	Actuador Llenado Tanque #1 desde canaleta lado izquierdo		
	Actuador Llenado Tanque #3 desde canaleta y refuerzo sur		

Tabla 3. Datos de consumo por proceso en la P.T.A.P. Rio Cali por sub estación (Elaboración propia, continuación).

Según las tablas 2 y 3 la potencia total instalada de la planta es de: 1437,3273kW. En este sentido se presenta la tabla número 4 en donde se muestran las 7 cargas instaladas más representativas o usos significativos de energía (USE)[16], [23]–[25].

DESCRIPCIÓN	% Respecto a potencia total
Bellavista 3	30,2687%
Bellavista 2	23,3558%
Bombas de Lavado	22,5451%
Sopladores	6,6770%
Floculación	4,0798%
Aires Acondicionados	3,2053%
Lavado de Estructuras	2,7979%

Tabla 4. Cargas más representativas de la carga instalada en la planta (Elaboración propia).

Según la tabla anterior la estación de bombeo Bellavista 3 representa el 30,2687 % de la carga total instalada de la planta. En este sentido como se mencionó anteriormente los tiempos de trabajo para estos motores son normalmente 20 horas para uno y 14 horas para el segundo motor, se trabajará con el encendido de dos motores debido a que es muy eventual encender un tercer motor en esta estación. La potencia activa consumida calculada para 150HP (potencia en eje) por cada motor es de 116,32kW.

Para la estación de bombeo Bellavista 2 que representa el 23,3558% del total de la carga instalada de la planta, la potencia activa consumida calculada para 150HP (potencia en eje) por cada motor es de 122,967kW. Para un factor de potencia de 0,9. Las bombas de lavado representan el 22,5451% del total de la carga de la planta, la potencia activa consumida calculada para la unidad #3 es de 80,215kW y para la unidad # 4 es de 56,151kW. Para un factor de potencia de 0,9 en la unidad #3.

Los sopladores representan el 6,6770% del total de la carga instalada de la planta, la potencia activa consumida calculada para la unidad # 1 es de 48,077kW. Los aires acondicionados representan el 3,2053% del total de la potencia instalada, la potencia activa consumida calculada por estos es de 46,071kW. La floculación (líneas 1, 2 y 3) representa el 4,0798% del total de la carga de la planta, la potencia activa consumida calculada por las unidades de floculación es de 47,256kW. El lavado de estructuras representa el 2,7979% del total de la carga de la planta, la potencia activa consumida calculada es de 32,052kW. Para un factor de potencia de 0,9.

Los valores anteriores de potencia activa, se calcularon de acuerdo a los datos en la placa característica de los equipos (mostradas en el anexo A), cuando en esta no se especifica algún valor necesario se asumió un valor tal y como se mencionaba luego de cada cálculo.

Luego de realizar cálculos con algunas cargas “pequeñas” como los motores de muestreo, el streaming current y la dosificación de coagulante se decide incluirlos en los consumos representativos de la planta debido a que su tiempo de trabajo diario es de 24 horas. Los consumos de energía eléctrica mensual para cada proceso y por equipo según su tiempo de funcionamiento se muestran en la tabla 5.

Descripción	Horas Mensuales de trabajo Unidad # 1	Horas Mensuales de trabajo Unidad # 2	Energía mensual consumida [kW]
Bellavista 3	600	420	118646,4
Bellavista 2	600	420	125426,34
Bombas de Lavado	90	90	12272,94
Sopladores	15	15	817,26
Aires Acondicionados	120	720*	12548,64
Lavado de Estructuras	5	No Aplica	160,26
Motores de muestreo, streaming y dosificación de coagulante	720	No aplica	9832,32
Floculación	720	720	52467,12

Tabla 5. Cálculo del consumo de energía activa de las cargas más representativas de la planta (Elaboración propia).

El asterisco en las horas mensuales de trabajo de la unidad # 2 para los aires acondicionados representa los de trabajo diario de 24 horas. Como se mencionó anteriormente la estación de bombeo Bellavista 2 actúa como respaldo de la estación de bombeo Bellavista 3, además como se mencionó anteriormente el trabajo de Bellavista 3 representa el 98% de funcionamiento con respecto a Bellavista 2, por tanto, esta última (Bellavista 2) no se tiene en cuenta para el cálculo de kWh mensuales totales de las cargas más representativas el cual tiene un valor de: 206744,94 kWh, cabe mencionar que este es un cálculo sin tener en cuenta los imprevistos que se presentan a diario y otros factores.

Sin embargo, se presenta el porcentaje de consumo de Bellavista #2 en caso de que entrara en funcionamiento permanente. Según el recibo del mes de septiembre de 2021 mostrado en la figura 8, el promedio de kWh mensual para la planta es de 176000kWh. En la tabla 6 se muestra el porcentaje de cada proceso de tratamiento y distribución de agua respecto al promedio del consumo de kWh mensuales que aparece en el recibo mostrado en la figura 8.

Descripción	Energía mensual consumida [kW]	Porcentaje respecto a la facturación de energía eléctrica
Bellavista 3	118646,4	67,41%
Bellavista 2	125426,34	71,26%
Bombas de Lavado	12272,94	6,97%
Sopladores	817,26	0,46%
Aires Acondicionados	12548,64	7,13%
Lavado de Estructuras	160,26	0,09%
Motores de muestreo, streaming y dosificación de coagulante	9832,32	5,59%
Floculación	52467,12	29,81%

Tabla 6. Cálculo del consumo de energía activa de las cargas más representativas de la planta (Elaboración propia).

De la tabla anterior se puede concluir que el bombeo por Bellavista 2 incrementaría el consumo de energía eléctrica en la planta y por tanto el valor de la factura a pagar. También se puede observar que el proceso que más consumo tiene en la planta es el bombeo, ya sea por Bellavista 2 o 3, los cuales tienen un valor de 71,26% y 67,41% respectivamente. De aquí que este sea el proceso que se tomó como referencia para la implementación del sistema de gestión de energía.

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. E.S.P. Nit: 890.399.003-4
 UENAA PLANTA RIO CALI -
 C.C./Nit: 890399003-4
 AVENIDA 2 NORTE # 7-45 EMCALI PISO 10 DPTO DE GESTION A
 CALI

Ruta 64001 140
 Ciclo 64
 Mes Cuenta Julio, 2021
 Periodo Facturacion JUN 01 a JUN 30
 Dias Facturados 30
 Estado de Cuenta No. 316501824
 Nro. Predial Nal. 760010100031600010024500000002

No. Pago
 Electrónico

258123748

Esta es tu factura

CONTRATO

1301793

TOTAL A PAGAR

\$80,546,547

FECHA DE VENCIMIENTO

Julio 30-2021

FECHA DE EXPEDICION

Julio 19-2021

ACUEDUCTO					
Dir Instalación	CL 3 OESTE 9-00 REF 02	Consumos Anteriores (M3)	CONCEPTOS	Cantidad M3	Valor Unitario
Uso	OFICIAL	Dic: 56	Cargo Básico		7,067.03
No. Medidor M1	9S_7236	Ene: 44	Valor Consumo	56.00	2,347.35
Lectura Actual	8,996	Feb: 59	Otros Cobros		131,451.60
Lectura Anterior	8,940	Mar: 126	Ajuste al Peso		2,331.94
Diferencia	56	Abr: 91			.43
Consumo del mes en M3	56	MAY: 60			
		PROM: 71			
Componentes del costo					
Cm Operación	\$ 1,094.10	Cm Inversión Poir			\$ 250.28
Cm Inversión Va	\$ 1,001.11	Cm Tasa Ambiental			\$ 1.86
TOTAL					\$140,851.00

ALCANTARILLADO					
Dir Instalación	CL 3 OESTE 9-00 REF 02	COMPONENTES DEL COSTO	CONCEPTOS	Cantidad M3	Valor Unitario
Uso	OFICIAL	Cm Operación	Cargo Básico		3,680.96
Vertimiento	56 M3	Cm Inversión Va	Valor Consumo	56.00	2,670.88
		Cm Inversión Poir	Otros Cobros		149,569.28
		Cm Tasa Ambiental	(-)Ajuste al Peso		24
TOTAL					\$155,840.00

ENERGIA					
Dir Instalación	PLANTA RIO CALI	Consumos Anteriores (MWh)	CONCEPTOS	Cantidad	Valor Unitario
Uso	OFICIAL	Dic: 130.7	Generación	134,535.28	260.36
Periodo Facturación	JUN 01 a JUN 30	Ene: 129.4	Comercialización	134,535.28	6.77
Dias Facturados	30	Feb: 121.2	Uso STN	134,535.28	48.09
Consumo de energía activa	U43A_66613590	Mar: 137.8	Uso SDL	134,535.28	134.38
No. Medidor M1	134,535 KWH	Abr: 129.7	Pérdidas Generación	134,535.28	14.64
Consumo Actual		MAY: 406.1	Pérdidas STN	134,535.28	1.90
		PROM: 176.0	Restricciones	134,535.28	12.02
Consumo de energía reactiva	U43A_66613590		CND	134,535.28	28
No. Medidor M2	180 KVR		ASIC	134,535.28	0.3
Reactiva a Facturar	1		SSPD	134,535.28	3.19
Factor M CREG-015			CREG	134,535.28	2.46
			ENERGIA REACTIVA INDUCTIVA	179.96	134.38
			Ajuste al Peso		.32
			Otros Cobros		1,165,479.13
TOTAL					\$72,835,764.22

Propiedad Transformador	0	Indicadores	Duración	Frecuencia	Duración	Frecuencia
Capacidad Instalada	2	Meta anual (DIUG-FIUG)	.00	.00	.00	.00
Nivel Tensión	EMCALI EICE ESP -	Mensual (DIUM-FIUM)	.00	.00	.00	.00
Operador de Red	177	Acumulado (DIU-FIU)	.00	.00	.00	.00
Teléfono Operador de Red	214	Hrs Comp. (HC-THC)	.00 - .00	.00 - .00	.00 - .00	.00 - .00
Circuito	1	Eventos Comp. (VC-TVC)	.00 - .00	.00 - .00	.00 - .00	.00 - .00
Grupo	1982435	Cons. Estimado Comp. (CEC)	127,973.57	.00	.00	.00
NIU		% Desc. Cargo Comp. - %DT	8.00	.00	.00	.00
		Cargo de Distribución-DT	68.31	.00	.00	.00
		Valor Total-COMP	\$.00	\$.00	\$.00	\$.00

ULTIMO PAGO	
Realizado el	2021-06-30
Por valor de	\$79,672,924.00
Recibido en	Compensacion Y Cruce De Cuentas
Interés de mora	1.9321 %

TOTAL A PAGAR ESTE MES	
Total Servicios Emcali	73,365,551.05
SubTotal Otros Servicios + AP + TS	7,180,995.95
+ IVA	.00
Valor Total	80,546,547.00
TOTAL A PAGAR	\$80,546,547

Figura 8. Recibo de servicios públicos mes de septiembre de 2021P.T.A.P. Rio Cali.

2.2. Descripción del sistema eléctrico (media y baja tensión)

El sistema eléctrico de la planta “Rio Cali” está conformado por dos circuitos alimentadores a 13,2 kV, los cuales tienen como nombre circuito “Siloé” y circuito Carrera 13, cabe aclarar que uno actúa como respaldo del otro, en caso de que uno de ellos presente una falla. Estos dos ingresan a una transferencia manual, seguido se energizan el barraje común de la subestación # 1 que distribuye en 13,2kV a la subestación # 2 y al transformador reductor (13,2kV/220V/115V) presente en la subestación # 1. En la subestación # 2 existe un barraje elastomerico, el cual distribuye en 13,2kV a las subestaciones 3, 4 y 5. El diagrama unifilar (resumido) del sistema eléctrico en media y baja tensión se muestra para la alimentación, transferencia manual y medición en la figura 9, subestaciones en la figura 10, cargas en baja tensión en la figura 11 y completo en la figura 12. Cabe mencionar que estos diagramas salieron de la elaboración de este trabajo de profundización porque no se contaba con ninguna clase de planos. En estos diagramas se muestran las cargas representativas de la planta mostradas en la tabla 6.

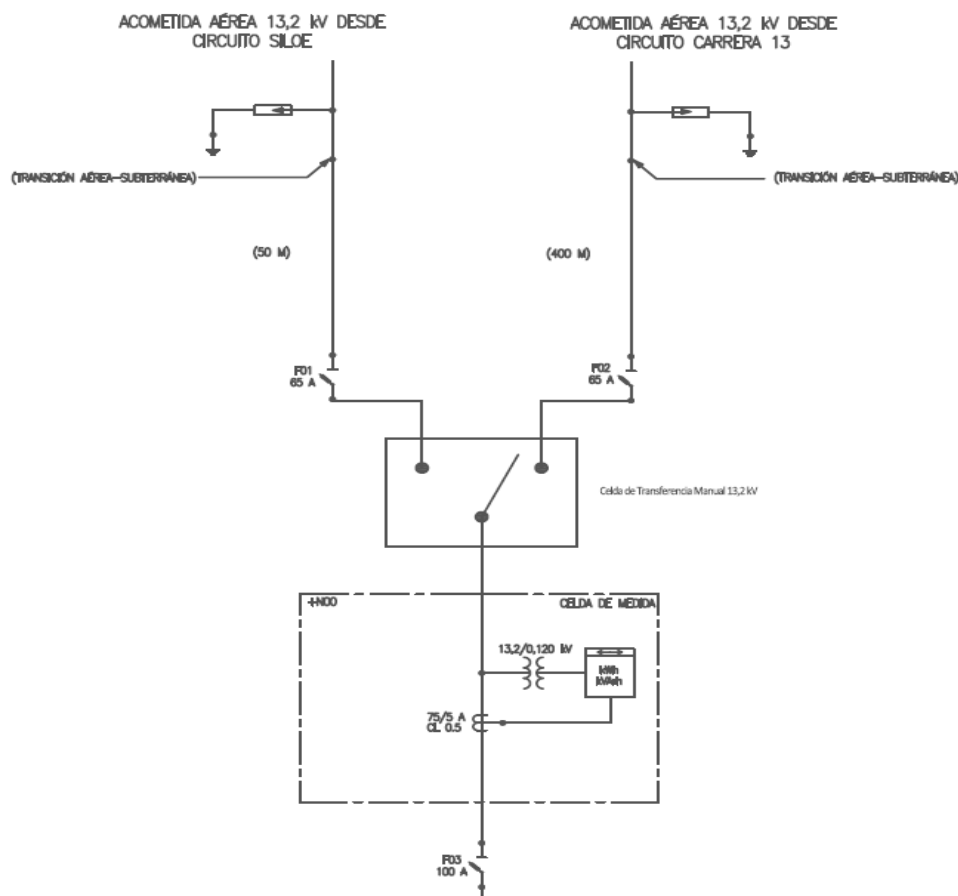


Figura 9. Diagrama unifilar P.T.A.P. Rio Cali (Alimentación, transferencia manual y medición, elaboración propia).

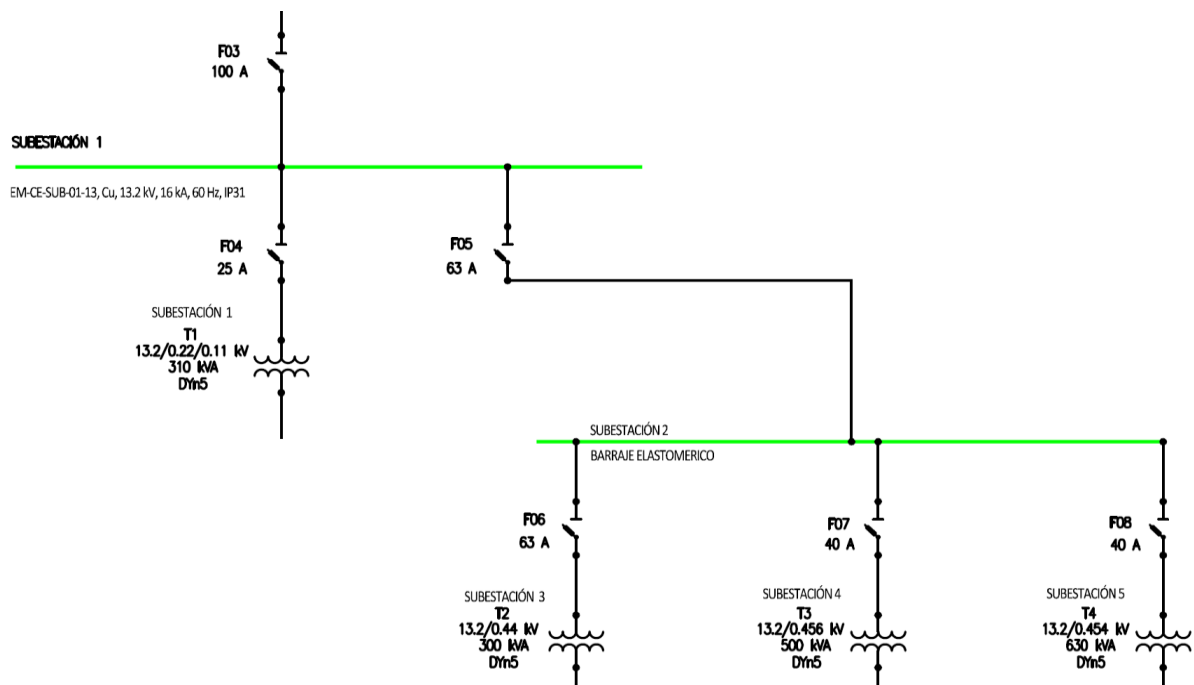


Figura 10. Diagrama unifilar P.T.A.P. Rio Cali (distribución de subestaciones, elaboración propia).

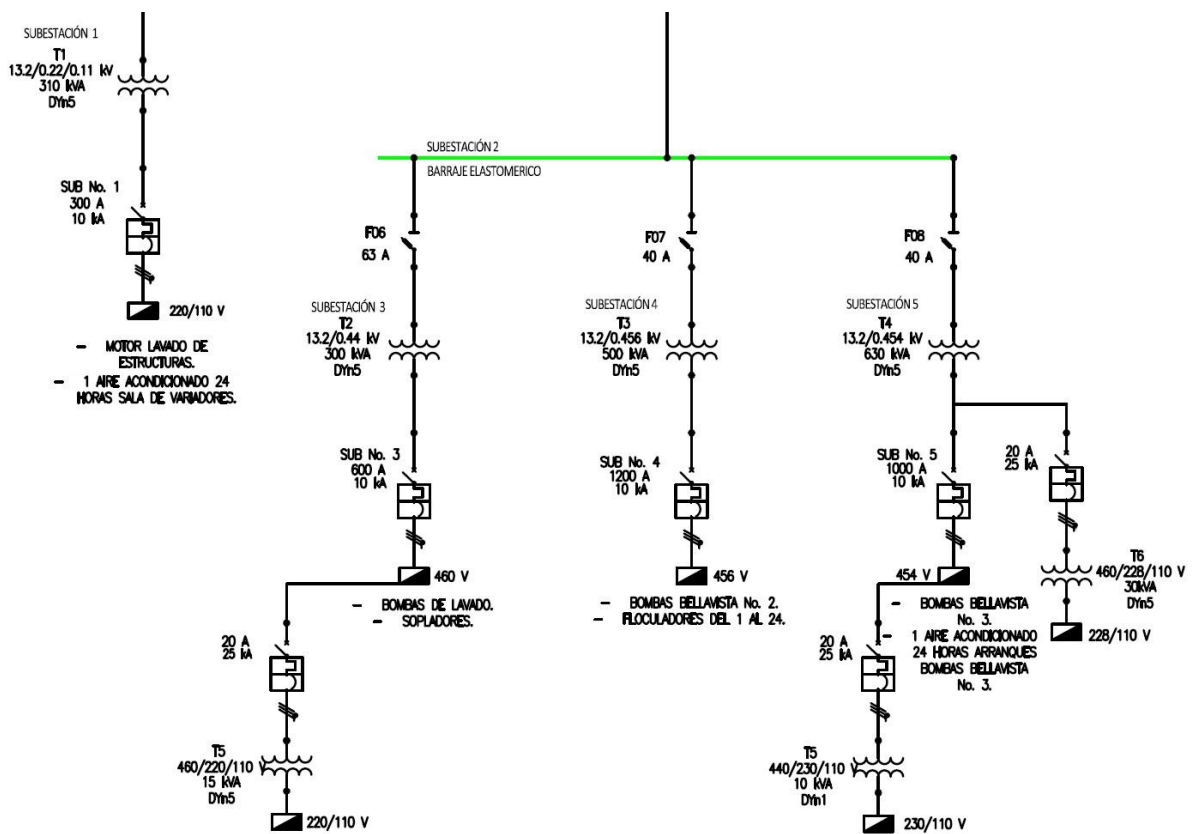


Figura 11. Diagrama unifilar P.T.A.P. Rio Cali (cargas, elaboración propia).

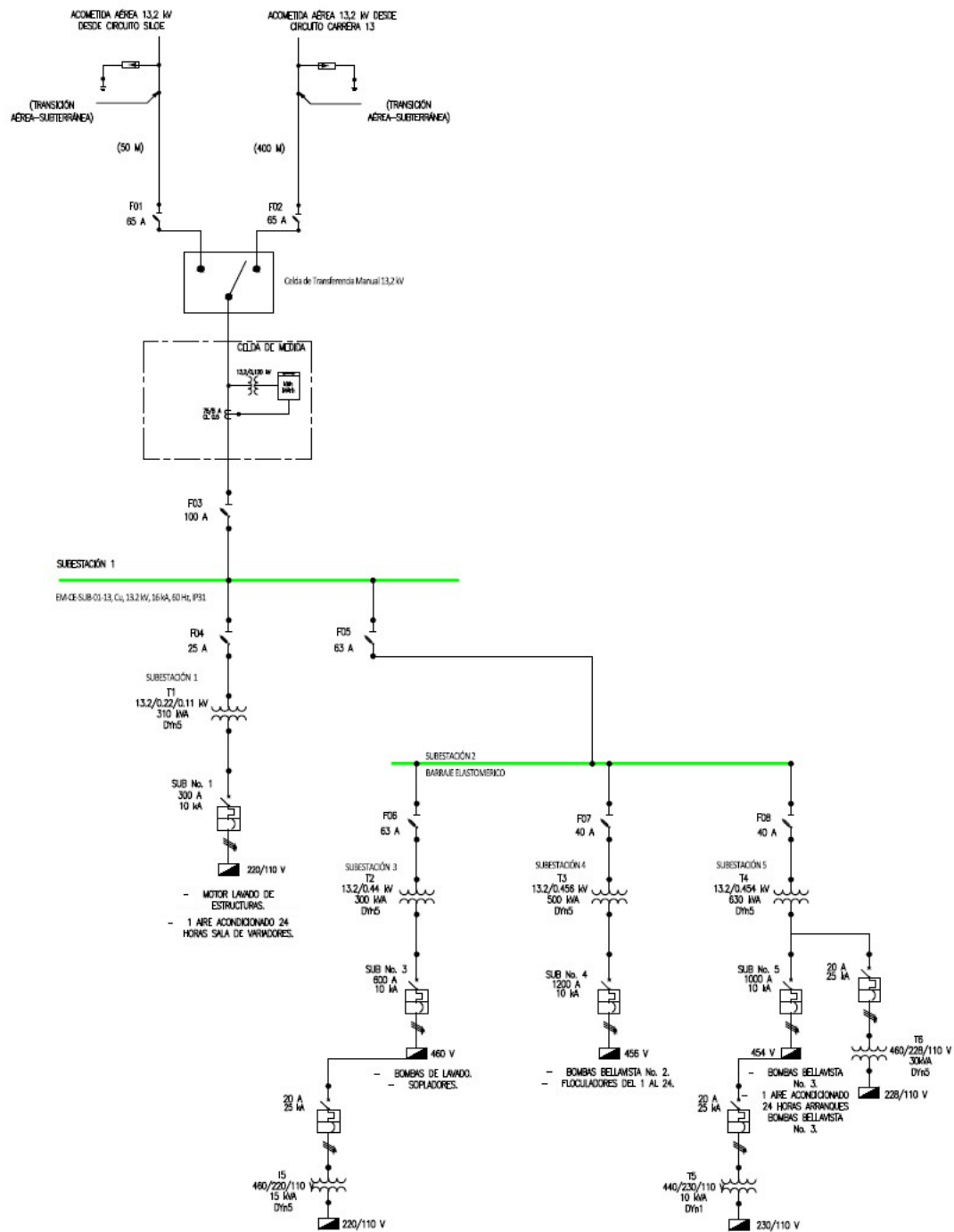


Figura 12. Diagrama unifilar completo planta Rio Cali (Elaboración propia).

A continuación, se presentan los datos de los transformadores de potencia en la tabla 7. Esta información fue levantada en campo gracias a este trabajo de profundización puesto que no se contaba con información documentada. Cabe aclarar que los únicos

transformadores que están ubicados cerca o en la misma subestación son los transformadores T4, T5 Y T6, presentes en la subestación # 5, que está ubicada a lado de la estación de bombeo Bellavista 3. Los asteriscos representan valores que no estaban disponibles en la placa de los equipos o carecía de esta.

Nombre del Transformador	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ubicación	Subestación # 1	Subestación # 3	Subestación # 4	Subestación # 5	Subestación # 5	Bellavista3 Subestación # 5
Marca	AEG	MAGNETRON	SIEMENS	SIEMENS	ABB	TRACOL
Año de Fabricación	No tiene placa	2019	1981	2006	1995	2006
Voltaje Primario [kV]	13,2	13,2	13,2/11,4	13,2	460	440
Voltaje Secundario [V]	215/120	440/254	456/263	454/262,1	228	230
Corriente Primaria [A]	*	13,12	21,87	27,56	37,7	22,7
Corriente Secundaria [A]	*	393,65	633-547	801,17	75,8	43,5
Grupo de Conexión	Dyn5	Dyn5	Dy5	Dyn5	Dyn5	II 0
Tipo de Aislamiento	*	H	Ao	Ao	ONAN	H
Potencia [kVA]	310	300	500	630	30	10
Frecuencia	60	60	60	60	60	60
Fases	3	3	3	3	3	1
Tensión CC [%]	*	5,98	3,81	4,3	2,81	3,1
Corriente CC [kA]	*	0,39365	15,2	18,63	1,34	*
TAPS						
1 [V]	*	13530	13860	13860	472	No Tiene
2 [V]	*	13200	13530	13530	460	No Tiene
3 [V]	*	12870	13200	13200	449	No Tiene
4 [V]	*	12540	12870	12870	437	No Tiene
5 [V]	*	12210	12540	12540	426	No Tiene

Tabla 7. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia).

En el anexo A, se detalla cada una de las cargas presentes por subestación, en donde se pueden observar las especificaciones técnicas de los equipos, tomadas de su placa característica y cálculos de potencias según sea el caso.

2.3. Consumo de energía activa respecto a la producción de agua potable

En la figura 13 se muestra el comportamiento del consumo de energía activa en kWh/MES vs la producción de agua en millones de metros cúbicos de la planta. Estos datos fueron recopilados desde enero del año 2019 hasta mayo del año 2022, puesto que estos fueron los datos que puso a disposición la empresa para el desarrollo de este trabajo.

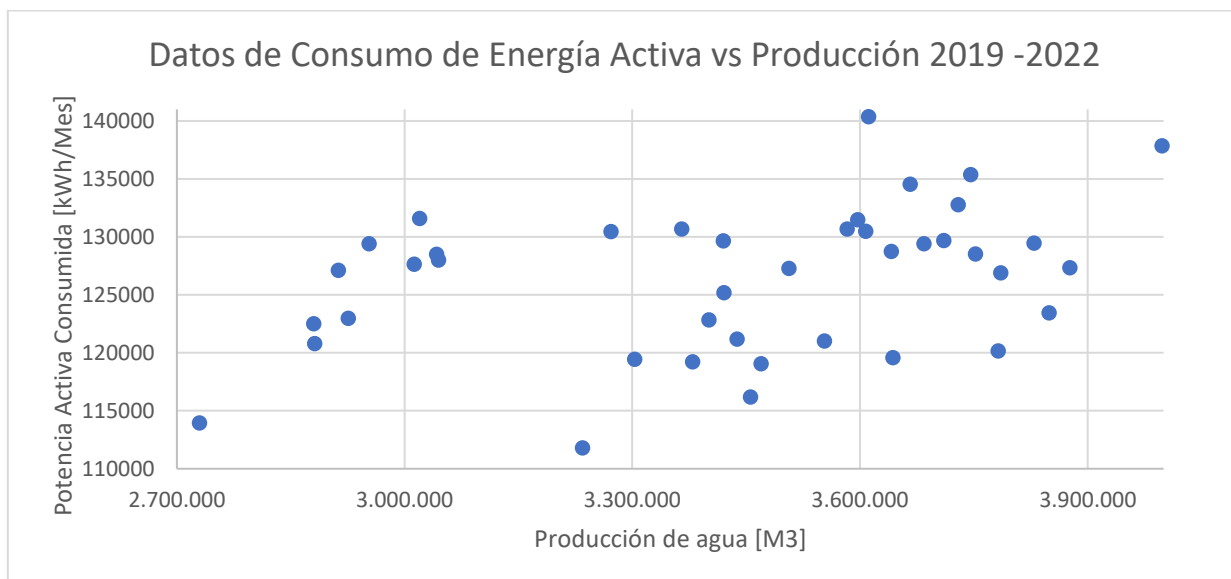


Figura 13. Consumo de energía activa en función de los Metros cúbicos de agua producidos de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Los datos presentados en la figura 13 son mostrados en el anexo B, por medio de tablas. En la tabla 8 se pueden observar los valores promedios, mínimos y máximos para la producción de agua potable, consumo de energía activa y reactiva de la planta Rio Cali desde enero del año 2019 hasta mayo del año 2022.

Descripción	Energía Activa [kWh/mes]	Energía Reactiva [kVARh/mes]	Millones de m ³ producidos [Mensuales]
Promedio	126664,89	10,17	3.506.044
Mínimo	111784,00	0,00	2.880.283
Máximo	140352,00	20,15	3.998.125

Tabla 8. Valores promedios, mínimos y máximos de consumo de energía activa, reactiva y producción de agua potable de la planta Rio Cali, desde enero del 2019 hasta mayo del 2022 (elaboración propia).

En la tabla 9 se muestran los valores promedios, mínimos y máximos para el consumo de energía activa, reactiva y la producción de agua potable de la planta Rio Cali del año 2021.

Descripción	Energía Activa [kWh/mes]	Energía Reactiva [kVARH/mes]	Millones de m ³ producidos [Mensuales]
Promedio	129975,00	7,68	3.504.528
Mínimo	121168,00	0,00	2.925.939
Máximo	137848,00	16,78	3.998.125

Tabla 9. Valores promedios, mínimos y máximos de consumo de energía activa, reactiva y producción de agua potable de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

El valor promedio de energía activa consumida mostrado en la tabla 9 es de 129975 kWh/mes, los valores más cercanos en la tabla de datos mostrada en el anexo B son 129669 kWh/Mes para el mes de abril del 2021 y 130443kWh/Mes para el mes de septiembre de 2021. De lo anterior se tomó, el valor más cercano al promedio el cual sería 129669 kWh/Mes, con este valor se tiene una producción de 3.710.289 millones de metros cúbicos de agua potable, el cobro de la factura del mes de abril de 2021 fue de \$ 67.881.334,24 (sesenta y siete millones ochocientos ochenta y un mil trescientos treinta y cuatro pesos con veinticuatro centavos), solo por consumo de energía activa. Lo anterior indica que el costo del kWh es de 523,497 pesos para el mes de abril del 2021, el agua producida en este mes fue de 3.710.289 de metros cúbicos de agua, lo que indica que el costo de producción de un metro cubico de agua en función solamente de la energía activa consumida es de 18,2955304 pesos. En este mismo sentido la energía consumida por metro cubico de agua con los valores de producción de agua potable (3.710.289) y consumo en kWh/mes (129669) es de 0,035 kWh//Mes/M³ para el caso de la planta “Rio Cali”.

Según la “Huella energética en el ciclo integral del agua en la comunidad de Madrid 2017”[26], la intensidad energética de una estación de tratamiento de agua potable (E.T.A.P.) es de 0,37 kWh/Año/M³, para una planta con abastecimiento de agua ya sea de lago o rio, lo cual indicaría un valor de 0,031 kWh/Mes/M³. Comparando este último valor con el valor obtenido para la planta Rio Cali (0,035 kWh//Mes/M³) la diferencia sería de 0,004KWh/Mes/M³.

3. Definición De Línea De Base Energética E Identificación De Variables.

En esta sesión se realizaron mediciones por medio del equipo: dranetz GUIDE HDPQ para todos procesos de la planta, instalando la medición y registro por el lado de baja tensión directamente en la salida del secundario de cada una de las subestaciones, excepto para la subestación 5 la cual tiene como cargas asociadas las 4 unidades de bombeo de 150HP mencionadas anteriormente y funcionamiento de dos aires acondicionados de trabajo continuo de 24 horas al día, se tomaron los datos de facturación en la medición total de la planta. Estas mediciones se hicieron con el fin de realizar una caracterización real de los parámetros y consumos de energía eléctrica de los procesos de potabilización de agua en la P.T.A.P. Rio Cali. A continuación, se muestran los resultados de las mediciones realizadas en las cargas según la ubicación dentro del sistema eléctrico de la planta.

Existen gran variedad de datos que resultan atípicos, estos dependiendo de su clasificación y análisis es mejor descartarlos. Estos datos son procedentes de un error de procedimiento, de observaciones o acontecimientos extraordinarios, o en ocasiones de operaciones anómalas que caen dentro de un rango de las variables observadas[27]. Luego del filtrado de datos mencionado anteriormente se obtiene la figura 14 a partir del diagrama de dispersión que se muestra en la figura 13, con el fin de establecer los datos que se deben tener en cuenta para realizar la respectiva regresión lineal de los mismos.

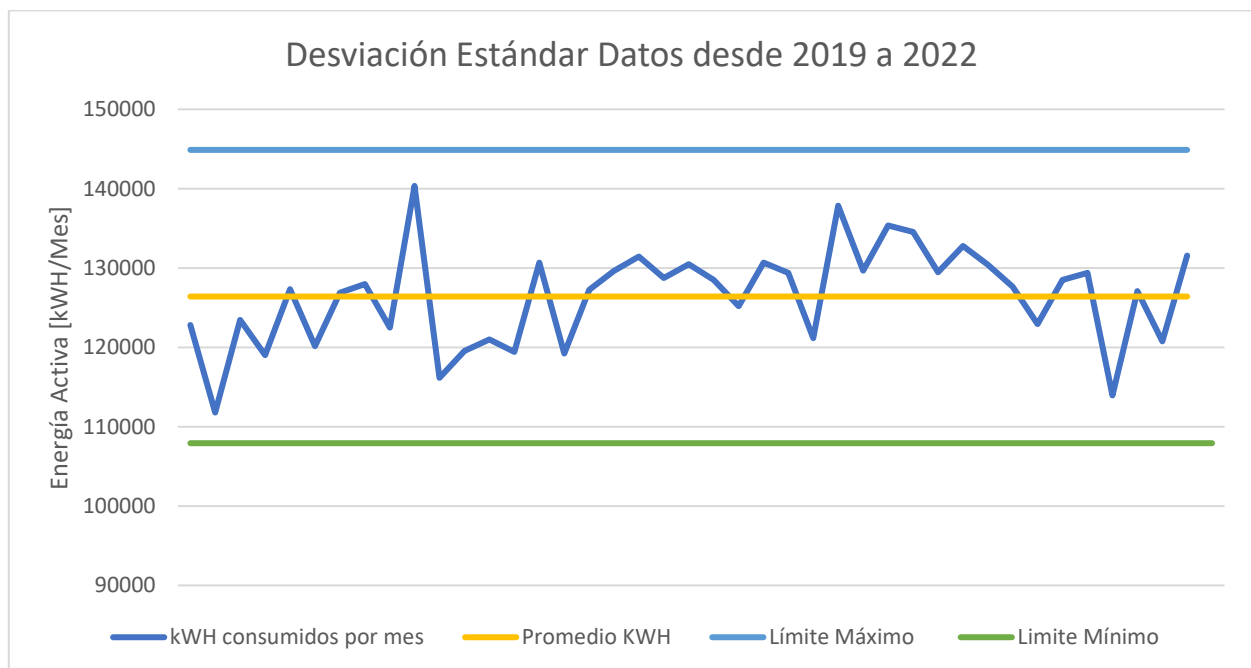


Figura 14. Desviación estándar para la obtención de límite máximo y mínimo del promedio de consumo de energía eléctrica de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Según la figura 14 todos los datos obtenidos quedan incluidos para la obtención de la regresión lineal de los datos de dispersión de la figura 13, por tanto, luego de realizar la regresión lineal se obtiene la figura 15, esta regresión lineal representa la línea base[27].

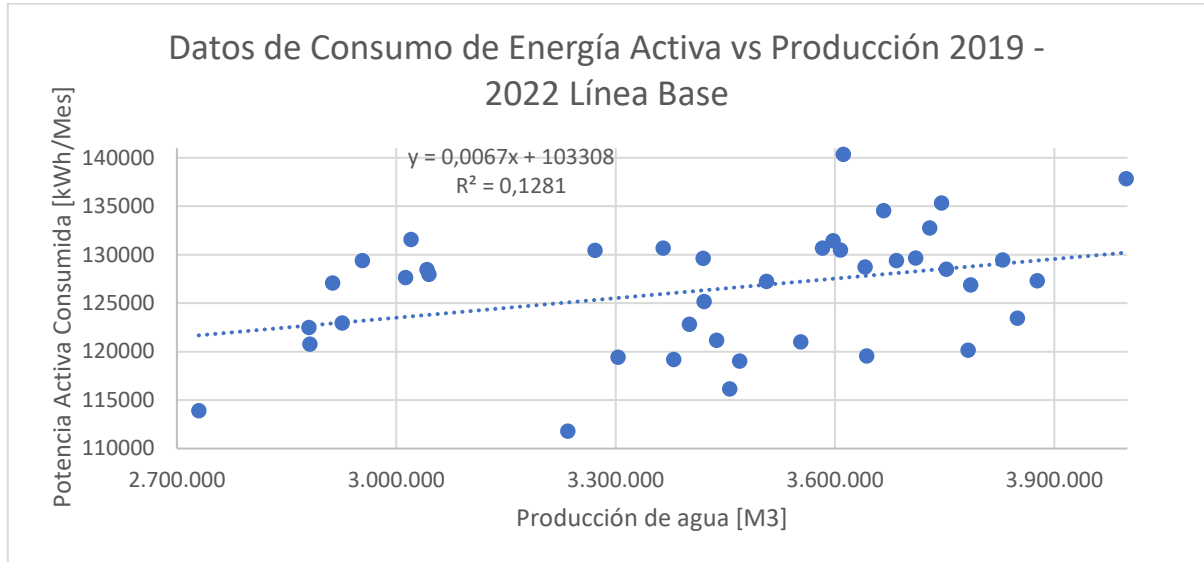


Figura 15. Regresión lineal para obtener la línea base (Elaboración propia).

De la figura 15 se puede concluir que la energía no asociada a la producción (E_{nap}) es de 103308 kWh y que la correlación es despreciable[27], según el valor arrojado en la ecuación.

3.1. Subestación 1: varios tipos de cargas sin funcionamiento de lavado de estructuras.

Para la definición de variables y las líneas base de esta subestación se realizaron mediciones durante una semana, con el fin de hacer una caracterización de la carga instalada. Cabe aclarar que en esta subestación hay más cargas de las que se presentaron como principales para la misma. En las mediciones realizadas en algunas ocasiones dependiendo de las condiciones del agua estarían funcionando agitadores de cal, dosificadores de cal, bombas de muestreo (constantemente), streaming current (constantemente), alumbrado general del edificio, alumbrado perimetral en las noches, neveras, estufas, computadores de oficinas, etc. Es de anotar que durante el tiempo de medición de la carga total no entro en funcionamiento el motor de la bomba de lavado de estructuras.

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 10, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase. Las

mediciones mostradas en graficas de cada una de las variables medidas en esta parte del sistema eléctrico son mostradas en el anexo D.

Energía Activa [kWh]	27,61
Energía Activa Total Consumida [kWh]	4701
Energía Reactiva [kVAR]	24,01
Factor de Potencia	0,74
Corriente Fase A [A]	108,0
Corriente Fase B [A]	96,21
Corriente Fase C [A]	86,77
Voltaje Fase A [V]	128,4
Voltaje Fase B [V]	127,0
Voltaje Fase C [V]	127,4
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300 Hz) [%]	2,24
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300 Hz) [%]	2,29
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300 Hz) [%]	2,35
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300 Hz) [%]	7,34
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300 Hz) [%]	5,77
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300 Hz) [%]	6,40

Tabla 10. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de la subestación # 1 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 10 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.1.1. Motor lavado de estructuras

La medición de este fue particular durante el tiempo que duro el lavado del canal de entrada de la planta, esta medición no se realizó en la salida principal de baja tensión del transformador de la subestación # 1, si no en la alimentación principal de esta máquina. Este motor cuenta con un arranque estrella-triángulo a 220V. Las mediciones correspondientes se muestran a continuación. Esta bomba no cuenta con una medición del caudal de salida por lo que no es fue posible obtener este dato.

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 11, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase. Las mediciones mostradas en graficas de cada una de las variables medidas en esta parte del sistema eléctrico son mostradas en el anexo D.

Energía Activa [kWh]	25,63
Energía Activa Total Consumida [kWh]	19,91
Energía Reactiva [kVAR]	14,22
Factor de Potencia	0,87
Corriente Fase A [A]	82,69
Corriente Fase B [A]	80,02
Corriente Fase C [A]	76,26
Voltaje Fase A [V]	123,80
Voltaje Fase B [V]	122,50
Voltaje Fase C [V]	122,70
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	2,48
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	2,33
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	2,49
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	2,68
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	2,56
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	2,70

Tabla 11. Valores promedios de mediciones realizadas en el motor de lavado de estructuras de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 11 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.2. Subestación 3: bombas de lavado y sopladores (servicios auxiliares).

Para la definición de variables y las líneas base de esta subestación se realizaron mediciones durante una semana, con el fin de hacer una caracterización de la carga instalada. Cabe aclarar que en esta subestación hay más cargas de las que se presentaron como principales para la misma. En las mediciones realizadas en algunas ocasiones dependiendo de las condiciones estarían funcionando alumbrado general de la sala de bombas de lavado, servicios auxiliares, alimentación de PLC control de bombas de lavado y actuadores, compresor, alumbrado perimetral en las noches y alimentación de actuadores

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 12, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase.

Energía Activa [kWh]	63,07
Energía Activa Total Consumida [kWh]	5091
Energía Reactiva [kVAR]	29,82
Factor de Potencia	0,55
Corriente Fase A [A]	85,37
Corriente Fase B [A]	87,57
Corriente Fase C [A]	91,98
Voltaje Fase A [V]	267,5
Voltaje Fase B [V]	266,3
Voltaje Fase C [V]	269,4
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	5,18
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	5,29
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	4,95
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	3,73
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	3,55
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	3,56

Tabla 12. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 12 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar. Las mediciones mostradas en graficas de cada una de las variables medidas en esta parte del sistema eléctrico son mostradas en el anexo D.

3.3. Subestación 4: bombas Bellavista 2 y floculación línea 1 y 2.

Para la definición de variables y las líneas base de esta subestación se realizaron mediciones por alrededor de 1 hora, con el fin de hacer una caracterización de la carga instalada, esto debido a que solo en ese momento entraron a funcionar las bombas de Bellavista 2, por ese periodo de tiempo y luego solo quedaban las líneas de floculación 1 y 2. Cabe aclarar que en esta subestación no hay más cargas de las que se presentaron como principales para la misma.

3.3.1. Carga total subestación 4.

En esta sesión se tomaron mediciones por alrededor de 1 hora para la carga total de la subestación #4 (2 motobombas de la estación de bombeo Bellavista 2 y floculadores del 1 al 24). Las mediciones mostradas en graficas de cada una de las variables medidas en esta parte del sistema eléctrico son mostradas en el anexo D.

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 13, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase.

Energía Activa [kWh]	110,70
Energía Activa Total Consumida [kWh]	98,25
Energía Reactiva [kVAR]	54,55
Factor de Potencia	0,84
Corriente Fase A [A]	181,30
Corriente Fase B [A]	174,60
Corriente Fase C [A]	175,50
Voltaje Fase A [V]	447,50
Voltaje Fase B [V]	442,6
Voltaje Fase C [V]	445,50
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	3,236
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	3,833
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	3,959
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	8,501
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	9,073
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	7,909

Tabla 13. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de la subestación # 1 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 13 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.3.2. Floculadores del número 1 al 24.

En esta sesión se tomaron mediciones por 16 horas para los floculadores del 1 al 24 que son controlados por medio de variadores de velocidad a un voltaje de 440V (floculadores 19 y 21 fuera de servicio). Esto debido a que los parámetros de los variadores de frecuencia no son modificados y permanecen estables durante todo el tiempo, puesto esta velocidad fue calculada para la peor condición en que podría llegar el agua y aun así se lograría potabilizarla.

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 14, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase. Las mediciones mostradas en graficas de cada una de las variables medidas en esta parte del sistema eléctrico son mostradas en el anexo D.

Energía Activa [kWh]	7,80
Energía Activa Total Consumida [kWh]	125,20
Energía Reactiva [kVAR]	1,25
Factor de Potencia	0,89
Corriente Fase A [A]	15,52
Corriente Fase B [A]	15,77
Corriente Fase C [A]	9,41
Voltaje Fase A [V]	466,90
Voltaje Fase B [V]	465,10
Voltaje Fase C [V]	460,00
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	7,94
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	8,06
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	5,08
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	5,90
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	5,21
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	5,55

Tabla 14. Valores promedios de mediciones realizadas en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 14 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.4. Subestación 5: bombas Bellavista 3.

Para la definición de variables y las líneas base de esta subestación se realizaron mediciones durante una semana para cada bomba, con el fin de hacer una caracterización de la carga instalada. Cabe aclarar que en esta subestación hay más cargas de las que se presentaron como principales para la misma. En las mediciones realizadas no se tienen en cuentas las demás cargas debido a que el quipo fue instalado para tomar una medición puntual de cada bomba por separado. Los resultados de las mediciones se muestran a continuación.

3.4.1. Unidad de bombeo #1.

Los resultados de las mediciones para esta bomba se muestran a continuación de la figura 16 a la 23, al igual que su capacidad de bombeo.

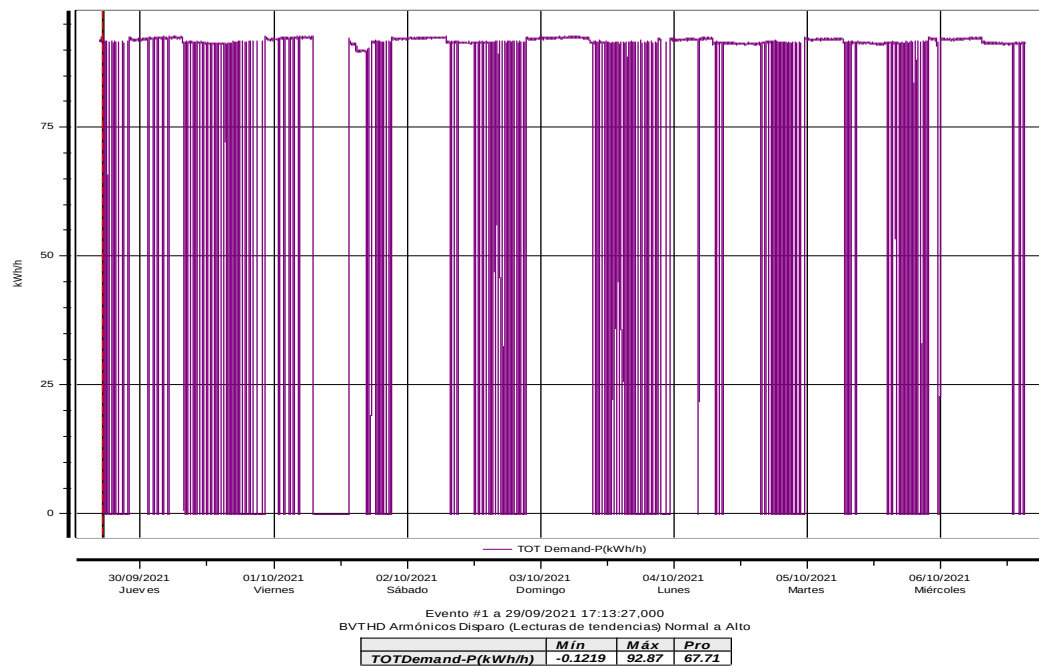


Figura 16. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

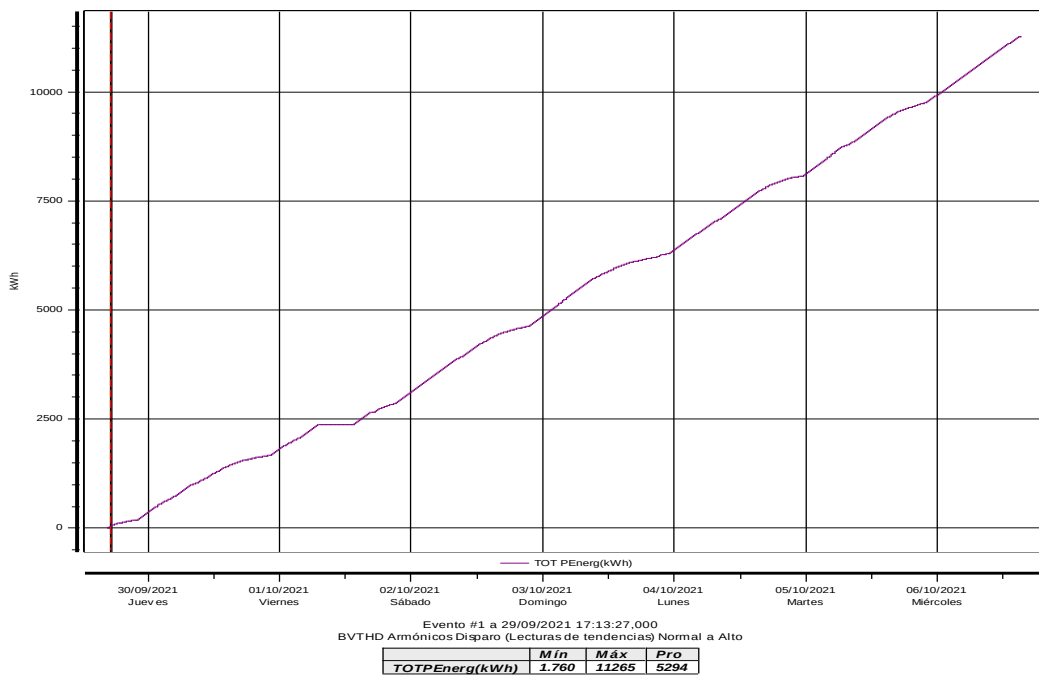


Figura 17. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

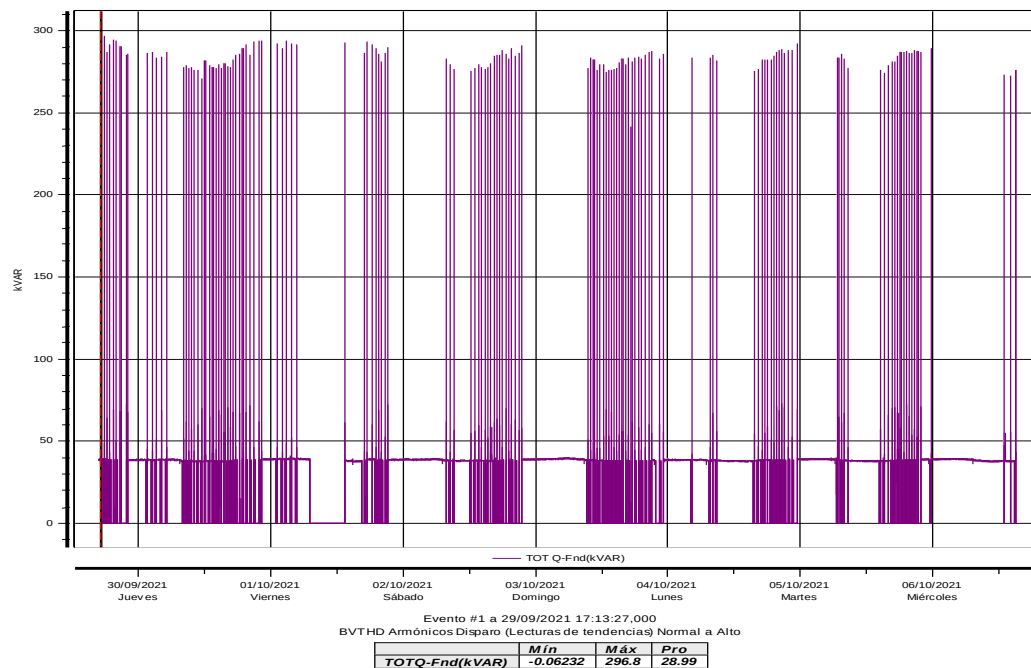


Figura 18. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

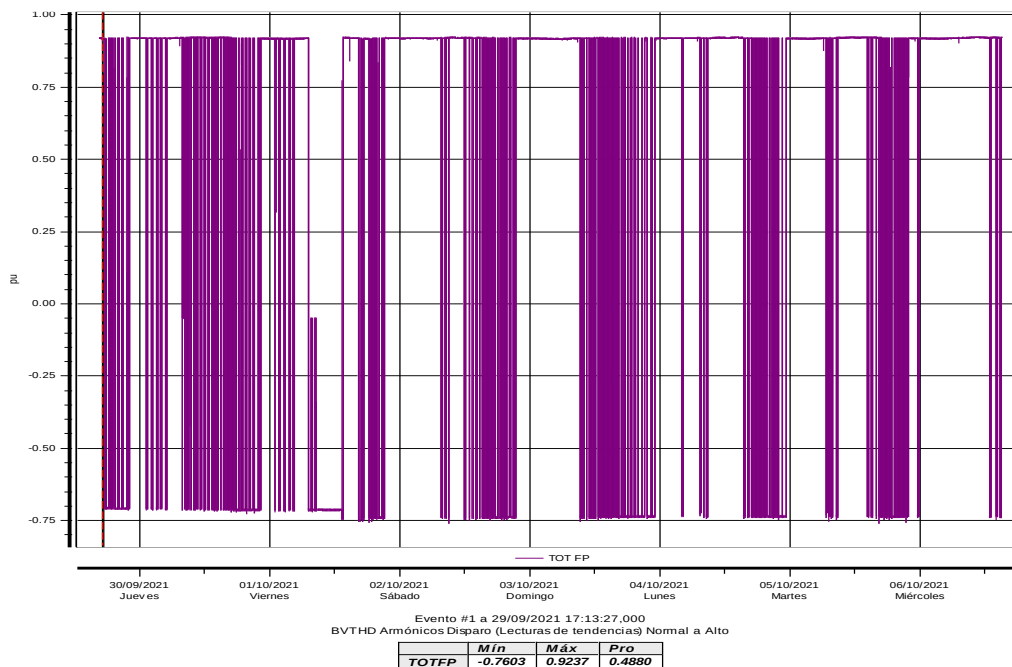


Figura 19. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

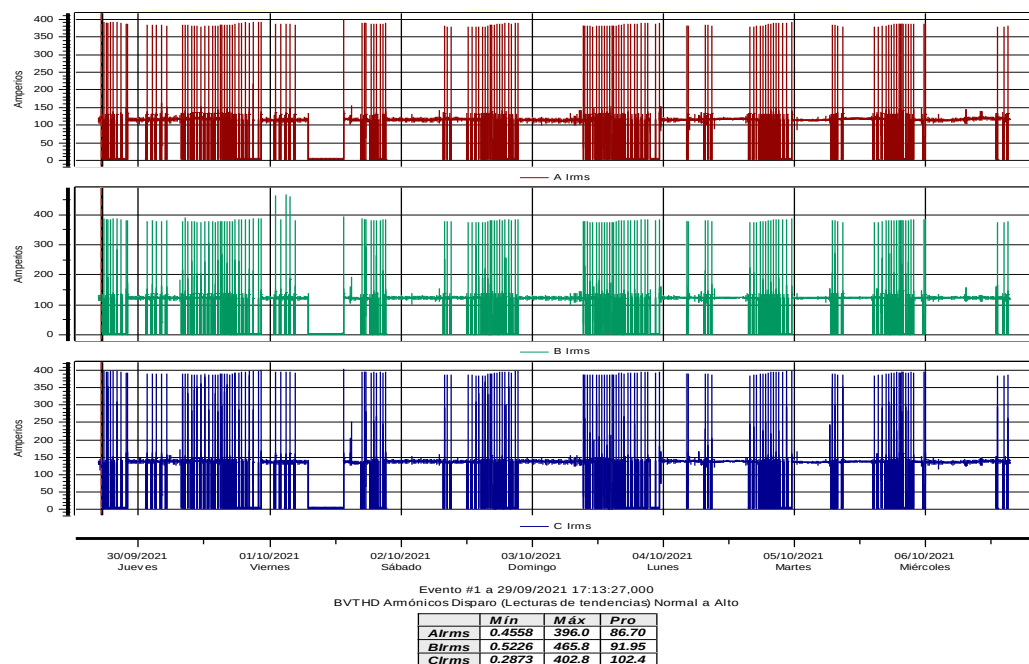


Figura 20. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

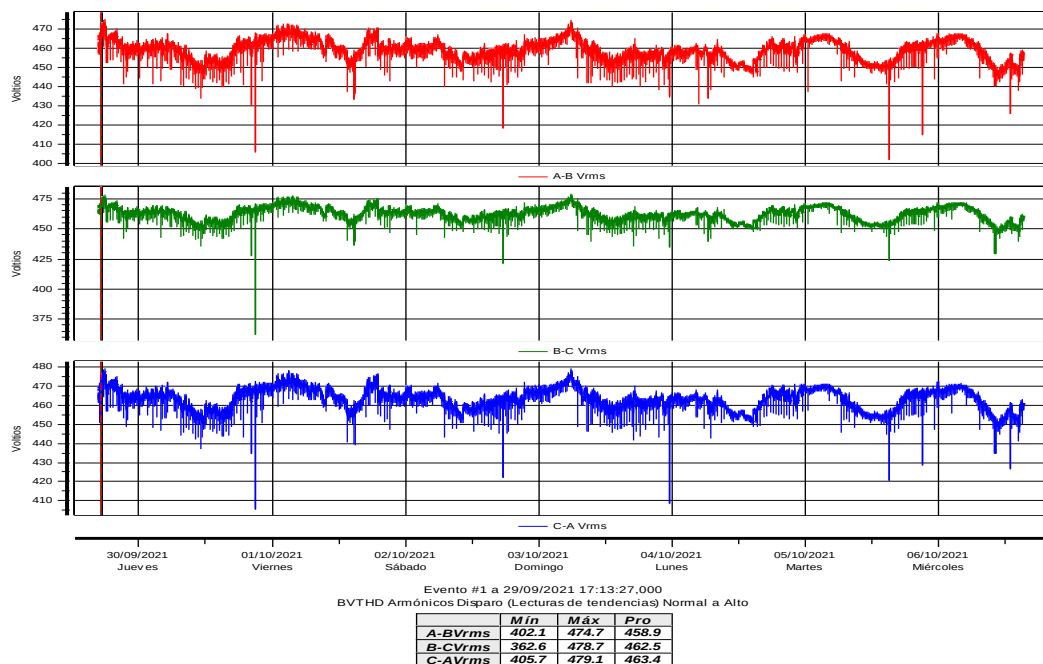
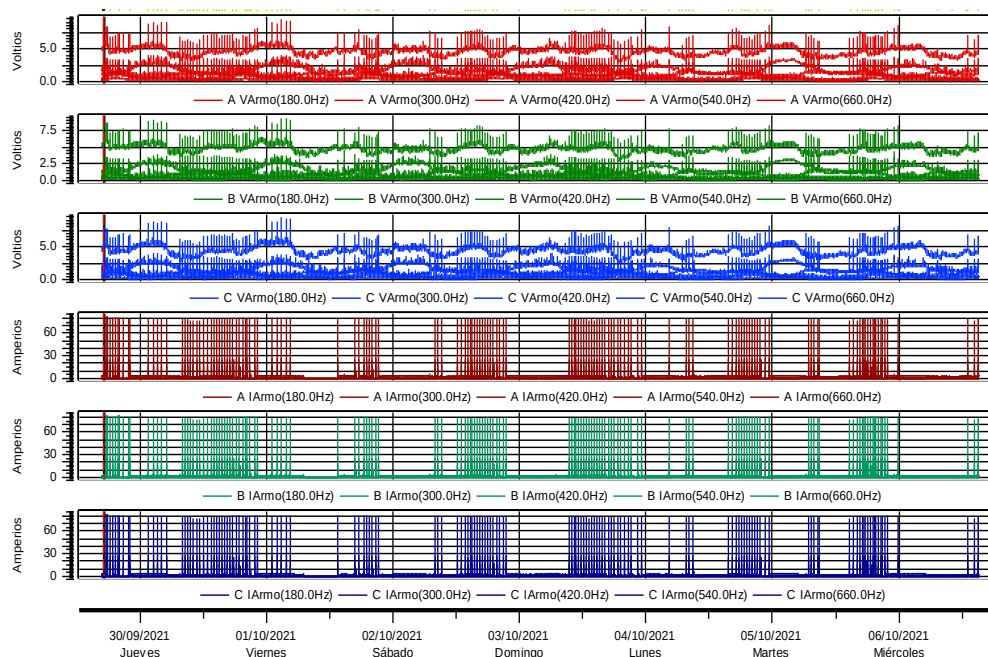


Figura 21. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 29/09/2021 17:13:27,000
BVTBD Armónicos Disparo (Lecturas de tendencias) Normal a Alto

	Mín	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.06900	3.957	0.6866
BVArmo(180.0Hz)	0.06891	1.888	0.5505
CVArmo(180.0Hz)	0.1761	2.888	0.6170
AVArmo(300.0Hz)	2.957	9.311	4.601
BVArmo(300.0Hz)	3.009	9.220	4.759
CVArmo(300.0Hz)	2.459	9.324	4.353
AVArmo(420.0Hz)	0.7592	3.953	1.950
BVArmo(420.0Hz)	0.5830	3.927	1.738
CVArmo(420.0Hz)	0.5346	3.939	1.683
AVArmo(540.0Hz)	0.1622	1.159	0.3322
BVArmo(540.0Hz)	0.02438	0.7517	0.2362
CVArmo(540.0Hz)	0.05556	1.413	0.2376
AVArmo(660.0Hz)	0.5024	4.219	1.109
BVArmo(660.0Hz)	0.3295	4.543	0.9572
CVArmo(660.0Hz)	0.4033	4.060	1.095
AIArmo(180.0Hz)	0.04861	6.029	0.7881
BIArmo(180.0Hz)	0.06148	5.495	0.7681
CIArmo(180.0Hz)	0.04021	8.249	0.7790
AIArmo(300.0Hz)	0.007639	81.48	3.372
BIArmo(300.0Hz)	0.01528	81.48	2.652
CIArmo(300.0Hz)	0.007606	81.13	3.012
AIArmo(420.0Hz)	0.008194	26.22	0.7664
BIArmo(420.0Hz)	0.009702	25.87	0.7471
CIArmo(420.0Hz)	0.006871	27.49	0.6282
AIArmo(540.0Hz)	0.004793	3.334	0.1363
BIArmo(540.0Hz)	0.005545	3.697	0.1650
CIArmo(540.0Hz)	0.004284	3.046	0.07391
AIArmo(660.0Hz)	0.002476	15.85	0.7646
BIArmo(660.0Hz)	0.003515	16.07	0.8581
CIArmo(660.0Hz)	0.001960	15.68	0.5511

Figura 22. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Figura 23. Caudal de salida de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 15, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase.

Energía Activa [kWh]	92,87
Energía Activa Total Consumida [kWh]	11265
Energía Reactiva [kVAR]	28,99
Factor de Potencia	0,9237
Corriente Fase A [A]	86,70
Corriente Fase B [A]	91,95
Corriente Fase C [A]	102,4
Voltaje Fase A [V]	458,9
Voltaje Fase B [V]	462,5
Voltaje Fase C [V]	463,4
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	3,372
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	2,652
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	3,012
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	4,601
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	4,759
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	4,353
Agua Bombeada [L/s]	73

Tabla 15. Valores promedios de mediciones realizadas en la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 15 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.4.2. Unidad de bombeo #2.

Los resultados de las mediciones para esta bomba se muestran a continuación de la figura 24 a la 31, al igual que su capacidad de bombeo.

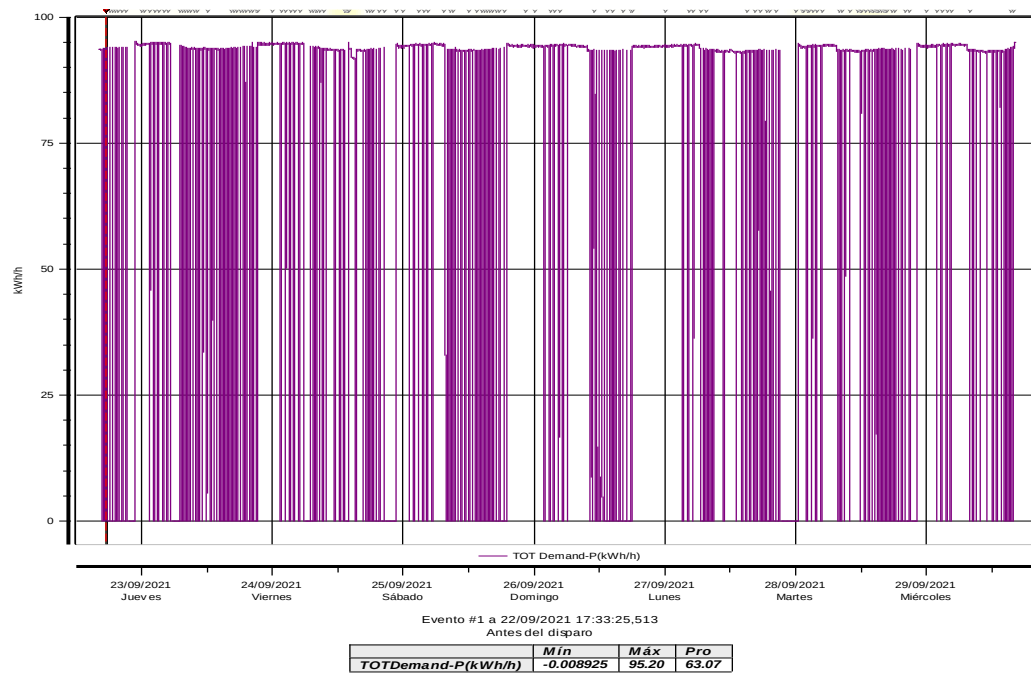


Figura 24. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

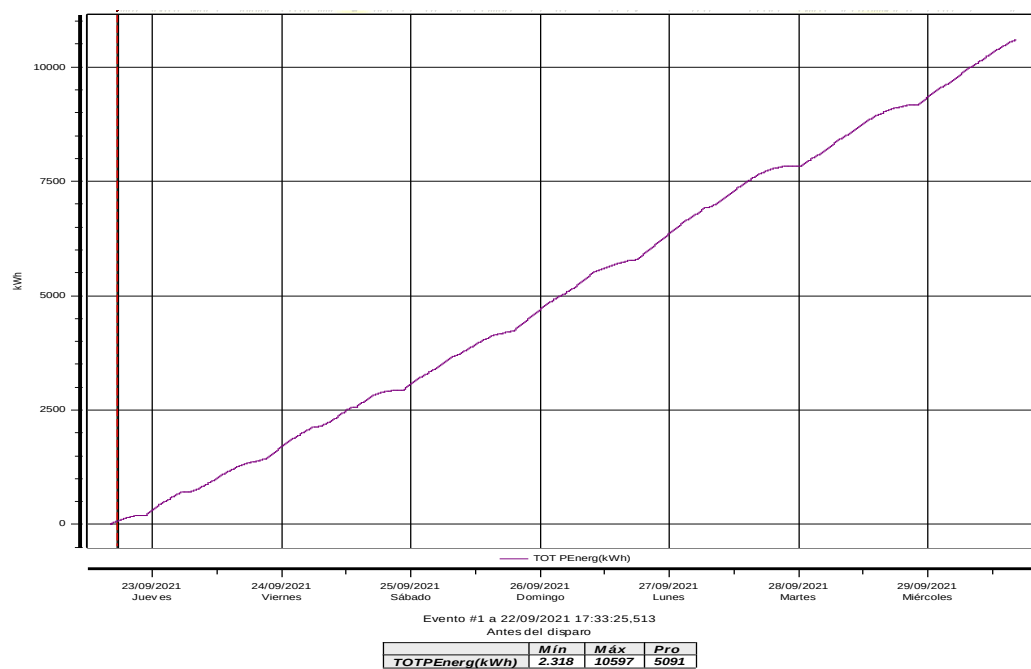


Figura 25. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 1 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

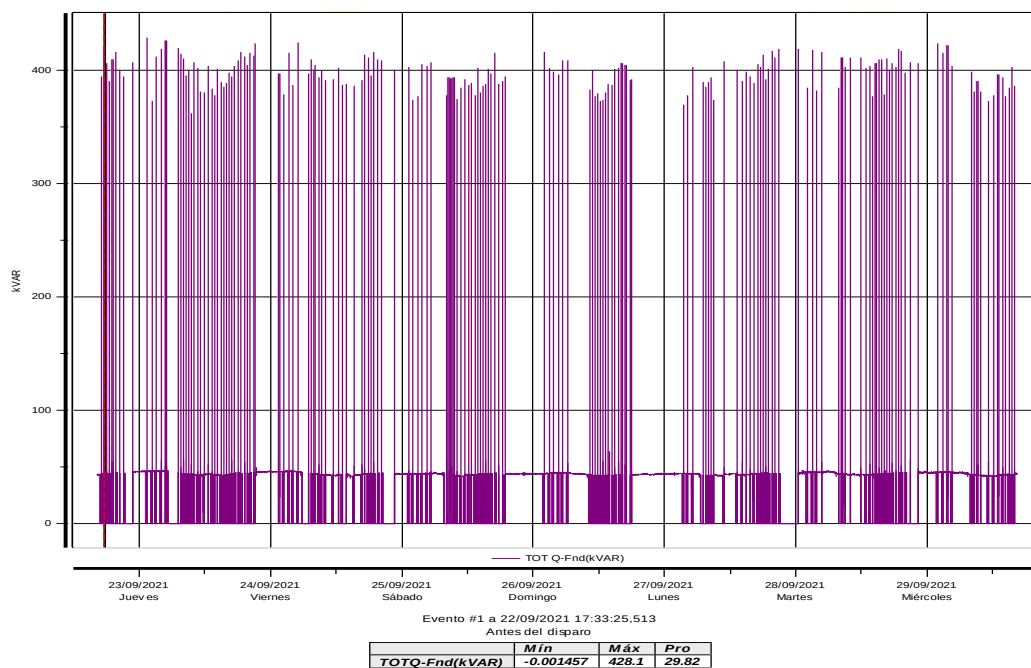


Figura 26. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

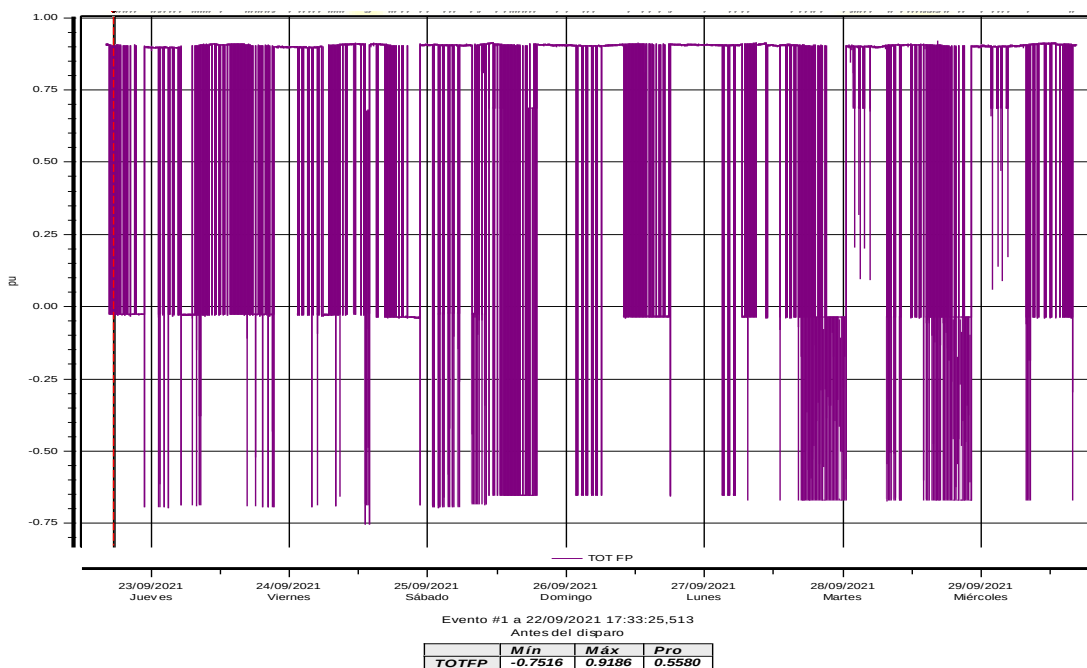


Figura 27. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

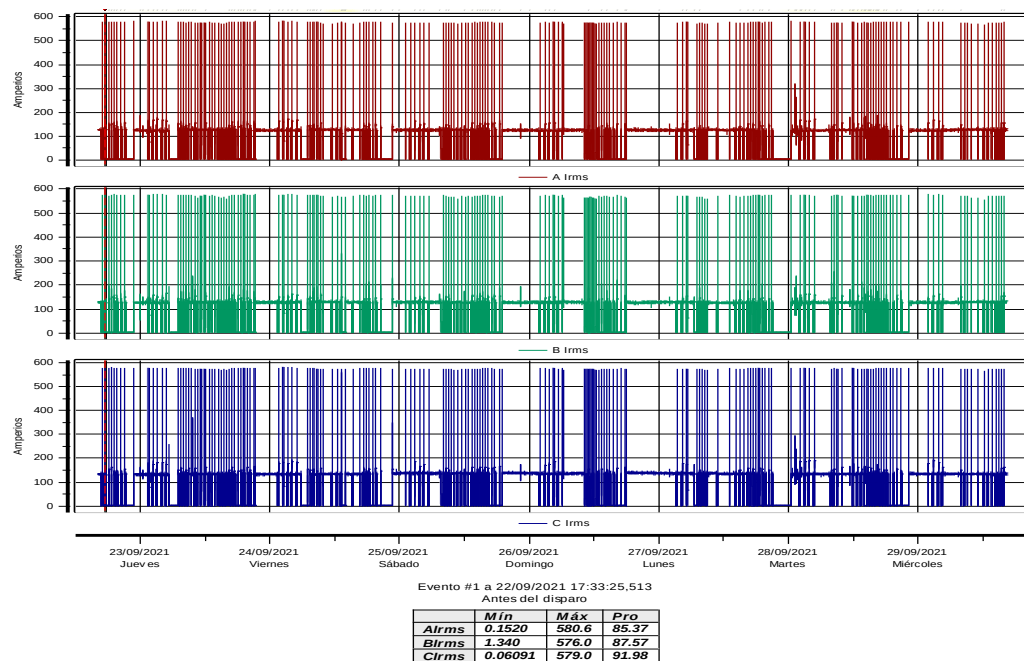


Figura 28. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

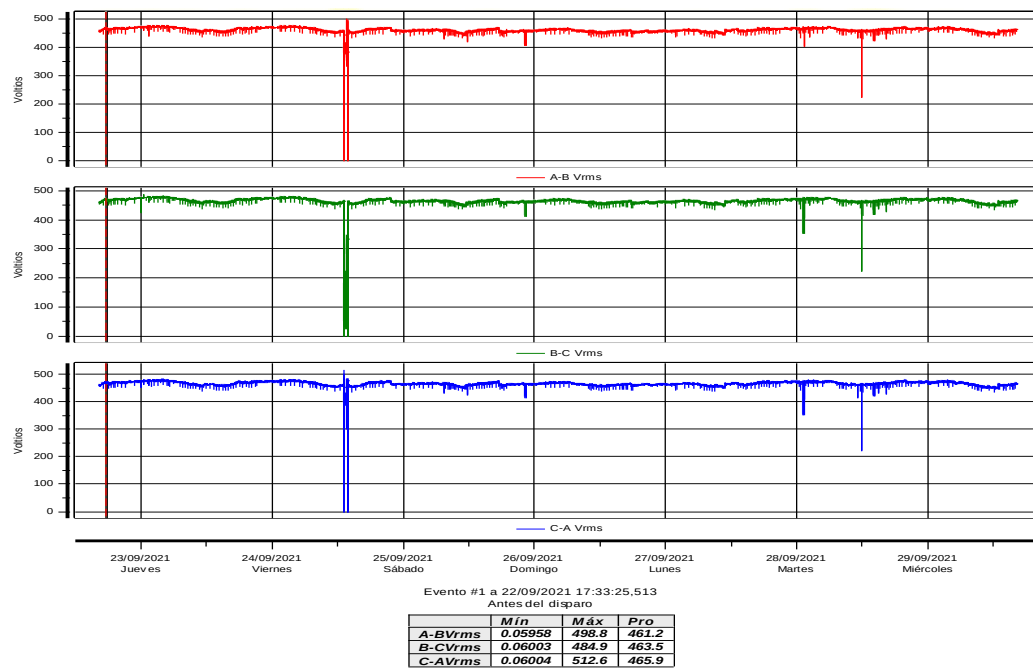
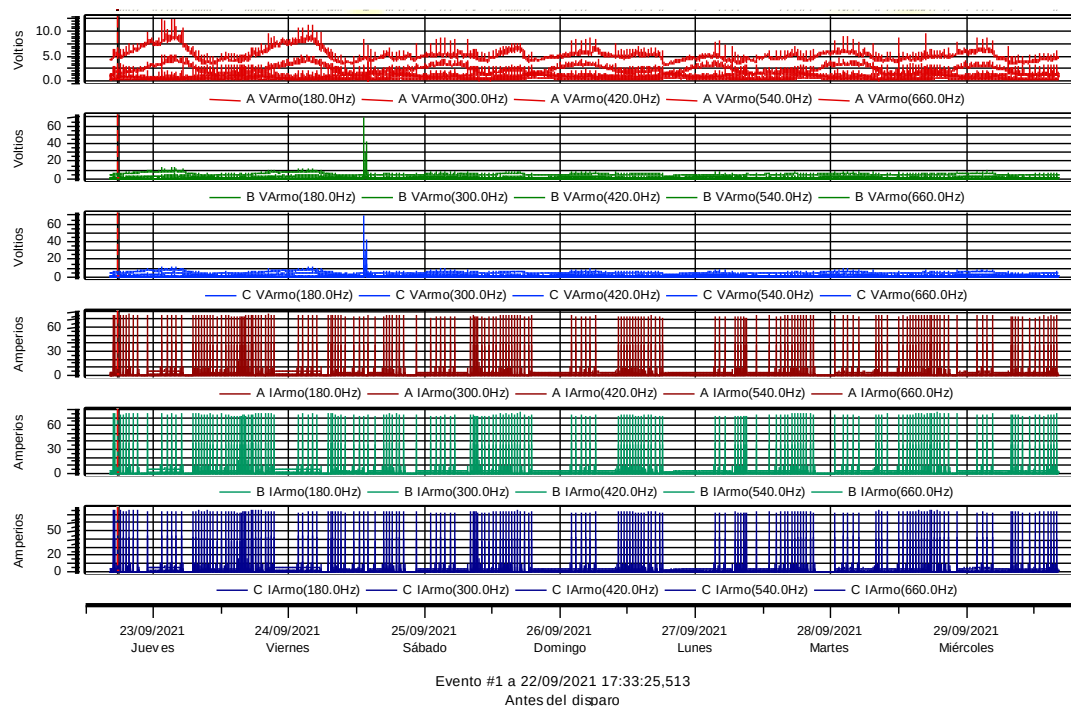


Figura 29. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



	Mín	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.008204	8.751	0.7325
BVArmo(180.0Hz)	0.002154	68.93	0.6856
CVArmo(180.0Hz)	0.004304	68.86	0.7214
AVArmo(300.0Hz)	0.005003	12.32	5.185
BVArmo(300.0Hz)	0.002859	18.30	5.292
CVArmo(300.0Hz)	0.003766	24.10	4.952
AVArmo(420.0Hz)	0.01279	5.179	2.281
BVArmo(420.0Hz)	0.003996	8.524	2.098
CVArmo(420.0Hz)	0.008027	7.783	2.150
AVArmo(540.0Hz)	0.01586	1.357	0.3365
BVArmo(540.0Hz)	0.004648	4.374	0.2374
CVArmo(540.0Hz)	0.008460	4.512	0.2752
AVArmo(660.0Hz)	0.005840	4.248	0.9910
BVArmo(660.0Hz)	0.002521	4.746	0.8746
CVArmo(660.0Hz)	0.004388	4.130	0.9562
AIArmo(180.0Hz)	0.002741	9.747	0.7899
BIArmo(180.0Hz)	0.002404	5.917	0.6841
CIArmo(180.0Hz)	0.002546	11.64	0.7767
AIArmo(300.0Hz)	0.002374	75.98	3.731
BIArmo(300.0Hz)	0.002377	76.06	3.557
CIArmo(300.0Hz)	0.002330	74.57	3.567
AIArmo(420.0Hz)	0.002707	43.32	0.9520
BIArmo(420.0Hz)	0.002536	40.58	0.8804
CIArmo(420.0Hz)	0.002762	44.20	0.9251
AIArmo(540.0Hz)	0.002266	3.816	0.1366
BIArmo(540.0Hz)	0.002725	1.645	0.1032
CIArmo(540.0Hz)	0.002266	4.266	0.09880
AIArmo(660.0Hz)	0.002545	9.048	0.5654
BIArmo(660.0Hz)	0.003258	9.479	0.5067
CIArmo(660.0Hz)	0.002201	8.805	0.5221

Figura 30. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Figura 31. Caudal de salida de la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 16, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase.

Energía Activa [kWh]	95,2
Energía Activa Total Consumida [kWh]	10597,000
Energía Reactiva [kVAR]	29,820
Factor de Potencia	0,9186
Corriente Fase A [A]	85,370
Corriente Fase B [A]	87,570
Corriente Fase C [A]	91,980
Voltaje Fase A [V]	461,200
Voltaje Fase B [V]	463,500
Voltaje Fase C [V]	465,900
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	3,731
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	3,557
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	3,567
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	5,185
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	5,292
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	4,952
Agua Bombeada [L/s]	69,000

Tabla 16. Valores promedios de mediciones realizadas en la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 16 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.4.3. Unidad de bombeo #3.

Los resultados de las mediciones para esta bomba se muestran a continuación de la figura 32 a la 39, al igual que su capacidad de bombeo.

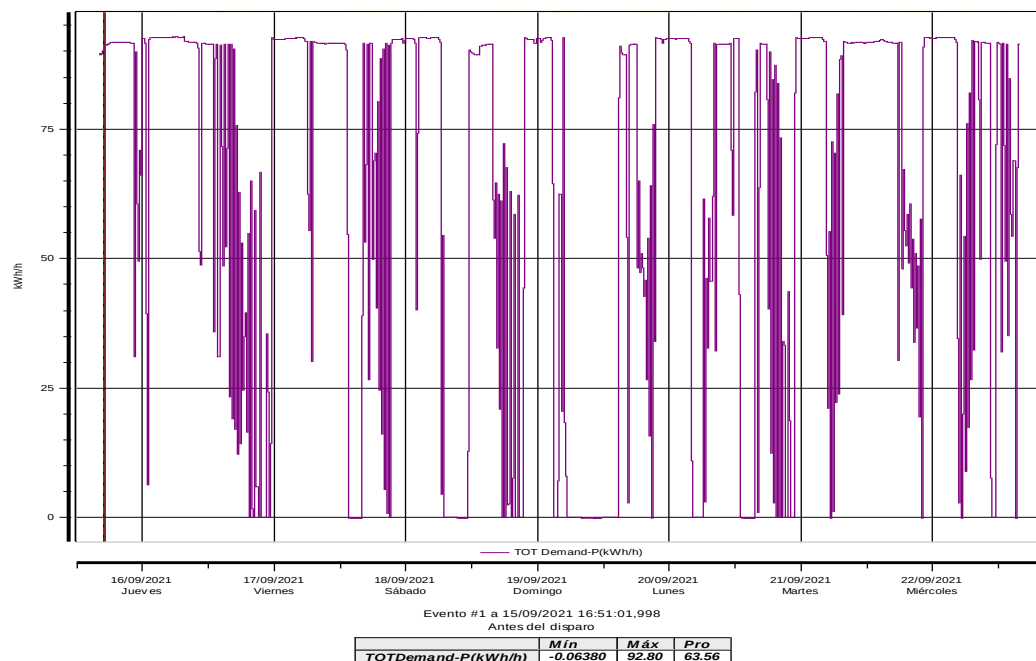


Figura 32. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

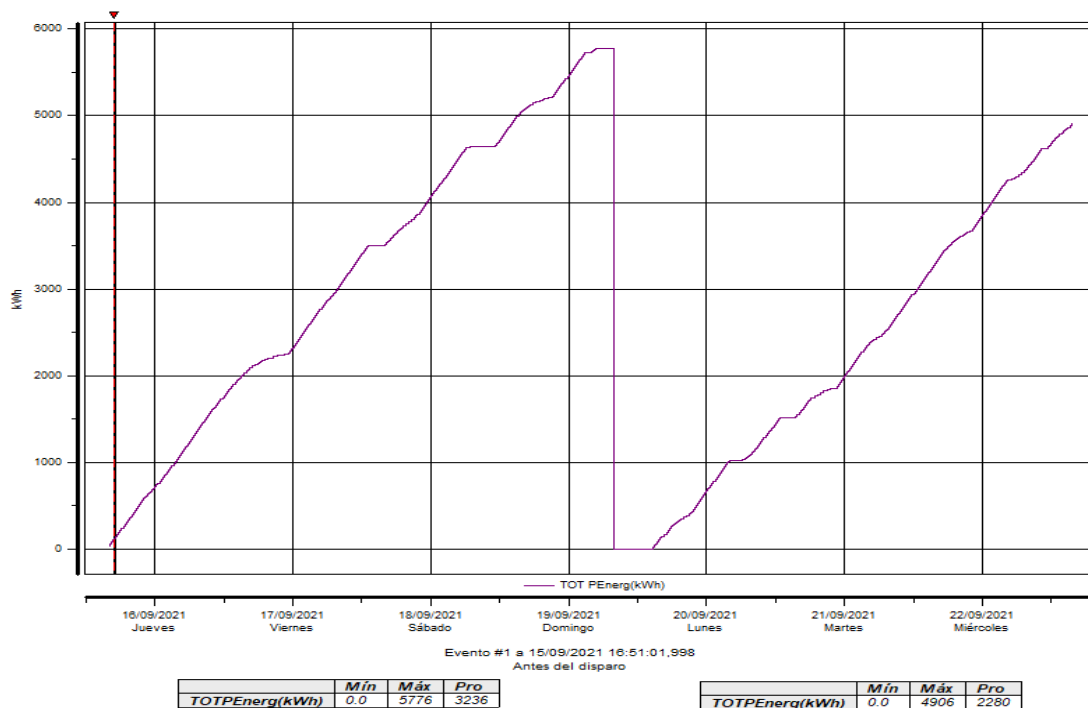


Figura 33. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

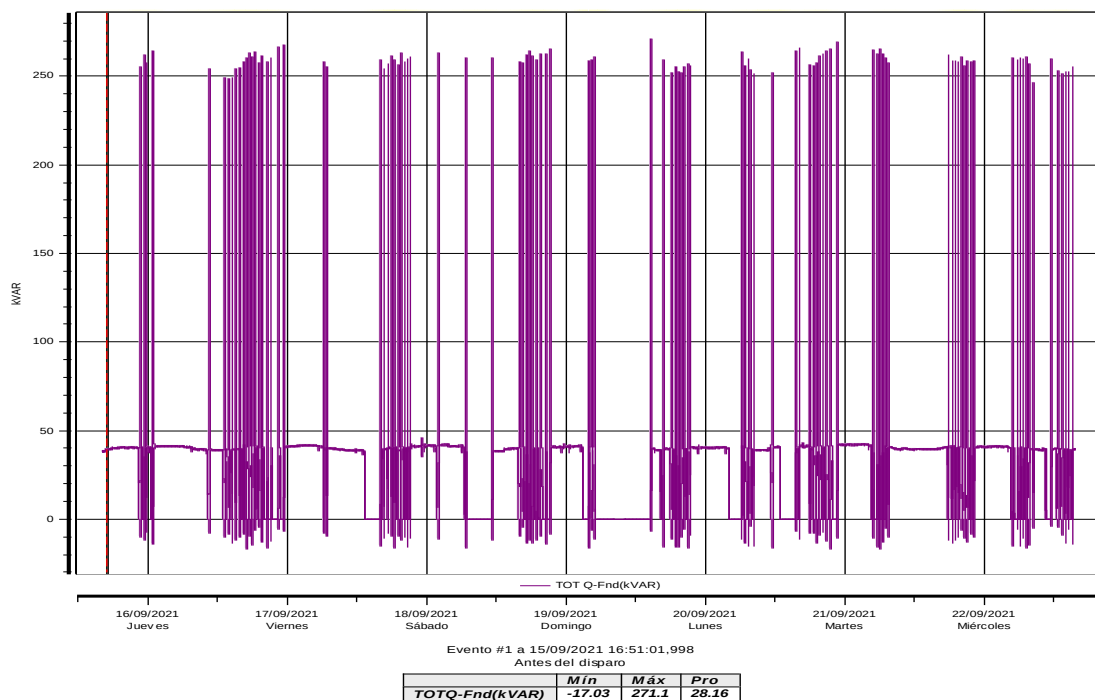


Figura 34. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

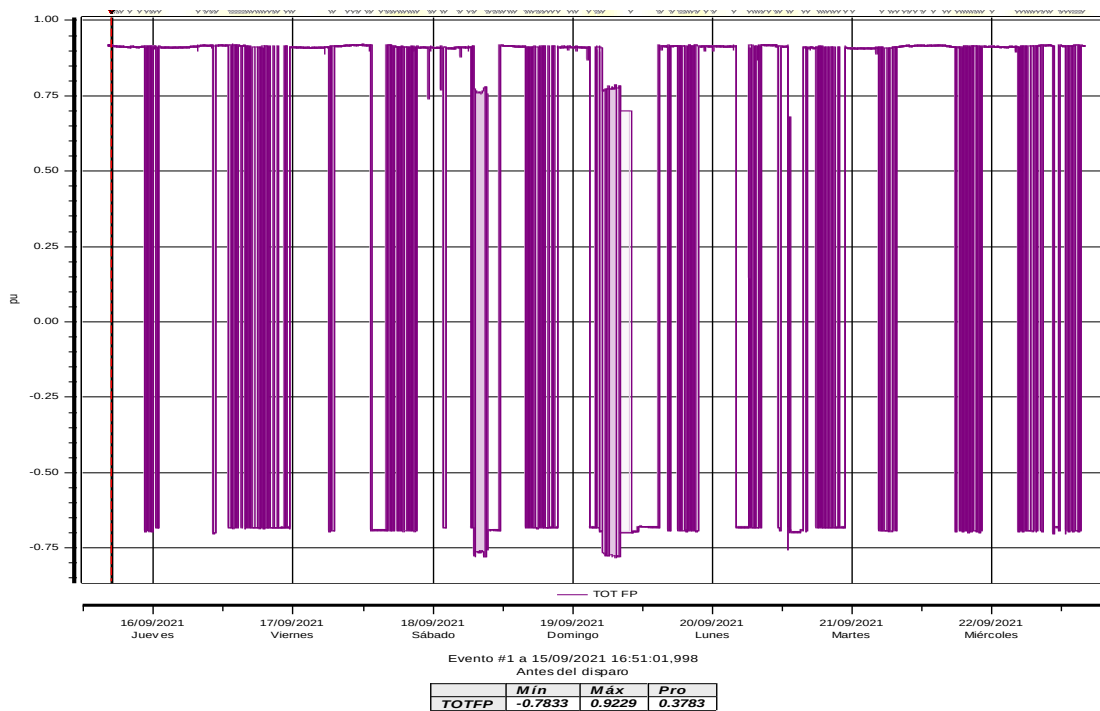


Figura 35. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

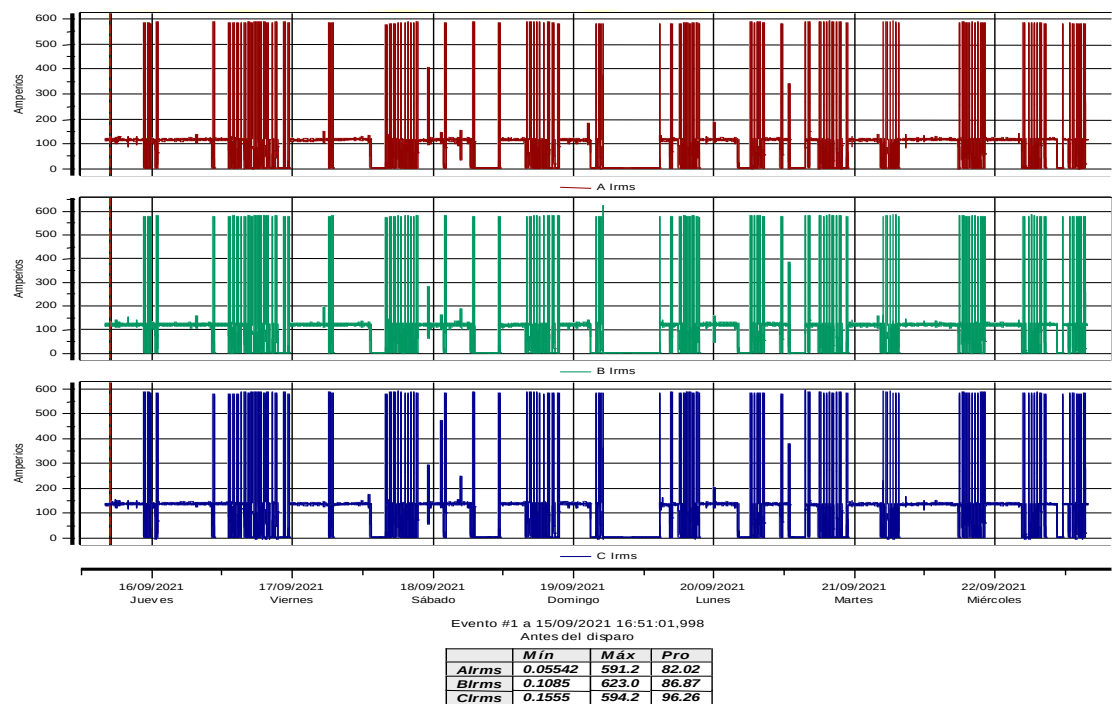


Figura 36. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

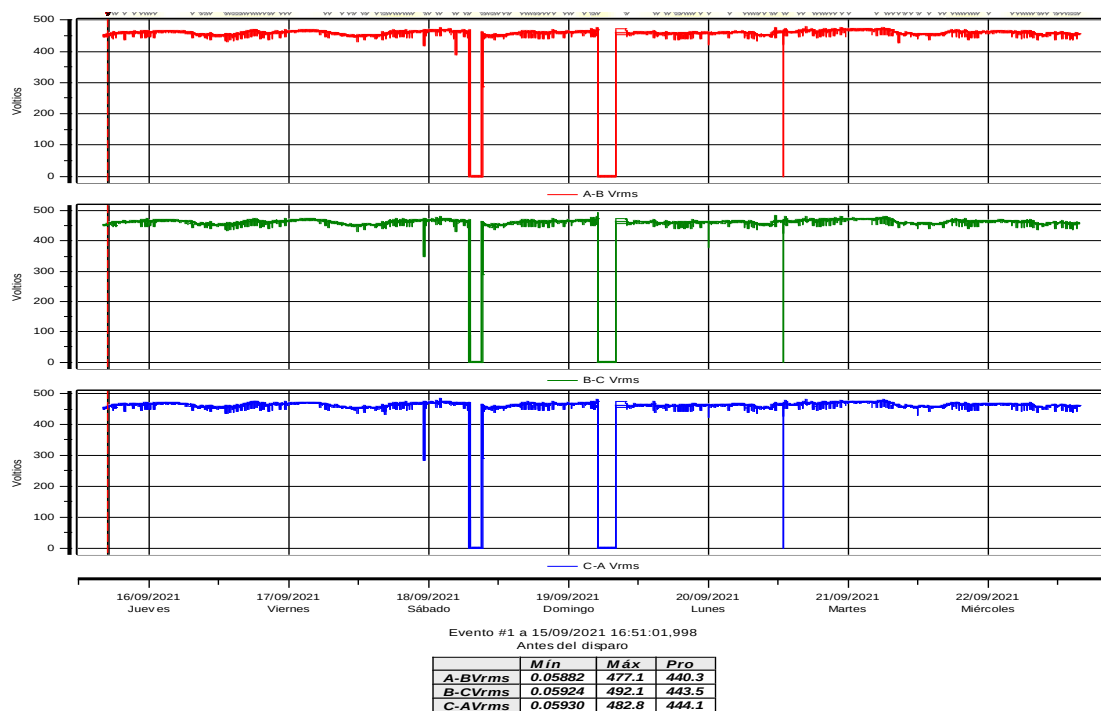
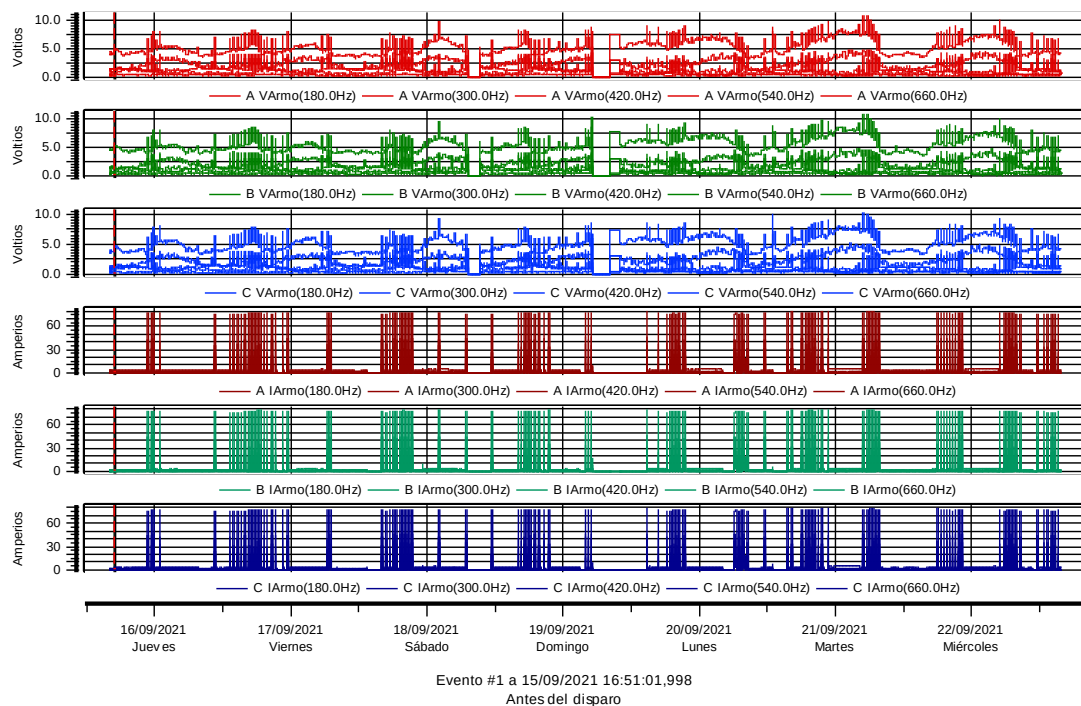


Figura 37. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



	Mín	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.01879	8.018	0.8972
BVArmo(180.0Hz)	0.01434	10.20	0.8396
CVArmo(180.0Hz)	0.003405	9.907	0.8267
AVArmo(300.0Hz)	0.02154	10.77	5.224
BVArmo(300.0Hz)	0.01579	10.75	5.354
CVArmo(300.0Hz)	0.003500	10.18	4.980
AVArmo(420.0Hz)	0.01736	4.872	2.406
BVArmo(420.0Hz)	0.01242	4.845	2.306
CVArmo(420.0Hz)	0.002684	6.608	2.399
AVArmo(540.0Hz)	0.01766	1.858	0.4010
BVArmo(540.0Hz)	0.01377	1.735	0.3642
CVArmo(540.0Hz)	0.003228	1.986	0.3938
AVArmo(660.0Hz)	0.01275	4.745	1.306
BVArmo(660.0Hz)	0.009888	4.944	1.306
CVArmo(660.0Hz)	0.002742	4.388	1.203
AIArmo(180.0Hz)	0.002300	36.79	3.333
BIArmo(180.0Hz)	0.003066	32.71	2.990
CIArmo(180.0Hz)	0.002575	41.19	3.801
AIArmo(300.0Hz)	0.002465	78.87	10.22
BIArmo(300.0Hz)	0.002458	78.67	9.477
CIArmo(300.0Hz)	0.002450	78.41	9.919
AIArmo(420.0Hz)	0.002871	45.94	4.090
BIArmo(420.0Hz)	0.002930	46.88	4.225
CIArmo(420.0Hz)	0.002905	46.49	4.387
AIArmo(540.0Hz)	0.003179	12.72	1.002
BIArmo(540.0Hz)	0.003296	10.55	0.8638
CIArmo(540.0Hz)	0.002968	13.57	1.129
AIArmo(660.0Hz)	0.002191	17.53	2.265
BIArmo(660.0Hz)	0.002406	19.24	2.581
CIArmo(660.0Hz)	0.002234	17.87	2.138

Figura 38. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 2 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Figura 39. Caudal de salida de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 17, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase.

Energía Activa [kWh]	92,8
Energía Activa Total Consumida [kWh]	10682,000
Energía Reactiva [kVAR]	28,160
Factor de Potencia	0,9229
Corriente Fase A [A]	82,020
Corriente Fase B [A]	86,870
Corriente Fase C [A]	96,260
Voltaje Fase A [V]	440,300
Voltaje Fase B [V]	443,500
Voltaje Fase C [V]	444,100
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	10,220
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	9,477
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	9,919
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	5,224
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	5,354
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	4,980
Agua Bombeada [L/s]	71,000

Tabla 17. Valores promedios de mediciones realizadas en la salida principal de la bomba # 3 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 17 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

3.4.4. Unidad de bombeo #4.

Los resultados de las mediciones para esta bomba se muestran a continuación de la figura 40 a la 47, al igual que su capacidad de bombeo.

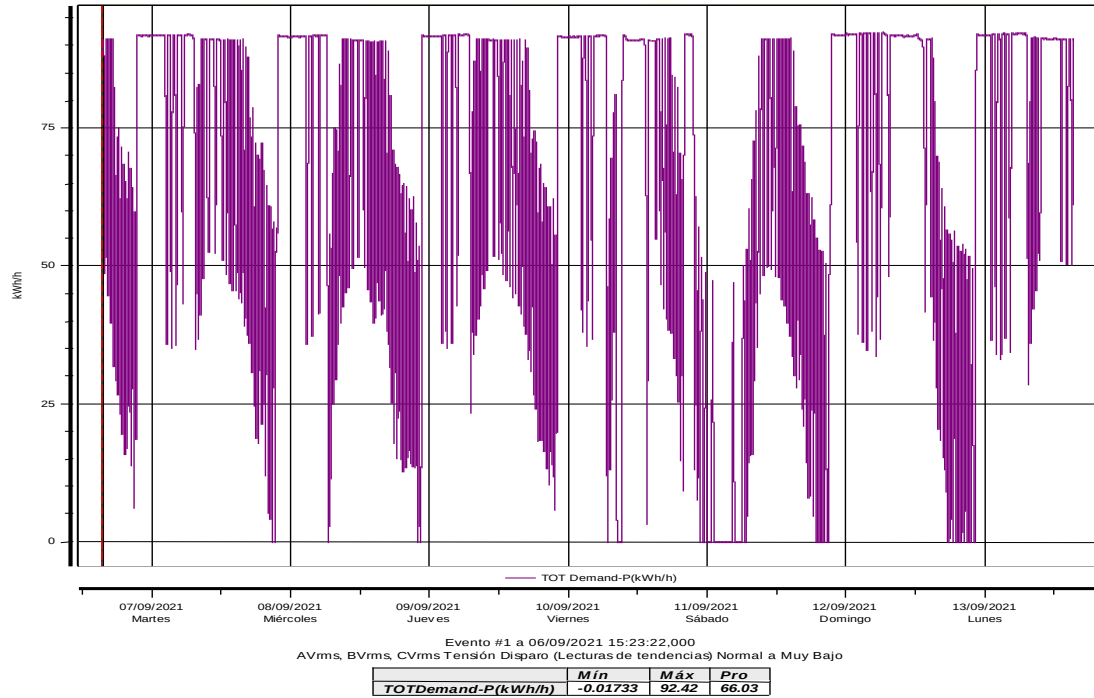


Figura 40. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

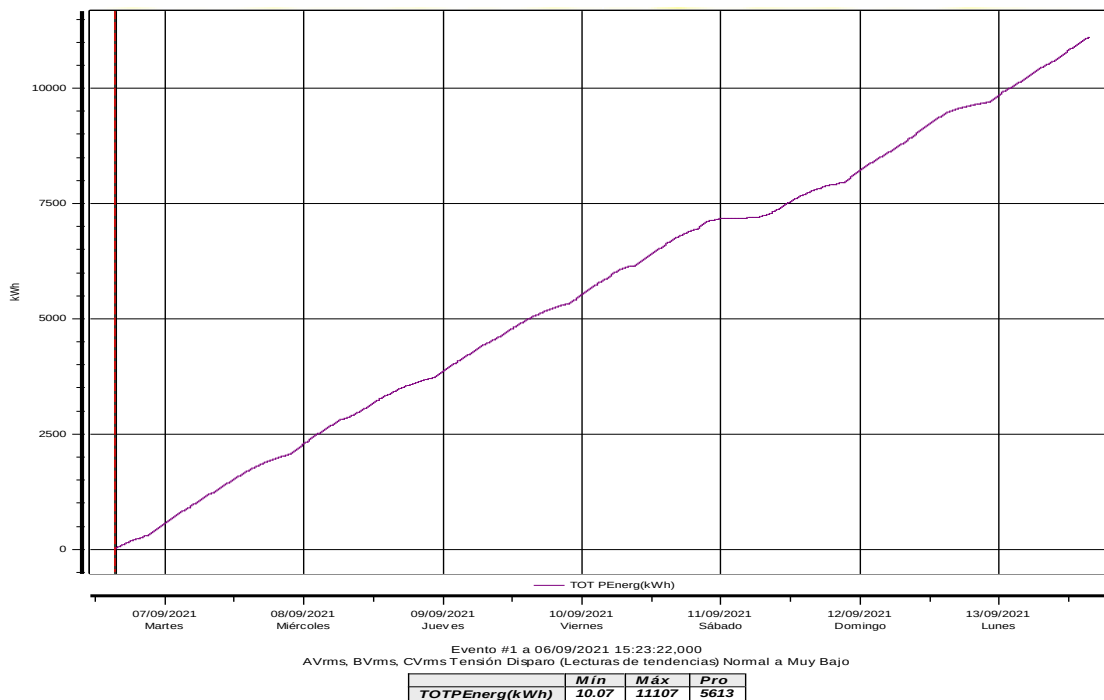


Figura 41. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

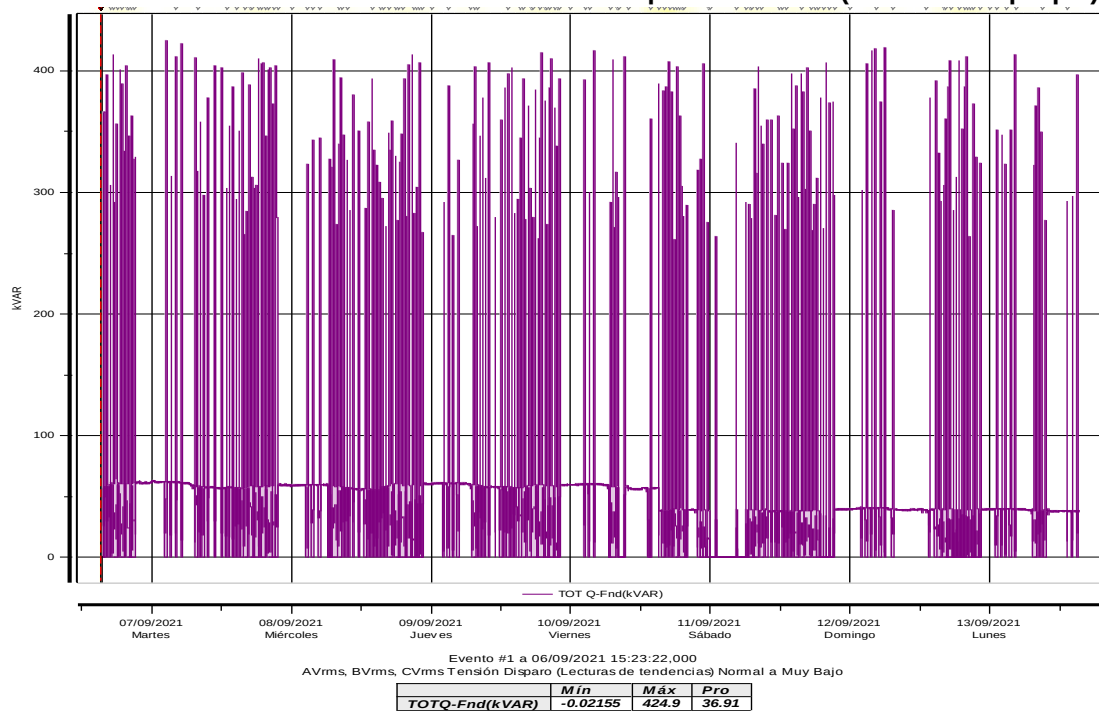


Figura 42. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

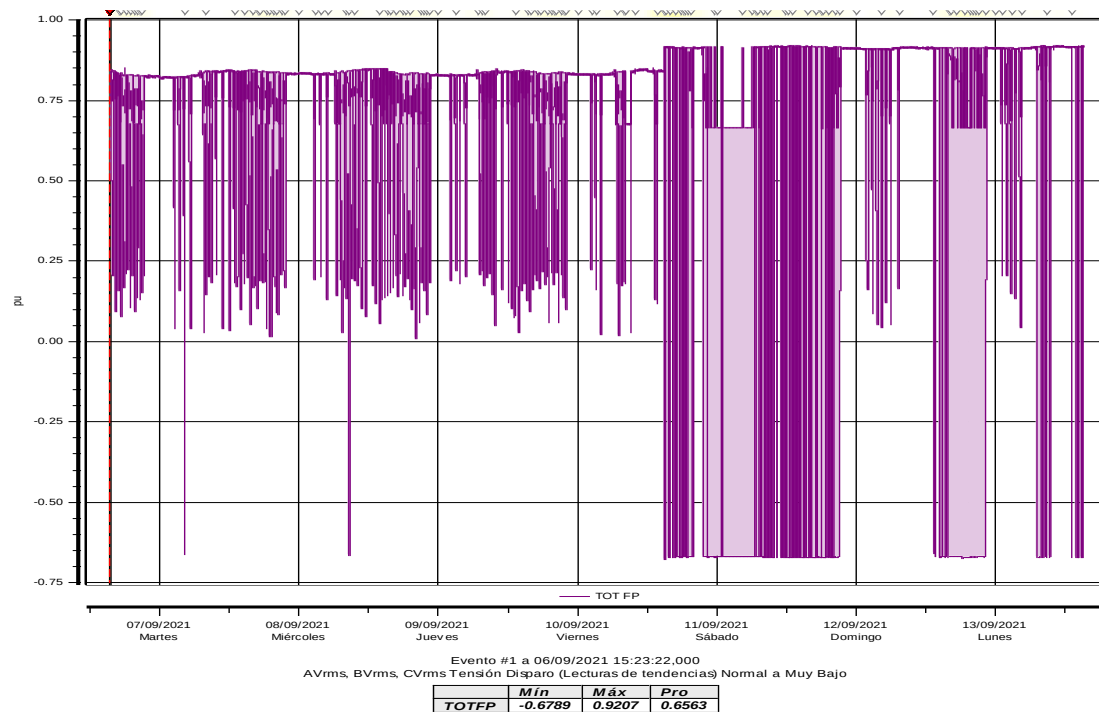


Figura 43. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

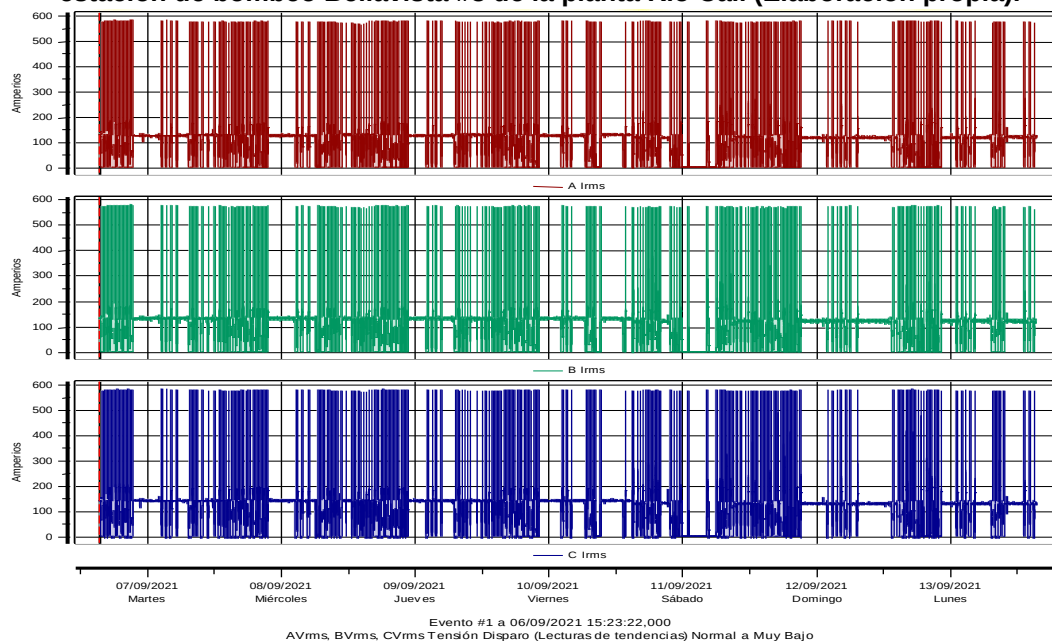


Figura 44. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

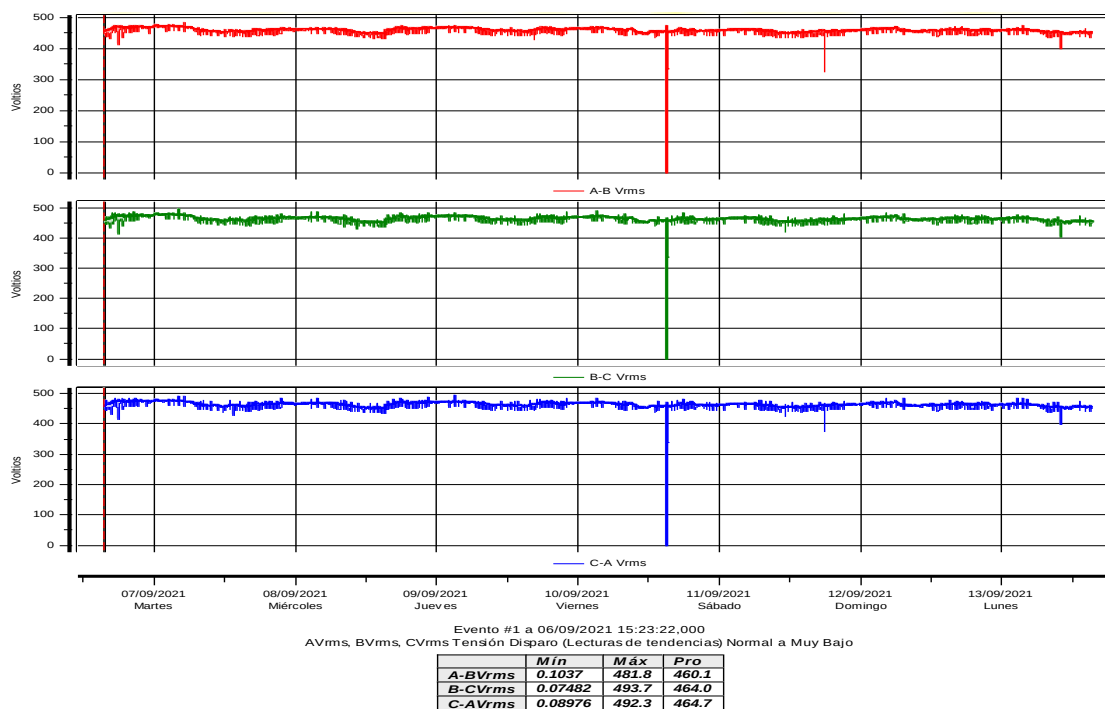
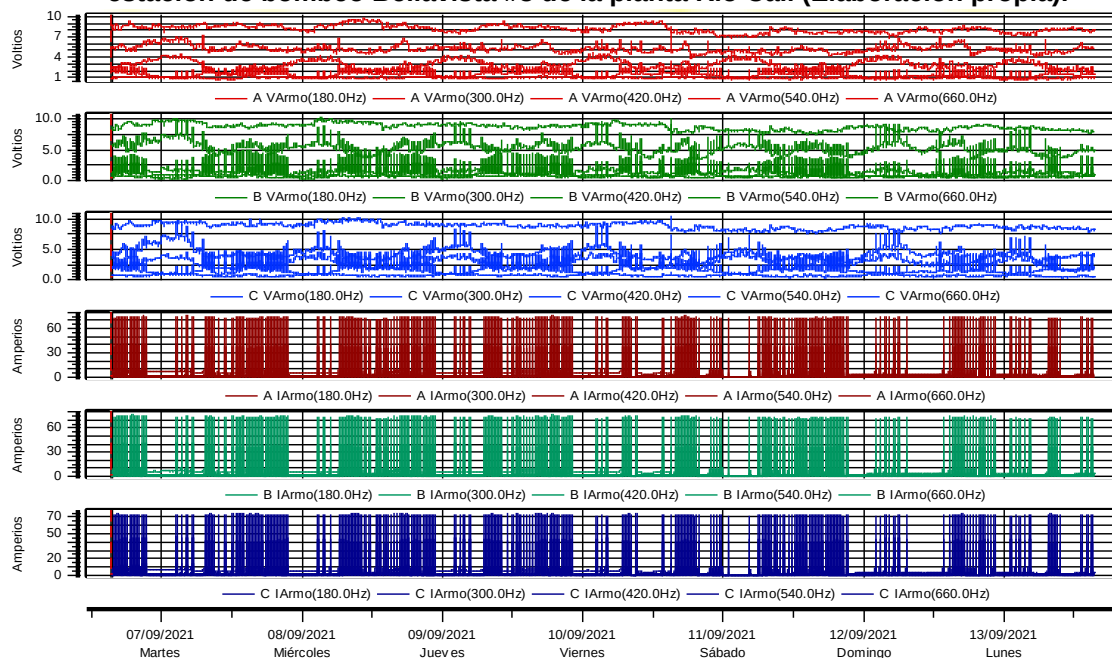


Figura 45. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 06/09/2021 15:23:22,000
AVrms, BVrms, CVrms Tensión Disparo (Lecturas de tendencias) Normal a Muy Bajo

	Min	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	6.778	9.730	8.217
BVArmo(180.0Hz)	7.405	10.18	8.725
CVArmo(180.0Hz)	7.572	10.40	8.870
AVArmo(300.0Hz)	3.929	7.879	5.269
BVArmo(300.0Hz)	3.417	10.05	5.467
CVArmo(300.0Hz)	2.396	9.440	4.478
AVArmo(420.0Hz)	1.300	4.616	2.952
BVArmo(420.0Hz)	0.4533	4.889	1.817
CVArmo(420.0Hz)	0.8528	4.922	2.997
AVArmo(540.0Hz)	0.6917	1.458	0.9800
BVArmo(540.0Hz)	0.4056	1.081	0.7282
CVArmo(540.0Hz)	0.3489	1.352	0.7683
AVArmo(660.0Hz)	0.8102	3.812	1.579
BVArmo(660.0Hz)	0.3072	4.668	1.268
CVArmo(660.0Hz)	0.9414	4.426	1.782
AIArmo(180.0Hz)	0.02584	9.189	2.135
BIArmo(180.0Hz)	0.03286	9.065	1.982
CIArmo(180.0Hz)	0.02561	14.13	2.773
AIArmo(300.0Hz)	0.007096	75.69	19.34
BIArmo(300.0Hz)	0.004796	76.73	19.32
CIArmo(300.0Hz)	0.004629	74.07	19.12
AIArmo(420.0Hz)	0.003906	41.66	9.051
BIArmo(420.0Hz)	0.005243	41.94	8.945
CIArmo(420.0Hz)	0.004294	45.81	9.901
AIArmo(540.0Hz)	0.004188	4.188	0.6997
BIArmo(540.0Hz)	0.004968	2.092	0.3640
CIArmo(540.0Hz)	0.004130	5.083	0.7873
AIArmo(660.0Hz)	0.002670	14.24	2.447
BIArmo(660.0Hz)	0.003120	14.26	2.423
CIArmo(660.0Hz)	0.003125	14.28	2.275

Figura 46. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

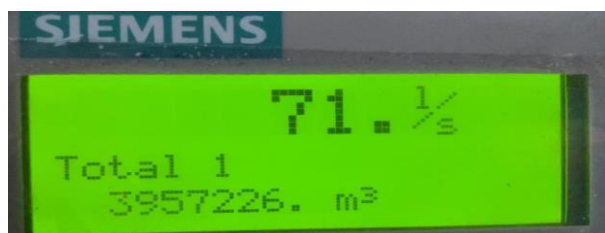


Figura 47. Caudal de salida de la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Los promedios de los datos obtenidos en las figuras anteriores se presentan en la tabla 18, para el caso de los armónicos de corriente y tensión se tomó el promedio más alto especificando en que valor de frecuencia se presentó y su respectiva fase.

Energía Activa [kWh]	92,42
Energía Activa Total Consumida [kWh]	11107,000
Energía Reactiva [kVAR]	36,910
Factor de Potencia	0,9207
Corriente Fase A [A]	91,420
Corriente Fase B [A]	95,500
Corriente Fase C [A]	100,800
Voltaje Fase A [V]	460,100
Voltaje Fase B [V]	464,000
Voltaje Fase C [V]	464,700
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	19,340
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	19,320
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	19,120
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (180Hz) [%]	8,217
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (180Hz) [%]	8,725
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (180Hz) [%]	8,870
Agua Bombeada [L/s]	71,000

Tabla 18. Valores promedios de mediciones realizadas en la bomba # 4 de la estación de bombeo Bellavista #3 de la planta Rio Cali del año 2021 (elaboración propia).

Los valores presentados en la tabla 18 son tomados como línea base y variables para esta parte del sistema eléctrico de planta. Con el fin de tener una guía para las mejoras que se pretendan realizar.

En la tabla 19 se muestra la información recolectada de la carga que más consumo tiene en la planta, las cuales son las bombas de la estación de bombeo Bellavista 3, con el fin de observar diferencias de los datos obtenidos entre ellas y realizar una comparación para obtener diferencias y evidenciar posibles anomalías.

Descripción / Bomba	Bomba #1	Bomba #2	Bomba #3	Bomba #4
Energía Activa [kWh]	92,8700	95,2000	92,8000	92,4200
Energía Total Consumida [kWh]	11265	10597,0000	10682,0000	11107,0000
Energía Reactiva [kVAR]	28,9900	29,8200	28,1600	36,9100
Factor de Potencia	0,9237	0,9186	0,9229	0,9207
Corriente Fase A [A]	86,7000	85,3700	82,0200	91,4200
Corriente Fase B [A]	91,9500	87,5700	86,8700	95,5000
Corriente Fase C [A]	102,4000	91,9800	96,2600	100,8000
Voltaje Fase A [V]	458,9000	461,2000	440,3000	460,1000
Voltaje Fase B [V]	462,5000	463,5000	443,5000	464,0000
Voltaje Fase C [V]	463,4000	465,9000	444,1000	464,7000
ARMÓNICOS Corriente Fase A (300Hz) [%]	3,3720	3,7310	10,2200	19,3400
ARMÓNICOS Corriente Fase B (300Hz) [%]	2,6520	3,5570	9,4770	19,3200
ARMÓNICOS Corriente Fase C (300Hz) [%]	3,0120	3,5670	9,9190	19,1200
ARMÓNICOS Voltaje Fase A (300Hz) [%]	4,6010	5,1850	5,2240	8,2170*
ARMÓNICOS Voltaje Fase B (300Hz) [%]	4,7590	5,2920	5,3540	8,7250*
ARMÓNICOS Voltaje Fase C (300Hz) [%]	4,3530	4,9520	4,9800	8,8700*
Agua Bombeada [L/s]	73,0000	69,0000	71,0000	71,0000

Tabla 19. Mediciones en las bombas de la estación de bombeo Bellavista 3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia). Nota: Los armónicos de voltaje la bomba #4 marcados con “*” (asterisco) son los armónicos de frecuencia 180 Hz.

Los valores mencionados anteriormente para cada caso, ya sea: consumo de planta, valores medidos en bombas de Bellavista #3 y valores medidos en salida de transformador de subestación #1, vida útil, antigüedad de equipos, producción de agua, fueron tomados como líneas base para la implementación del sistema de gestión de energía en la planta Rio Cali, de aquí que el esfuerzo de esta investigación estuvo centrado en la búsqueda de posibles soluciones, oportunidades de mejora y/o ideas que ayuden a disminuir o eliminar las problemáticas presentadas anteriormente en este trabajo.

En este apartado se realizó un diagnóstico de las cargas más representativas de la planta con el fin de identificar los posibles inconvenientes presentes en cada una, con el objetivo de plantear una solución a cada caso. De aquí se logró deducir que la estación de bombeo Bellavista 3 (bombeo a tanque de Bellavista) representa la carga de mayor consumo de energía eléctrica en la planta con un 75,26% del total consumido por toda planta, seguido de la salida del transformador de la subestación # 1 con un 14,84%, es

decir, entre estas dos cargas está el 90,1% del total de consumo de energía eléctrica de toda la planta (según la información de la tabla 20), de aquí que serán estas dos cargas en las cuales se enfocaron los esfuerzos para la implementación del sistema de gestión de energía eléctrica.

Las mediciones para las 4 bombas de Bellavista 3 se realizaron individualmente y en el modo automático de la programación de llenado del tanque de Bellavista, por lo cual el promedio de funcionamiento de las bombas según las mediciones fue de 14,64 horas por día. De aquí se realizó el cálculo para el consumo promedio de la segunda bomba que estaba en funcionamiento por 20 horas diarias, posteriormente se calculó el consumo mensual aproximado de cada bomba para luego así sumar los consumos de ambas obteniendo así el consumo mensual de esta estación de bombeo.

La medición realizada en la salida principal de la subestación # 1 fue por una semana (7 días) por lo cual, se realizó el cálculo pertinente para obtener el consumo aproximado mensual. Mediante los recibos de energía eléctrica de la planta se calculó el promedio de energía consumida desde enero de 2019 hasta mayo de 2022 el cual dio como resultado 126692,79kWh/Mes. Con las aclaraciones mencionadas anteriormente se obtuvo la tabla 20 en donde se muestran los valores en porcentaje que representan las cargas mencionadas anteriormente y las demás para completar el 100% de la energía consumida en la planta.

La variación en la suma de porcentajes se debe a que se trabajó el consumo real de la planta de las cargas, pero haciendo estimados con los cálculos ya mencionados, además se trabajó con el promedio facturado que se mencionó anteriormente y también debido a que las mediciones de las cargas se realizaron en meses diferentes. La medición de las bombas se realizó en la que se colocaba en modo automático para evitar que los operadores se equivocaran en el encendido de la bomba manual, puesto que era más sencillo establecer y dejar en automático una bomba toda una semana.

Descripción de la Carga	Energía Promedio Mensual Consumida [kWh]	% Respecto al promedio de energía eléctrica (126692,79kWh)
Bellavista 3	95350,20	75,26%
Salida Principal Trafo#1 (Incluye oficinas, 12 floculadores a 220V, bombas de muestreo, etc.)	18804,00	14,84%
Bombas de Lavado y Sopladores	11241,00	8,87%
Floculación (24 floculadores a 440 V)	5258,40	4,15%

Tabla 20. Valores en porcentajes de las cargas respecto al promedio calculado de consumo de energía eléctrica de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

A continuación, en la figura 48 se presenta el diagrama de Pareto del consumo de energía eléctrica de la planta Rio Cali.

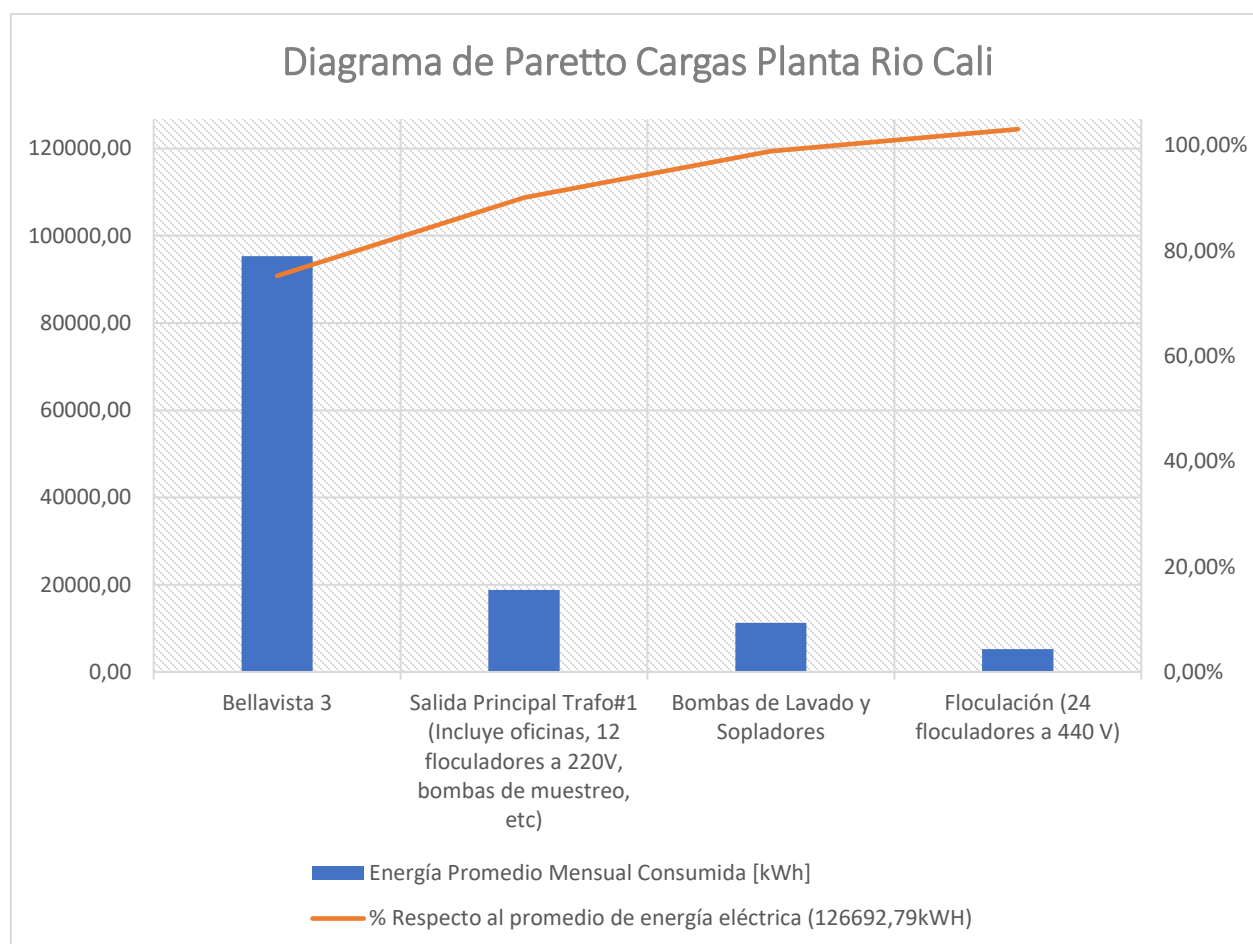


Figura 48. Diagrama de Pareto de las cargas de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Como se puede observar en la figura 48, las cargas de Bellavista 3 y salida del transformador de la subestación # 1 suman el 90,1% del total de la energía consumida por la planta, de aquí que estas dos sean las cargas en la que se enfocaron todos los esfuerzos para la implementación de un sistema de gestión de energía que vaya encaminado en la disminución de consumo de energía eléctrica, optimización de estos procesos y el control de algunos parámetros eléctricos que deben estar dentro de rangos establecidos, como lo son el caso de armónicos, factor de potencia, entre otros.

4. Diagnóstico, Gestión y control.

En este apartado se establecen las acciones administrativas que deberá implementar la empresa, en este caso EMCALI, para lograr la correcta implementación, control, seguimiento y mejora continua del sistema de gestión de la energía planteado a través del desarrollo de este trabajo. Además, se analizan, interpretan y estudian las diferentes situaciones presentes en la planta “Rio Cali” las cuales fueron mencionadas anteriormente con el fin de brindar una posible solución o mejora. Todo esto con el objetivo de realizar aportes que contribuyan a un óptimo y eficiente uso de energía eléctrica, además, contribuir a un mejor desempeño en el funcionamiento de algunos de los procesos dentro de la planta, aumentando así la eficiencia en los procesos por parte de operadores y equipos eléctricos, repercutiendo así en una posible reducción en la facturación de energía eléctrica.

4.1. Compromiso de la alta gerencia

La alta dirección en este caso en cabeza del gerente general, gerencia de acueducto y gerencia energía de EMCALI debe tener un compromiso con la operación, sostenibilidad y mejora continua del sistema de gestión integral de la energía, por lo cual esta, se deberá encargar de establecer una política energética en donde se construirán objetivos, metas energéticas, además realizaran revisiones gerenciales y se tendrá que asegurar la disponibilidad de recursos para el sistema de gestión integral de la energía. Finalmente, la gerencia general de EMCALI deberá establecer las funciones y niveles pertinentes dentro de la organización con el fin de cumplir con los objetivos energéticos planteados, que además deben ser medibles y congruentes con la política energética e incluir aquellos necesarios para cumplir con los requisitos del producto[27] en este caso el agua tratada.

4.1.1. Alineación de estrategias

La estrategia solo puede ser puesta en marcha cuando se oriente al personal clave hacia el cumplimiento de metas energéticas (acordadas desde las diferentes gerencias de EMCALI) y sea comunicado institucionalmente disponiendo de los recursos adecuados. Esta alineación de estrategias debe considerar procesos de comunicación y capacitación, incluyendo objetivos individuales y grupales que vayan de la mano con los estratégicos y un sistema de incentivos[27]. El personal clave para este caso estaría encabezado por los jefes de producción y mantenimiento de la planta “Rio Cali”, seguido de los operadores de planta y los encargados del mantenimiento con sus respectivos ayudantes.

En pocas palabras la alineación de estrategias se basa en el análisis y la ejecución de procesos referentes a la determinación de la política y dirección, y el establecimiento de una organización efectiva en la gestión energética, la identificación y selección de proyectos de ahorro de energía, la planificación y acción para mejoras

establecidas, y la gestión eficiente de sistemas de reportes y controles. Por tanto, la estrategia recomienda ir de lo táctico a lo estratégico como se observa en el ejemplo de la figura 49[27].

	TÁCTICO	ESTRATÉGICO
POLÍTICA	El personal técnico desarrolla sus propios procedimientos.	La política energética es fijada y revisada por los mandos medios. Se cuenta con una política formal y un plan de implementación. Compromiso y participación activa de la dirección.
ESTRUCTURA	Figura de la gestión energética informal y no planificada.	Estructura de gerencia de energía sin reporte directo a la dirección. Gerencia de energía totalmente integrada a la estructura gerencial. Con interrelación directa con la alta dirección y demás áreas del proceso.
RECURSOS	Recursos informales, con tiempo poco frecuente de los grupos de trabajo dedicado al tema energético. Sin presupuesto asignado para la energía.	Grupo de trabajo y otros recursos (equipos, asesorías, presupuestos entre otros) tomados de centros de costos que no están vinculados directamente a la energía. Grupo de trabajo de tiempo completo y presupuesto relacionado con el gasto en energía a niveles recomendados.

Figura 49. Evolución de estrategia energética (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos prácticos.” 2014).

La evolución de la estrategia energética requiere de acciones en cada departamento de la empresa. La parte administrativa, el departamento de planeación de la producción será responsable del presupuesto de la energía que se asigne para la producción. La gerencia se encargará del chequeo de los indicadores energéticos, con la misma frecuencia que se revisan los indicadores financieros y productivos. Finalmente, el departamento de contabilidad y finanzas se encargará de la asignación del costo energético asociado a cada tipo de producto y proceso que se realice[27].

El departamento de producción debe establecer la identificación y monitoreo de variables del proceso productivo que impactan la eficiencia energética y, a su vez, el mejoramiento de la eficiencia de los eventos productivos como lo son: la operación normal, paradas, arranques, cambios de productos (en este caso proveedores de ACH, CAL, cloro, etc) y ensayos. El departamento de mantenimiento deberá tener la función de implementar indicadores de mantenimiento energético de los equipos clave por medio de instalación de equipos de medición y registro con el apoyo de la gerencia de telecomunicaciones de EMCALI con el fin de lograr la visualización, almacenamiento y descarga de todos los registros realizados para su posterior análisis. Por último, el departamento de aseguramiento de calidad se encargara de la auditoria de los procedimientos de gestión energética [27].

4.1.2. Inserción en la estructura organizacional de responsables del sistema de gestión integral de la energía.

El logro del mejoramiento en el desempeño energético es una tarea de los equipos operacionales, mientras que el equipo de alta gerencia facilitará y apoyará el proceso de mejoramiento continuo de forma en que gradualmente, se convierta en una rutina operacional. De aquí que es importante designar la responsabilidad del liderazgo para asuntos energéticos a una persona o a un grupo dedicado [27].

El líder o comité para la gestión energética, que para este caso podría estar en cabeza de un nuevo cargo en la empresa dedicado exclusivamente a esto. Este líder deberá tener las siguientes funciones y responsabilidades[27]:

- Apoyar, promover la mejora del desempeño energético y su actualización.
- Validar la información sobre el desempeño y prepararla para propósitos internos y externos.
- Inspeccionar el manejo, la compresión, la transmisión y el archivo de registros sobre los datos de desempeño.
- Validar el resultado de las acciones correctivas y el logro de las metas y planes.
- Apoyo técnico para líderes de los diferentes centros de costos energéticos y operadores si es necesario.
- Inspeccionar lo apropiado de los sistemas de medición del desempeño cada cierto periodo de tiempo.
- Replantear las metas cuando sea requerido.

El sistema de gestión integral de energía debe ser de interés de toda la compañía. Este perdería continuidad y sería un proyecto aislado para mejorar la eficiencia energética en una empresa, si no se cuenta con el constate apoyo de los directivos con el sistema de gestión integral de la energía. Las responsabilidades de un líder de energía, no liberan de sus responsabilidades a los líderes de diferentes unidades (en este caso los jefes de mantenimiento de cada área de la empresa, en este caso de la planta) hacia el desempeño y los requisitos operacionales de los centros de costo energéticos [27].

4.1.3. Organización de los centros de costos energéticos.

Para que estos sean efectivos se deberán definir claramente las responsabilidades individuales, incluyendo como se relacionan con el logro de objetivos y metas energéticas y su operación normal. Todas las anteriores deberán definirse por escrito y deberán incluir las responsabilidades energéticas, que son necesarias para que sean abordadas. Todos los empleados deberán entender claramente sus roles y responsabilidades relacionadas con el desempeño energético, de igual forma la importancia de las metas y los objetivos energéticos que ellos pueden afectar [27].

4.1.4. Requerimientos para estructurar actividades de gestión energética en la compañía

Recursos humanos: definir los equipos, áreas y las personas responsables en la operación del sistema de gestión integral de la energía [27]. Para el caso de los operadores de la planta con sus respectivos ayudantes serán los directamente responsables de la adecuada operación de equipos y por tanto del consumo eficiente de energía eléctrica. El área de mantenimiento será responsable de mantener los equipos en las mejores condiciones con el fin de que su desempeño sea el mejor y poder lograr así un trabajo eficiente de cada proceso.

Recursos financieros: tener a disposición con rubro en el presupuesto de la empresa que proporcione los recursos necesarios para [27]:

- Contratar consultoría y acompañamiento.
- Capacitación y dedicación del recurso humano.
- Extensión, acondicionamiento o creación de sistemas de comunicación.
- Generar estímulos financieros para el personal o equipos de trabajo que logren mejoramientos significativos en los indicadores de eficiencia energética.
- Costos de documentación, entre otros.

Recursos de información: incluir y actualizar al sistema de gestión integral de la energía dentro del sistema de información de la empresa. Divulgación de la política, objetivos, metas y logros energéticos [27]. Cabe mencionar que si se brinda capacitación adecuada, formal y suficiente no hará falta contratación.

Recursos físicos: instalaciones y equipos [27].

4.1.5. Plan de comunicación del sistema de gestión integral de la energía

Este describe de forma general algunas acciones y herramientas a tener en cuenta en el momento de llevarlo a cabo. Este plan se deberá enfocar en tres aspectos: el primero se refiere al cambio de hábitos en el manejo y uso de la energía. El segundo en la gestión del conocimiento mediante la motivación sobre las mejores prácticas de operación y mantenimiento de equipos. Finalmente el tercero, se enfoca en la definición de las condiciones organizacionales, con miras a generar cambios en la cultura organizacional relacionada con los procesos y procedimientos productivos [27]. El tema más importante para EMCALI sería el cambio de cultura, el cual deberá ser un tema muy bien tratado, este podría ser abordado mediante incentivos, por cada grupo de trabajo que demuestre un ahorro de energía y/o cumpla una meta de consumo máximo.

En la figura 85 se muestra un ejemplo de un plan de comunicaciones en un sistema de gestión integral de la energía, cuyo objetivo general es brindar acciones orientadas a la operación de un sistema de gestión energético que garantice un potencial de rentabilidad [27].

Siendo consecuentes con la información suministrada en la figura 85, la primera fase preparatoria para implementar el sistema de gestión de la energía se hace fundamental, debido a que nos brinda resultados valiosos los cuales permitirán la instalación eficaz del sistema dentro de la organización. Por medio de esta se logra tener apoyo de la alta dirección y en consecuencia con ello la asignación de recursos, responsabilidades y compromisos del personal clave dentro del proceso [27].

La caracterización energética al ser una actividad prioritaria cuantifica el potencial de rentabilidad de la implementación del sistema de gestión integral de la energía, por medio de la identificación de potenciales y metas energéticas alcanzables, en tanto que da soporte, ratifica e impulsa la rápida implementación [27]. En la figura 50 se muestra un ejemplo de un plan de comunicaciones en un sistema de gestión integral de la energía.

OBJETIVO	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	INDICADORES DE LOGRO
1. Promover acciones encaminadas al cambio de hábitos en el manejo y uso de la energía.	Aplicar encuestas que faciliten el reconocimiento de la cultura organizacional y las prácticas energéticas. Realizar capacitaciones apoyadas por boletines de noticias que sensibilicen sobre buenos hábitos en el uso eficiente de la energía.	Alta dirección y coordinador de comunicación.	Modelos de encuestas aplicadas a los colaboradores. Número de capacitación ejecutada y evaluadas. Número de boletines elaborados y publicados.
2. Motivar la gestión del conocimiento a partir de la estimulación sobre las mejores prácticas de operación y mantenimiento de equipos.	Construir talleres y cartillas por área que permitan la incorporación de buenas prácticas operacionales en los procesos productivos y administrativos y el mantenimiento de los equipos de uso final. Reuniones por grupos de trabajo a nivel de proceso, de operación, de mantenimiento y de costos para identificar acciones a corregir.	Jefe del área y coordinador de comunicación. Líder de equipo y jefes de áreas.	Número de talleres elaborados y ejecutados. Número de cartillas elaboradas y publicadas. Número de reuniones ejecutadas y evaluadas.

Figura 50. Ejemplo de plan de comunicaciones en un sistema de gestión integral de la energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos prácticos.” 2014) (Continúa).

3. Definir las condiciones organizacionales, con miras a generar cambios en la cultura organizacional relacionada con los procesos y procedimientos productivos.	Capacitaciones sobre el mejoramiento de indicadores de eficiencia y de productividad. Socialización de las acciones corregidas sobre el uso eficiente de la energía. Ilustrar en las carteleras de la organización modelos sobre buenas prácticas energéticas. Evaluación de las actividades aplicadas sobre cambios en la cultura organizacional y las prácticas energéticas.	Gestor energético y personal experto. Colaboradores y coordinador de comunicación.	Número de capacitaciones ejecutadas y evaluadas. Reunión de socialización del SGIE. Número de carteleras elaboradas y publicadas. Reunión de evaluación del SGIE.
--	--	--	---

Figura 50. Ejemplo de plan de comunicaciones en un sistema de gestión integral de la energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos prácticos.” 2014) (continuación).

El cumplimiento de los requisitos de la norma NTC ISO 50001 de lo anteriormente mencionado se cumple según lo establecido en la figura 51.

ítem de la ISO 50001	Apartado de este documento
4.2 Responsabilidad de la Dirección.	4.1 Compromiso de la alta gerencia.
4.2.1 Alta Dirección. La alta dirección debe demostrar su compromiso de apoyar el sistema de gestión energética y su eficacia.	4.1.1 Alineación de estrategias
4.2.2 Representante de la Dirección. La alta dirección debe designar responsables para la gestión energética.	4.1.2 Inserción en la estructura organizacional de responsables del sistema de gestión de la energía.
4.3 Política Energética. Establecer el compromiso de la organización para alcanzar una mejora en el desempeño energético.	2.3 Alineación de estrategias.
4.4 Planificación energética.	2. Identificación de las prácticas energéticas en la P.T.A.P. Rio Cali: cargas instaladas, consumos de energía eléctrica, descripción del sistema eléctrico por media tensión (13,2kV), baja tensión y consumo eléctrico vs producción de agua.
4.4.3 Revisión energética. Se debe analizar el uso y consumo de la energía, identificar las áreas de uso significativo e identificar priorizar y registrar las oportunidades para mejorar el desempeño energético.	3. Definición De Línea De Base Energética E Identificación De Variables.
4.4.4 línea de base energética. Establecer la línea de base energética a partir de la información de la revisión energética inicial y considerando un periodo para la recolección de datos adecuado.	

Figura 51. Aportes a la norma NTC ISO 50001 mediante el presente trabajo de profundización (Elaboración propia).

4.2. Elaboración de la documentación del sistema de gestión integral de la energía (SIGE).

Con esta se busca garantizar la operación eficaz, sostenibilidad y mejoramiento continuo de sistema de gestión integral de la energía implementado, se hace necesario, desarrollar y mantener la documentación adecuada. Por medio de esta se proporcionan las instrucciones y procedimientos requeridos para que los empleados de la organización cuenten con una guía que les permita, de manera correcta operar el sistema. Los documentos podrían presentarse en cualquier formato, ya sea papel, electrónico, fotos, carteles, etc. que sea útil, entendible y accesible a quienes lo necesitan. Existe una ventaja de la documentación electrónica debido a que facilita su actualización y control de acceso, asegurando así que los usuarios usen versiones actualizadas. En la figura 87 se resume el contenido de un manual de gestión de la energía [27]. Para el caso de la documentación se puede implementar la creación de una carpeta en el correo institucional con el fin de almacenar ahí toda la documentación necesaria según el cargo de cada persona o información adicional según sea necesario. También se podría implementar cuentas en alguna plataforma con acceso por medio de usuario y contraseña con el fin de que la información consultada sea la más reciente. Finalmente se hace necesario tener actualizada toda información eléctrica respecto a características de equipos, planos, diagramas unifilares, catálogos y formas recomendadas para operación de equipos, además de tenerla identificada y ubicada de tal forma que sea posible encontrarla y acceder fácilmente a ella. En la figura 52 se muestra el ejemplo del contenido que debería tener un manual de gestión de energía.

Manual del Sistema de Gestión Integral de la Energía Es el documento básico del Sistema de Gestión Energético que proporciona una visión conjunta del SGIE y recoge las referencias necesarias a otros documentos del sistema. Un contenido de un Manual de Gestión Energético, basado en la Norma ISO 50001, podría seguir una estructura similar a la lista de requisitos de este sistema de gestión. Política energética de la empresa: la declaración de intenciones y principios de una organización en relación con la gestión energética debe estar documentada y mantenida al día. Se debe revisar periódicamente, y si procede, modificarla.	CONTENIDO	
	Procedimientos	En ellos se identifican las actividades, los responsables y sus funciones dentro del sistema de gestión de la energía. El formato de los procedimientos puede ser muy diverso, pero es conveniente que todos los procedimientos de un Sistema de Gestión Energético de una empresa tengan el mismo formato. La información que no debe faltar es: título del documento, su número, firma de autorización del documento, el nivel de revisión, nombre de la empresa y un esquema de numeración de páginas. Los principales temas de los que informaría el procedimiento serían: objeto, donde se define la intención de elaborar el documento; alcance, donde se define el departamento o los trabajadores que se ven afectados por el documento. Así mismo, se detallan las responsabilidades asociadas a puestos de trabajo relacionada con el procedimiento: el quién, cómo y cuándo realizarán determinadas tareas; a su vez, definiciones de los términos que no sean de uso general y que se utilicen en el documento; referencias de otros documentos del SGIE; listado de la documentación o anexos adjuntos a este procedimiento y un listado para comprobar a modo de auditoría que el procedimiento funciona correctamente.
	Instrucciones de trabajo	Documentos que describen como se debe realizar una determinada tarea. El contenido principal de estos documentos es similar al de los procedimientos. En tanto, se especificará el objeto o la intención del documento, se definirá su ámbito de aplicación, se detallarán las tareas a realizar y se enumerarán las personas afectadas por esta instrucción y a las que se las distribuirá el documento.
	Especificaciones	Documentos en los que se especifican las características de los productos, servicios y residuos.
	Registros	El resultado de aplicar el manual de gestión energética, los procedimientos o instrucciones técnicas deriva en una serie de información que tendrá que ser archivada y documentada a través de registro, aunque no son propiamente "documentos".

Figura 52. Contenido de una manual de gestión de energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos practicos." 2014).

Adicionalmente a la documentación anteriormente descrita en la figura 52, las siguientes actividades deben estar almacenadas en la documentación del sistema de gestión integral de la energía: política energética, alcance, límites y requisitos del SGIE, objetivos y metas energéticas, programa de gestión de la energía, estructura y responsabilidades, formación sensibilización y competencia profesional, comunicación, documentación, control de documentación, control operacional, planes de emergencia y capacidad de respuesta, seguimiento y medición, riesgos, fortalezas, acciones correctivas y preventivas, registros, auditorías energéticas y revisión por la dirección [27].

Toda Esta documentación, se puede controlar mediante el desarrollo de un formato apropiado que incluya títulos únicos, números, fechas, revisiones, histórico de las actualizaciones, o autoridad encargada de la revisión. De igual manera, la asignación de

la revisión y la aprobación de los mismos a individuos con suficiente capacidad técnica y autoridad en la organización, y el mantenimiento de un sistema de distribución eficaz [27].

4.3. Auditoría interna al SGIE

Según la norma NTC ISO 50001, es un requisito de la organización hacer auditorías en periodos de tiempo planificados, esto con el propósito de asegurar que el sistema implementado cumple con las disposiciones planificadas para la gestión de energía, los objetivos y las metas que se establecieron, además, para verificar que se implementa, se mantiene eficazmente y que mejora el desempeño energético. Se ha determinado que cualquier auditoría energética tiene dos componentes que son: organizacional y operacional [27].

4.3.1. Evaluación de los aspectos organizacionales

Evaluación cualitativa: algunas de las herramientas más usadas para la evaluación de una auditoría de gestión energética son las entrevistas y las funciones, y las listas de chequeo o matriz de la gestión de la energía empleadas para la revisión. Las áreas clave para evaluar son aquellas donde se tiene registros o históricos de producción y consumos de energía, y en donde se han establecido las estructuras adecuadas para la evaluación del rendimiento energético. Los análisis de aspectos organizacionales respecto a las estructuras para la gestión energética, brinda que aspectos para el manejo energético requieren mejoramiento. En conclusión se pueden demandar en la optimización de las siguientes áreas [27]:

- Compromiso de la alta gerencia con la mejora del rendimiento energético.
- Política energética declarada con objetivos y metas declaradas.
- Definición de responsabilidades para el rendimiento energético.
- Niveles adecuados de conciencia, motivación y habilidades del personal.
- Sistema de medición adecuado para monitorear el desempeño.
- Sistema de reporte de comunicación para verificar los progresos, para obtener retroalimentación y comunicar los resultados.

Evaluación cuantitativa: la dispersión no indica que tan fuertes son las prácticas actuales para la gestión energética. Un valor de dispersión entre el 2 y 3%, es un indicio de buenas prácticas, mientras que valores más elevados refieren oportunidades significativas de mejoramiento. Este indicador es solo una aproximado del desempeño energético porque, es posible encontrar valores pequeños de dispersión donde, después del análisis, el desempeño podría no ser muy adecuado. En conclusión, esta valoración cuantitativa es un sutil paso para lograr establecer el estado actual y darle dirección al mejoramiento del rendimiento energético, pero no puede brindar propuestas inmediatas

a cerca de las medidas técnicas específicas que se requieren para el mejoramiento de la eficiencia. La manera adecuada de obtener tales propuestas es la evaluación de las practicas operacionales vigentes en la empresa [27].

4.3.2. Evaluación de los aspectos operacionales.

El nivel real del desempeño energético, es determinado por como los funcionarios o trabajadores operan los procesos, máquinas y/o equipos en condiciones normales de funcionamiento o condiciones típicas de abastecimiento de agua desde la bocatoma, complementada con las condiciones de operación por factores de influencia como podría serlo el nivel de turbiedad del agua, además de la forma de capacitación del agua que podría afectar la calidad del agua proveniente de la bocatoma, dependiendo del tipo de captación que se use (Lateral, de fondo o Chidral). Como punto inicial para una auditoria energética se necesitan los diagramas energéticos productivos. Es fundamental contar con una campaña de mediciones que complemente y verifique los datos existentes del desempeño energético. En este punto la preparación de un plan de trabajo para una recolección de datos técnicos específicos, con lo que se permita llevar a cabo actividades en sitios y planear las mediciones que sean necesarias [27].

4.3.3. Ejecución de la auditoría interna.

Esta hace referencia a una actividad independiente que tiene como lugar dentro de empresa, y que está encaminada a la revisión de la operación del sistema de gestión de energía. Se realiza con anterioridad a la auditoría externa con el fin de mantener el control permanente y más efectivo dentro de la empresa. La norma ISO 19011, recomienda una serie de actividades que se realizan con una secuencia definida como se indica en la figura 53. Finalmente, los resultados obtenidos de la auditoría interna se pueden suministrar de manera de informe y se usan para corregir o prevenir no conformidades específicas, cumplir uno o más objetivos del programa de auditorías, además de proporcionar elementos de entrada para la revisión por la dirección [27].



Figura 53. Procedimiento para realizar una auditoría interna al sistema de gestión de la energía (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos prácticos.” 2014).

4.4. Seguimiento y divulgación de indicadores.

Este se debe realizar con el fin de hacer un seguimiento y verificación del progreso de las mejoras en la eficiencia energética para cumplir con las metas. La información de los indicadores se puede tomar del sistema de medición de la eficiencia, o cuantificar a partir de las mediciones continuas de los parámetros de energía y producción. Cualquier formato de presentación de los reportes para el seguimiento de indicadores resulta aceptable, con la condición de que esto se advierta con antelación sobre la eficiencia energética y se indique las causas potenciales de las posibles desviaciones, con respecto a las metas establecidas. En la figura 54 se observa un ejemplo para la visualización de los datos y la estructuración de los reportes sobre eficiencia energética [27].

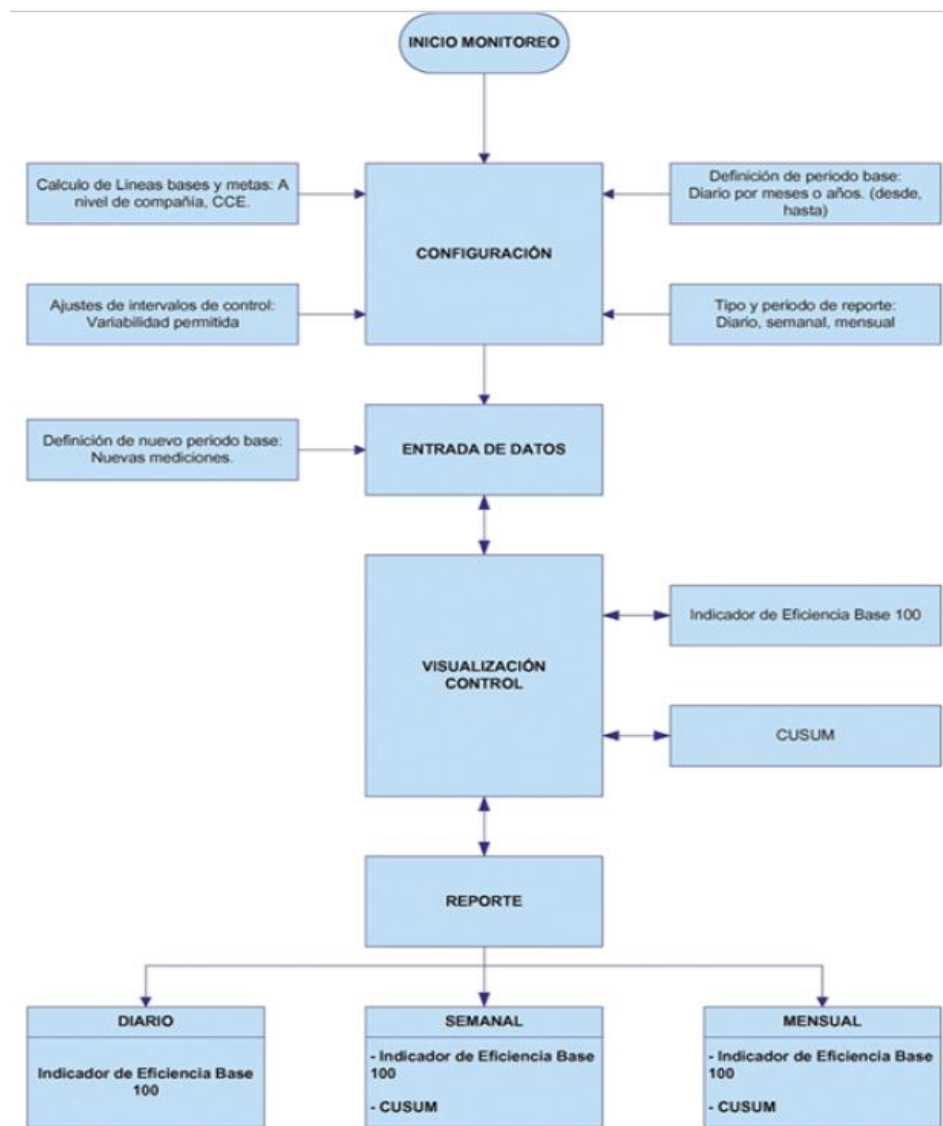


Figura 54. Estructuración de reportes sobre eficiencia energética (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos practicos.” 2014).

Según la figura 54 la responsabilidad de chequear los indicadores energéticos presentados por el líder o gestor energético, es responsabilidad de la gerencia de acueducto en este caso para EMCALI, junto con los líderes de procesos. Además, es función de los diferentes líderes de áreas del proceso, verificar los avances respecto a ahorros, seguimiento y análisis de los planes enfocados a ello [27].

4.5. Seguimiento y evaluación de buenas prácticas de operación, mantenimiento producción y coordinación.

El líder o gestor energético realizará informes mensuales que serán socializados en las reuniones de alta dirección para su valoración y aprobación por parte de líderes de los diferentes procesos y por la gerencia. En el caso de evaluaciones técnicas se podrá solicitar asesoramiento o contratación de un equipo externo especializado para tal fin, en función de los recursos financieros y humanos. Una vez finalizado la evaluación se deberán generar informes de evaluación al equipo responsable. Un ejercicio fundamental para la evaluación del desarrollo y los resultados alcanzados por el programa o estrategia de la gestión energética de la compañía es el seguimiento de los indicadores de desempeño energético.

4.6. Implementación de programas y proyectos de mejora.

Para esto se requiere un plan de acción para la implementación de programas y/o proyectos de mejora, este plan de implementación contendrá las siguientes actividades[27]:

- Proyecto de mejora: diseño de plan de acción para mejorar el impacto de los programas y/o proyectos con base en los indicadores de seguimiento de la eficiencia.
- Ejecución del proyecto: cumplir con las actividades del proyecto de mejora para los programas y/o proyectos.
- Validar: Verificar el nivel de cumplimiento de las propuestas de mejora en función del informe de evaluación.
- Comunicar programas mejorados: dar a conocer los programas mejorados a las partes interesadas.

Cabe mencionar que el líder o gestor energético presentara los proyectos identificados, los justificara técnica y económicamente ante la gerencia, con el fin de adquirir la aprobación y así elaborar el plan de implementación a corto, mediano y largo plazo [27].

4.7. Implementación del plan de entrenamiento y evaluación del personal.

Este tiene como objetivo mantener actualizado y calificado al personal clave para la operación del sistema de gestión energético. Esto con el objetivo desarrollar en ellos habilidades y conocimientos, para lograr llevar a cabo actividades diarias de monitoreo de desempeño e identificar las oportunidades de mejorar la eficiencia energética asociada a su alrededor. Este tipo de entrenamiento anteriormente descrito deberá ser

programado periódicamente cuando se empiecen a visualizar resultados y se dictará al técnico (líderes de los centros de costo) que está involucrado con los aspectos procedimentales de la implementación de los centros de costo energético con el fin de poder descubrir oportunidades de mejora en un formato [27].

El plan de socialización deberá estar orientado a tres tipos de estrategias:

Cambio de hábitos en el manejo y uso de la energía: hacen referencia a acciones permanentes que son dirigidas desde el nivel directivo hasta el operativo de la empresa, las cuales están orientadas a la sensibilización en el uso eficiente de la energía, por medio de campañas de divulgación de buenos hábitos, el reconocimiento de prácticas, concursos de creatividad e innovación y campañas por grupos operacionales [27].

Gestión del conocimiento: hace referencia a capacitaciones sobre las mejores prácticas de operación y mantenimiento de equipos, indicadores de eficiencia energética, vigilancia y seguimiento de las nuevas tecnologías eficientes en equipo de usos final, gestión de indicadores, talleres para la construcción, análisis, seguimiento y ajuste con base en resultados [27]. En este punto una capacitación principal para el personal es la eficiencia en grupos de bombeo, iluminación y selección de equipos para diferentes procesos.

Definición de las condiciones organizacionales: se refiere a los ajustes institucionales con definición de responsabilidades y funciones claras en los grupos ocupacionales de la ingeniería asociada a la producción, como también en las condiciones del ambiente laboral que contribuyan al logro de las metas de gestión de la energía [27].

La evaluación realizada a este plan de entrenamiento, se realiza a través del seguimiento de indicadores y el cumplimiento de metas por acción [27].

4.8. Chequeos de gerencia de acueducto.

Este apartado hace referencia a el compromiso de la gerencia de acueducto con el SGIE, para lo cual el gestor o líder energético suministrará la información necesaria para los chequeos, y los resultados de estos deben ser registrados formalmente. Los elementos para la revisión por la dirección deben incluir [27]:

- Indicadores de desempeño energético.
- El grado de cumplimiento de los objetivos y metas.
- Estado de las acciones correctivas y preventivas.
- Acciones de seguimiento de revisiones por la dirección.
- Resultados de auditorías internas y evaluaciones de cumplimiento con los requisitos legales aplicables que la organización suscriba.
- Cambios en los productos, actividades y servicios de la organización.
- Cambios en los requisitos legales aplicables y demás requisitos que la organización suscriba.

- Avances en la ciencia y tecnología en la temática.

Todo lo anterior indica que la revisión del SGIE debe realizarse a intervalos planificados, para asegurarse de su conveniencia, adecuación y eficacia continua. Además, como resultado de la revisión, se hace necesario definir las acciones correctivas, preventivas y de mejora cuando haya lugar a ellos, según la información de entrada y los recursos requeridos para su ejecución, los cuales quedan enunciados en el informe y acta del comité de energía. En la figura 55 se muestra un ejemplo de planificación de un programa de revisión por la alta dirección para el SGIE [27].

Entradas	Registros	Responsable	Frecuencia
Resultado de los indicadores de desempeño energético.	Informe y acta de comité	Líder o comité energético	Mensual
Revisión de la política energética.	Informe y acta de comité	Líder o comité energético	Anual
Resultado de las auditorias internas.	Informe de auditoria	Líder o comité energético	Semestral
Informes de las acciones correctivas y preventivas del SGIE.	Informe y acta de comité	Líder o comité energético	Mensual
Informes de seguimiento y evaluación a la gestión energética.	Informe y acta de comité	Líder o comité energético	Mensual
Evaluación del grado de cumplimiento de los objetivos y metas energéticas.	Informe y acta de comité	Líder o comité energético	Anual

Figura 55. Ejemplo de revisión gerencial al SGIE (tomado de Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos prácticos.” 2014).

4.9. Ajustes del sistema de gestión.

Este hace referencia al mejoramiento continuo, el cual debe estar acorde con las nuevas reglamentaciones energéticas del país, registrando todo cambio en los procedimientos o manual del SGIE. También es importante considerar y evaluar los impactos energéticos y las modificaciones al SGIE, como los son nuevos equipos o procesos que se diseñen para la empresa, considerando los costos operacionales durante todo el ciclo de vida. Finalmente se debe tener en cuenta que los objetivos energéticos relacionados con nuevos diseños, deben ser consistentes con la política energética de la organización y los aspectos financieros y de negocios definidos por la misma. Igualmente, registrar todas las decisiones de actualización, expansión, modificación de equipos y procesos que afecten el uso de energía [27].

4.9.1. Establecimiento de metas.

Estas solo podrán ser establecidas cuando se conoce el desempeño real de cada centro de costo de energía (CCE) con base en datos medidos. En la etapa de implementación del SGIE se pueden detectar y corregir algunos errores. Los trabajadores se acondicionarán a la rutina del monitoreo continuo de la eficiencia energética y se acumularán los datos de referencia para todos los CCE. Esta información se usará para determinar las metas de eficiencia energética individuales. Por tanto, es de gran importancia durante la etapa de implementación la capacitación del personal, la cual facilitara el desarrollo de habilidades que el permitan monitorear e interpretar los datos sobre el desempeño energético. De aquí, que, con un sistema para el seguimiento de los indicadores de eficiencia en funcionamiento, es posible establecer metas de desempeño, relacionadas con diferentes tipos de energéticos usados en la empresa, los recursos consumidos y los impactos ambientales generados. Así, las metas que se implementen deben ser comunicadas y explicadas a todo el personal involucrado en los CCE, quienes poco a poco incluirán en sus procesos acciones encaminadas al cumplimiento de dichas metas [27].

4.10. Evaluación de resultados.

Este tiene dos componentes uno actitudinal y otro de proceso, correspondiente a la auditoria. Permite analizar el panorama de la compañía referente a la mejora de la cultura energética del proceso, así como el componente cuantitativo mediante la entrega anual del informe de ahorros energéticos; incrementos en la eficiencia, impactos ambientales y productividad de la compañía durante el periodo evaluado. El desempeño que se obtiene en la interpretación de los indicadores de desempeño energético es una evaluación del rendimiento de las personas. Dentro de los centros de costos de energía, como un proceso orientado hacia un SGIE, se han establecido metas para el mejoramiento de la eficiencia. Por tanto, las metas establecidas por los CCE reflejan objetivos de mejoramiento del rendimiento que los trabajadores han aceptado, comprometidos con el incremento de la eficiencia energética de sus áreas y de la empresa. Un CGIE enfocado en las personas brinda un marco de trabajo técnico efectivo para la evaluación del desempeño de los trabajadores, además de los criterios en que normalmente recursos humanos hacen esta evaluación. Este proceso, pasado en la evaluación de desempeño de los trabajadores, puede ser una fuente adicional de aprendizaje empresarial [27].

4.11. Potenciales de ahorros identificados para incremento de eficiencia y continuidad del servicio.

4.11.1. Cableado “ecológico” en media tensión (13,2KV) con medición.

En este punto se identifica como posible mejora en cuestión externa el suministro de energía eléctrica. Se cuenta con dos circuitos en media tensión a 13,2kV que son: circuito

carrera 13 con numero de nodo 5297117 y circuito Siloé con numero de nodo 1183192, uno actuando como respaldo del otro. Ambos circuitos tienen su distribución por medio de líneas aéreas con conductores desnudos. Estos pasan por zonas de la planta que poseen mucha vegetación lo que ocasiona cortocircuitos que disparan las protecciones en media tensión (fusibles), dejando a la planta sin el suministro de energía eléctrica, para lo cual se tiene que solicitar ayuda al grupo de la gerencia de energía de EMCALI para el restablecimiento del servicio. Una solución planteada a este inconveniente es la instalación de cable ecológico, el cual es un tipo de cable encauchetado que está siendo instalado actualmente en diferentes circuitos de media tensión de Cali con el fin de reducir este tipo de problemas y así no atentar en contra de la fauna y la flora de la ciudad, además de mejorar la disponibilidad de los circuitos para tener una alta confiabilidad en la producción de agua potable. Cabe mencionar que además de esta mejora se requiere una medición por media tensión con el fin de poder ver si los circuitos están disponibles o en falla para prevenir la falta de suministro eléctrico. Este cambio de cableado y medición le corresponde a la gerencia de acueducto y alcantarillado debido a que está dentro de los predios de la planta, según información suministrada por parte de la gerencia de energía. Además, podría implantarse el cambio de recorrido del circuito Carrera 13 debido a que pasa por la zona de mayor vegetación de la planta, este cambio de recorrido podría generarse naciendo directamente desde la subestación san Antonio, puesto que el circuito carrera 13 nace de esa misma subestación al igual que el circuito Siloé. Con estas mejoras se tendría una mejor confiabilidad del sistema eléctrico en media tensión de la planta.

4.11.2. Cambio de nivel de tensión por media tensión de 13,2KV a 34,5KV.

También se identifica como posible mejora el aumento del nivel de tensión pasando de 13,2 kV a 34,5 kV con el fin de evitar el cobro en la factura de energía por el uso del “SDL” (sistema de distribución local) que proporciona un costo promedio de 19 millones de pesos mensuales, según el recibo de energía de la planta, el cual reasentaría una disminución en la facturación de aproximadamente un 23,5 %. Este proceso es muy viable puesto que se cuenta con la cercanía de la subestación “San Antonio”, de la cual podría salir un circuito exclusivo para la planta. Además, esta elevación en el nivel de tensión brindaría un cambio tecnológico en la estructura eléctrica interna de la planta con el fin de realizar una modernización de los equipos eléctricos de media tensión, puesto que por su tiempo de uso (90 años o más) ya son obsoletos. Esto generaría bienestar, tranquilidad y ayudaría mejorar las condiciones de seguridad para los trabajadores que se encuentran aledaños a estos equipos y a los que realizan maniobras para operarlos.

4.11.3. Incremento de la eficiencia en alumbrado interior y exterior, disminución del consumo en cargas de oficinas entre otros.

- Actualmente se cuenta con algunas zonas del alumbrado perimetral con iluminación ineficiente (mercurio, sodio, metal halide, entre otros), que debería ser reemplazada totalmente con iluminación de alta eficiencia (LED).
- Los aires acondicionados de oficinas o refrigeración podrían tener un programa de encendido y apagado lo cual ayudaría a disminuir su consumo. Teniendo antes una valoración de hermeticidad de oficinas y otras áreas para garantizar su eficiencia.
- En la salida del transformador de la subestación #1, se identificó un desequilibrio de cargas el cual debería ser corregido, una de las causas, es a la instalación de aires acondicionados en las mismas fases, por lo que se deberían tomar medidas para realizar un equilibrio de cargas. Esta deducción se determinó, puesto que se logró evidenciar por mediciones cuando se colocaban a funcionar únicamente estos equipos. Cabe mencionar que este desequilibrio es debido también a instalación de equipos que no son trifásicos, como lo es el caso de algunos motores de muestreo.
- Las neveras para conservación de alimentos de los funcionarios de la planta también podrían tener programación de encendido y apagado, para la reducción de su consumo de energía, son alrededor de 7 neveras.

4.12. Potenciales de ahorro por incremento en la eficiencia energética de equipos o sistemas asociados a la producción de agua potable.

Algunas de las posibles mejoras internas identificadas son: la modernización acompañada de un diseño y cálculos apropiados con el fin de tener instalados equipos que cumplan lo requerido para cada proceso, este es el caso de casi todos los equipos de la planta (transformadores, floculadores, motobombas, redes internas de baja tensión para circuitos ramales, actuadores neumáticos, motorreductores, entre otros), puesto que hay algunos que están desde que fue creada (1930), por lo cual se presentan algunas fallas inevitables por el desgaste de los equipos.

También se tienen transformadores cargados muy por debajo de su capacidad nominal, motores sin compensación de reactivos, provocando que la planta ya haya sido penalizada por este con el factor más alto (12), según la CREG 015 de 2018[28] y CREG 199 de 2019[29]. Además, se observa que en los procesos de potabilización de agua no se cuenta con mediciones de parámetros eléctricos que permitan dar un diagnóstico previo o actual de fallas o posibles fallas en la maquinaria de los procesos de producción.

- Para el manejo de electroválvulas neumáticas se usan compresores que se encienden alrededor de cada 10 min (análisis realizado internamente en el

desarrollo de este trabajo), esto podría cambiar si se revisaran las fugas presentes y se reubicaran los compresores cerca de los lugares en donde se usa el aire, también podría evitarse el uso de compresores cambiando los actuadores neumáticos por actuadores por eléctricos.

- Modernización total de la estación de bombeo Bellavista 2, debido a que todos los equipos principales (motobombas y arranques) fueron instalados desde la creación de la planta. En la actualidad ya se cuenta con motobombas de alta eficiencia con sus respectivos arranques que trabajando conjuntamente ayudarían a reducir el consumo de esta estación, puesto que por experiencia la estación no podrá salir de servicio porque es necesaria para el reemplazo de la estación de bombeo Bellavista 3 eventualmente.
- Para el caso de la sala de bombas de lavado podría evitarse el uso de las dos unidades de bombeo, una de 100 HP y otra de 75HP, las cuales son las encargadas de llenar el tanque de consumo interno de planta y lavado de filtros. El uso de estas dos bombas se podría evitar realizando la instalación de una tubería que comunique el tanque de consumo interno con la red acueducto saliente de la estación de bombeo Bellavista 3 o 2, esta tubería iría instalada con su respectiva válvula reguladora de presión controlada por un actuador eléctrico, el cual, sería gobernado por un sensor de nivel en el tanque.
- Para los casos de bombeo (Bellavista 2 y 3) no se cuentan con medidores de caudal por cada equipo para verificar su eficiencia individualmente, tampoco con medición de parámetros eléctricos de cada bomba para verificar su correcto funcionamiento o prevenir alguna posible falla. Se observan también algunos equipos fuera de servicio los cuales ayudarían a mejorar las condiciones de trabajo para otros. Este es el caso de la estación de Bellavista 3, que posee actuadores neumáticos deshabilitados en las salidas de las bombas, lo cual ocasiona que las válvulas check queden expuestas directamente a algunas presiones cuando se detiene el bombeo de la estación, esto ya ha ocasionado daños en las válvulas check. También se observan equipos electrónicos sin funcionamiento como: el Power monitor 3000 de Allen Bradley (monitor de energía) y el Hardy instruments Monitor Machine (equipo de monitoreo de vibraciones), el equipo Schneider Electric ION 7650 (equipo para medición de calidad de energía) que hasta el momento realiza mediciones erróneas en la corriente, por tanto, genera falsos datos en medición de potencia que es usada como referencia para el cálculo del costo de producción de agua.

- Mediante el desarrollo de este trabajo de profundización, la experimentación de mediciones y conexiones de los motores de la estación de bombeo bellavista 3 se lograron identificar los siguientes datos presentados en la tabla 21.

Unidad de Bombeo	Fase A [A]	Fase B [A]	Fase C [A]
Bomba 1	128,4	134,5	137,4
Bomba 2	129,4	135,6	137,7
Bomba 3	130,5	136,3	140
Bomba 4	130,3	136,7	139,8
Corriente Total	518,6	543,1	554,9
Diferencia	24,5	11,8	36,3

Tabla 21. Datos medidos para el funcionamiento de cada bomba de la estación de bombeo bellavista 3 (elaboración propia).

La tabla anterior muestra los valores de corriente por fase que tiene cada bomba al entrar en funcionamiento estable. Las fases A, B o C representan el barraje de alimentación principal de todas las bombas, estas indican el barraje al que está conectada cada fase de las bombas. Como se puede observar este tipo de funcionamiento genera un desbalance de 36,3 amperios máximo funcionando todas las bombas, de 11,8 amperios como mínimo y finalmente, se observa un desbalance de 24,5 amperios.

Luego de un análisis se logró identificar que este desbalance podría disminuir si se cambiaban de posición las fases de algunas bombas, es decir, las fases de las bombas conectarlas a otro barraje diferente al que estaban, obtenido así los datos mostrados en la tabla 22.

Unidad de Bombeo	Fase A [A]	Fase B [A]	Fase C [A]
Bomba 1	137,4	128,4	134,5
Bomba 2	129,4	135,6	137,7
Bomba 3	140	130,5	136,3
Bomba 4	130,3	136,7	139,8
Corriente Total	537,1	531,2	548,3
Diferencia	-5,9	17,1	11,2

Tabla 22. Datos medidos para el funcionamiento de cada bomba de la estación de bombeo bellavista 3 luego de cambio de conexión de fases de las bombas (elaboración propia).

Como se puede observar en la tabla 22 los cambios realizados solo fueron aplicados a las bombas 1 y 3 que fueron los siguientes: la fase C fue conectada al barraje A, la fase A fue conectada al barraje B y finalmente la fase B se conectó al barraje C. De igual manera se puede observar que el balance de corrientes es mucho menor que en el primer caso, llegando a un máximo de 17,1 amperios, es decir, cerca de un 47% menos que en el primer caso. Lo que se hizo aquí, fue una práctica de ensayo y error conectando las

fases de los motores a otros barrajes tratando de obtener como resultado el mismo sentido de giro para no afectar el funcionamiento de las bombas y la reducción máxima posible del desbalance de corrientes. Este ejercicio se realizó de esta forma, puesto que no se contaba con equipos (secuencimetro) para facilitar esta labor. Además se tuvo en cuenta que cuando entraran a funcionar grupos de bombas, también se presentará el menor desbalance posible obtenido como conclusión que: cuando se necesite solo una bomba podría funcionar cualquiera, cuando se necesiten dos bombas operando podrían funcionar la 1 y 2 o la 3 y 4. En caso de necesitar 3 bombas podrían funcionar la 1, 2 y 3 o la 2, 3 y 4. Cabe mencionar que esto no es una obligación o quiere decir que no se puedan operar de otra forma, solo se intenta mantener un equilibrio de las corrientes cuando operan estas unidades.

Del trabajo realizado anteriormente se obtiene que cuando trabajen:

- Las bombas 1 y 2 existirá un desbalance de máximo 8,2 amperios.
- Cuando funcionen las bombas 3 y 4 se presentará un desbalance de 8,9 amperios máximo.
- En caso de entrar a funcionar 3 bombas como podría ser el caso planteado de las bombas 1, 2 y 3 el desbalance máximo será de 14 amperios.
- Cuando entren en funcionamiento las bombas 2, 3 y 4 existirá un desbalance de 14,1 amperios máximo.

Los datos obtenidos si no se hubieran aplicado los cambios mencionados serian:

- Para las bombas 1 y 2 un desbalance de máximo 17,3 amperios.
- Para las bombas 3 y 4 un desbalance de 19 amperios.
- En caso de entrar a funcionar 3 bombas como podría ser el caso planteado de las bombas 1, 2 y 3 el desbalance máximo seria de 26,8 amperios.
- Cuando entren en funcionamiento las bombas 2, 3 y 4 existiría un desbalance de 27,3 amperios máximo.
- Actualmente las bombas de muestreo tienen un funcionamiento de 24 horas al día, en total son 4 bombas las que presentan este tiempo de funcionamiento. Implementar un horario de toma de muestras para el encendido y apagado de estas bombas ayudaría a reducir su consumo de energía eléctrica. Cabe aclarar que este tema no es de agrado para los operadores de la planta debido a que indican que el color de las muestras (entre otros factores) que cae dentro del laboratorio les da la posibilidad de tomar decisiones a tiempo para el correcto tratamiento del agua.

Este punto se puede contrarrestar debido a que en la bocatoma de la planta hay presente una persona encargada de realizar la toma de muestras, entre otras tareas. Este

trabajador podría alertar con mucha anterioridad del cambio de color del agua u otros factores, puesto que, el tiempo que tarda el agua en llegar desde la bocatoma a la planta es de alrededor de 30 minutos. También se podría implementar un sistema automático de medición de turbiedad en la bocatoma que haga encender las bombas de muestreo en la planta, cuando la turbiedad sobrepase cierto límite.

Este sistema automático también debería tener la posibilidad de trabajo manual en caso de que falle, es decir, si por alguna razón el sistema automático no envió la señal de encendido de toma de muestras para las bombas en la planta. En este caso el trabajador en la bocatoma o los mismos operadores podrían encenderlas de forma manual. Es de resaltar que el valor de la medición de turbiedad en la bocatoma deberá ser una señal visible tanto en sitio y como en la planta para que los operadores tengan este parámetro bajo cuidado. Incluso se podría generar una señal de alarma para determinados casos y tener un mayor control de esta.

- Cambio de floculadores antiguos y “nuevos”, debido a que los primeros están desde que la planta fue creada, y los segundos porque fueron seleccionados sin tener en cuenta que su trabajo sería con variador de velocidad, a un nivel de tensión muy por debajo del que realmente está especificado en su placa característica, esto provoca sobrecalentamiento, pérdidas por eficiencia, entre otros factores que afectan la vida útil de los equipos y la facturación de energía, puesto que tiene un tiempo de funcionamiento de 24 horas al día.
- Los transformadores ubicados en las subestaciones 1 y 4 están cargados a menos del 30% de su capacidad nominal lo que ocasiona pérdidas innecesarias y problemas de factor de potencia.
- Siendo las cargas asociadas a la producción las que más influencia tienen en la facturación de energía eléctrica de la planta, se plantea la posibilidad de autogeneración por medio de paneles solares instalados encima de los tanques 1 y 2, además existen otras zonas en donde podrían ser instalados, aumentando así la capacidad de generación de energía eléctrica. Actualmente la planta “Rio Cali” cuenta con un área disponible de 4000 metros cuadrados para la instalación de paneles solares libre de sombras (medición hecha en el desarrollo de este trabajo de profundización), con lo cual se podría llegar en un momento dado del día a autoabastecerse e incluso suministrar energía a la red. Este proyecto fue presentado al jefe de mantenimiento en el año 2020 con la ayuda de la empresa “EFFITECH”, con la colaboración de su representante Danny Zamudio, egresado de la universidad del Valle.

Mediante la tabla 20 donde se muestran los datos recolectados de las bombas de la estación de bombeo Bellavista #3 se pueden deducir las siguientes afirmaciones:

- La bomba #2 es la bomba más ineficiente de las 4, con un bombeo de 69 L/s, un consumo de 95,2KWh y un factor de potencia de 0,9186.
- La bomba #4 es la bomba que más energía reactiva consume, posee las corrientes de línea más altas en dos de sus fases y la que tiene los armónicos de corriente y tensión más elevados.
- Todas las bombas tienen un desequilibrio notable en las corrientes de línea que se ve reflejado en sus respectivos voltajes.
- La bomba #3 es la segunda con los valores más altos en armónicos de corriente y tensión, de igual manera es la bomba con valores de voltaje de línea más bajos, también posee las corrientes de línea más bajas en dos de ellas.

Mediante la tabla 10 que muestra los datos recolectados de la salida del transformador de la subestación #1 se pueden deducir las siguientes afirmaciones:

- Tiene un factor de potencia bajo (0,74).
- Sus corrientes de línea están completamente desequilibradas (108A, 96A y 86A).
- De igual forma tiene los armónicos de voltaje relativamente altos (7,34, 5,77 y 6,4) en la frecuencia de 300 Hz.
- El transformador que alimenta esta carga (27,61 KWh) tiene una potencia aparente de 320 KVA lo cual hace que el transformador sea ineficiente debido a la carga tan baja que maneja. Cabe mencionar que de este transformador está alimentando el motor de lavado de estructuras que tiene una potencia de 30 KW, pero este entra en funcionamiento una vez al mes (durante la medición realizada no entro en funcionamiento), de igual manera sigue representado una carga muy baja para el transformador.

4.13. Potenciales de ahorro por variabilidad operacional.

4.13.1. Línea Base de consumo.

Este tipo de ahorro se puede alcanzar analizando y estabilizando la operación, debido a que para valores similares de producción se presentan consumos similares de energía eléctrica [27]. De acuerdo con la figura 15, al trabajar con los valores ubicados por debajo de la línea base [27], se obtiene la línea meta que se muestra en la figura 56.

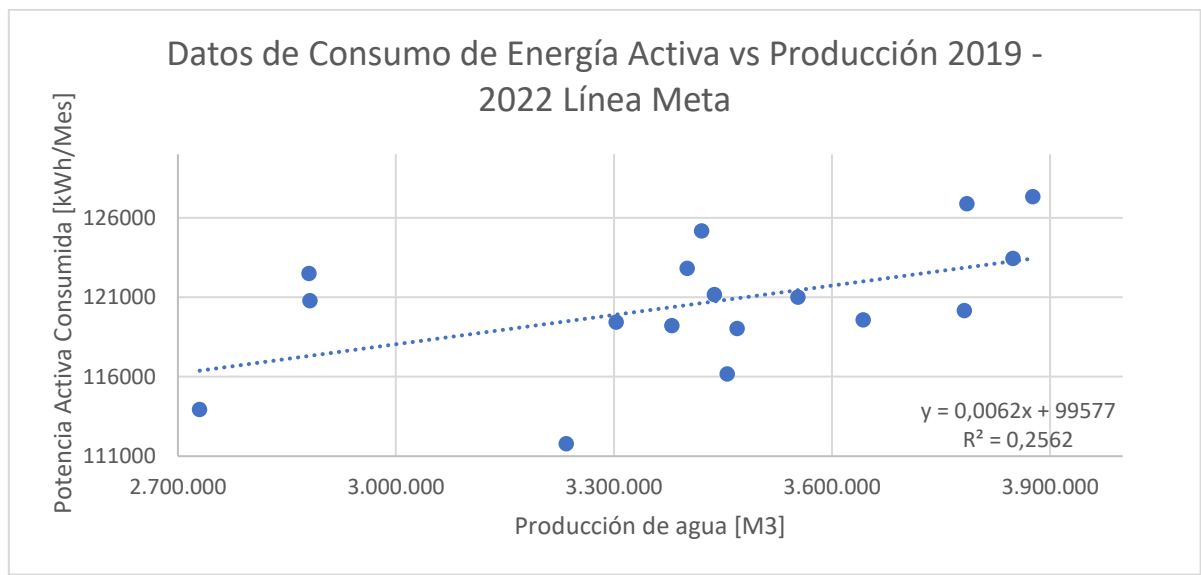


Figura 56. Regresión lineal para obtener la línea meta (Elaboración propia).

Con los valores de intercepto con el eje “Y” de la figura 15 y 56 se puede obtener el potencial de ahorro de energía el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación [27]:

$$\text{Potencial de ahorro} = E_{\text{nap}(\text{base})} - E_{\text{nap}(\text{meta})} \text{ [27].}$$

De donde se obtiene que este valor es:

$$\text{Potencial de ahorro} = 103308 \text{ KWh/Mes} - 99577 \text{ KWh/Mes}$$

$$\text{Potencial de ahorro} = 3731 \text{ KWh/Mes}$$

Teniendo en cuenta que el promedio del consumo mensual de la planta tomado como referencia para este trabajo es de 126692,79 KWh/Mes, el potencial de ahorro calculado representaría el porcentaje de ahorro que se muestra a continuación:

$$\% \text{ahorro} = \frac{3731 \text{ KWh/Mes}}{126692,79 \text{ KWh/Mes}} * 100 = 2,945\%$$

Lo anterior significaría un ahorro de \$604,76 por cada KWh en la facturación, según el recibo del mes de julio de 2022 (Anexo C), lo cual sería un ahorro en dinero de \$2.256.359,56 (dos millones doscientos cincuenta y seis mil trescientos cincuenta y nueve pesos con cincuenta y seis centavos) al mes, lo que en el año representaría un ahorro de \$27.076.314,7 (veintisiete millones setenta y seis mil trescientos catorce pesos con siete centavos), simplemente por un ahorro en el consumo de energía activa de del 2,945%. En la figura 57 se puede observar la variación de la producción y consumo de energía activa en el tiempo.

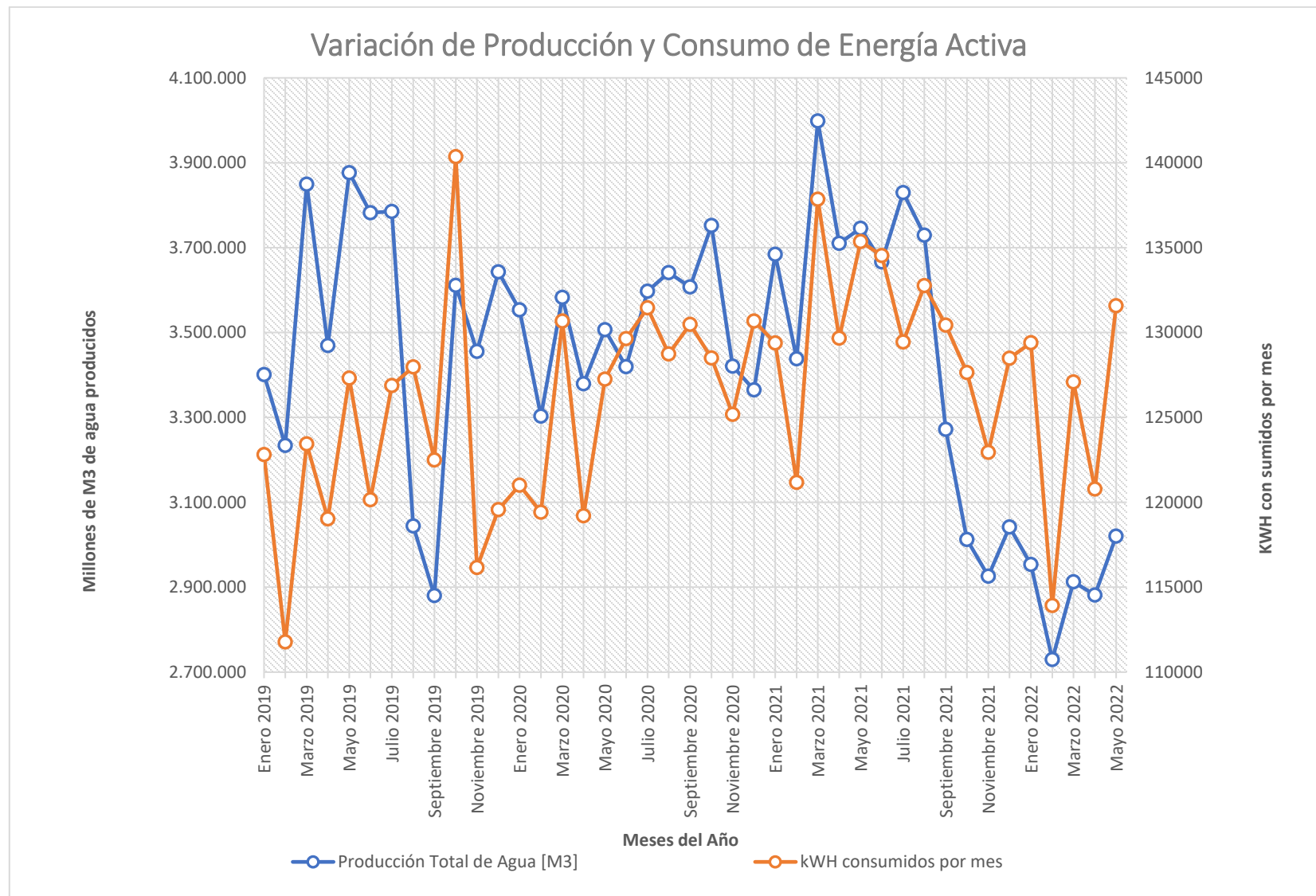


Figura 57. Variación de producción y consumo de energía activa en el tiempo (Elaboración propia).

De la figura anterior se puede observar que en los meses de enero de 2019 y marzo del mismo año se presentó un consumo de 122813 KWh/mes y 123443 KWh/mes respectivamente, pero en el mes de enero se obtuvo una producción de 3.401.062 M³ y en el mes de marzo una de 3.849.321 M³, es decir, 448.259 M³ de más con casi la misma cantidad de energía consumida. De igual forma se puede ver que en el mes de abril del 2019 se logró obtener una mayor producción de agua comparada con el mes de enero usando menos cantidad de energía para su producción. Y de igual forma se presenta en otros meses de cada año mostrado en la gráfica, lo que indica que es posible la producción de agua potable reduciendo el consumo de energía eléctrica.

De igual manera según la figura anterior se puede observar que en 2 de los 4 años graficados marzo de 2019 y 2021 presentan una de las mayores producciones de agua. En octubre de 2019 se presentó el mayor consumo (140352KWh/Mes) en casi 4 años, seguido de marzo del 2021 con un consumo de 137848 KWh/Mes, con una producción de 3.611387 M³ y 3.998.125 M³ respectivamente.

Según el IDEAM [30] la ciudad de Cali cuenta con los meses secos de Enero, febrero y de junio a septiembre, también que cuenta con los meses de lluvias de Marzo a mayo y de octubre a diciembre. Con la información anterior y según los datos almacenados en la tabla mostrada en el anexo B, se puede concluir que el promedio más alto de producción de agua está entre los meses de marzo a mayo (meses de lluvia) con una producción de 3.610.753 M³ y el promedio más bajo esta entre los meses de enero y febrero (meses secos) con una producción de 3.372.975 M³. De igual forma se puede observar que la mayor producción de agua o máxima producción se presenta entre marzo a mayo (meses de lluvia) con una producción de 3.876.448 M³. Finalmente, se puede evidenciar que el mínimo de producción se presenta en los meses de junio a septiembre (meses secos) con una producción de 2.880.283 M³.

De igual manera se puede observar que incluso en meses secos como enero de 2020 se logró una alta producción de agua potable y un bajo consumo de energía eléctrica, lo que indica que la planta podría ser incluso muy eficiente en temporadas secas dependiendo de las condiciones del río Cali.

En la tabla 23 se presentan los costos de venta por KWh/Mes de energía eléctrica y costos de venta del metro cubico de agua de cinco empresas prestadoras de estos servicios (EMCALI, CELSIA, CEO, ACUAVALLE, EMQUILICHAO), con el objetivo de hacer una comparación del precio de venta la publico residencial para un estrato 3 en todos los casos del año 2023. Los recibos tomados para la elaboración de esta tabla se muestran en el anexo C.

Empresa /Descripción	KWh/Mes	M ³
EMCALI	\$ 784,01	\$ 2.754,90
CEO	\$ 975,04	
CELSIA	\$ 831,59	
ACUAVALLE	-	\$ 1.871,37
EMQUILICHAO	-	\$ 1.231,22

Tabla 23. Datos de precios de venta de energía eléctrica y agua de EMCALI, CELSIA, CEO, ACUAVALLE Y EMQUILICHAO (elaboración propia).

De la tabla anterior se puede observar que EMCALI posee el valor más alto en el precio de venta del M³, pero a su vez el valor mas bajo en el precio de KWh/Mes. El valor tan elevado en el precio del agua podría deberse al tratamiento de aguas residuales en ciertas zonas de la ciudad de Cali y al bombeo del agua ya sea residual o tratada.

4.13.2. Indicador de consumo IC.

Mediante los datos obtenidos en la tabla del anexo B se obtiene la figura 58. Si en el eje “Y” se ubica el cociente entre los KWh/Mes consumidos y los metros cúbicos producidos en el mismo mes, se obtiene el cociente que se conoce como el indicador de consumo “IC” [27]. Este indicador, usa la línea base energética obtenida en la figura 15, es decir, se grafica la función obtenida en ese caso (con las unidades correspondientes KWh/Mes VS Producción). Luego se procede a graficar las unidades medidas en cada periodo teniendo en cuenta que los valores en el eje “Y” serán los mencionados anteriormente.

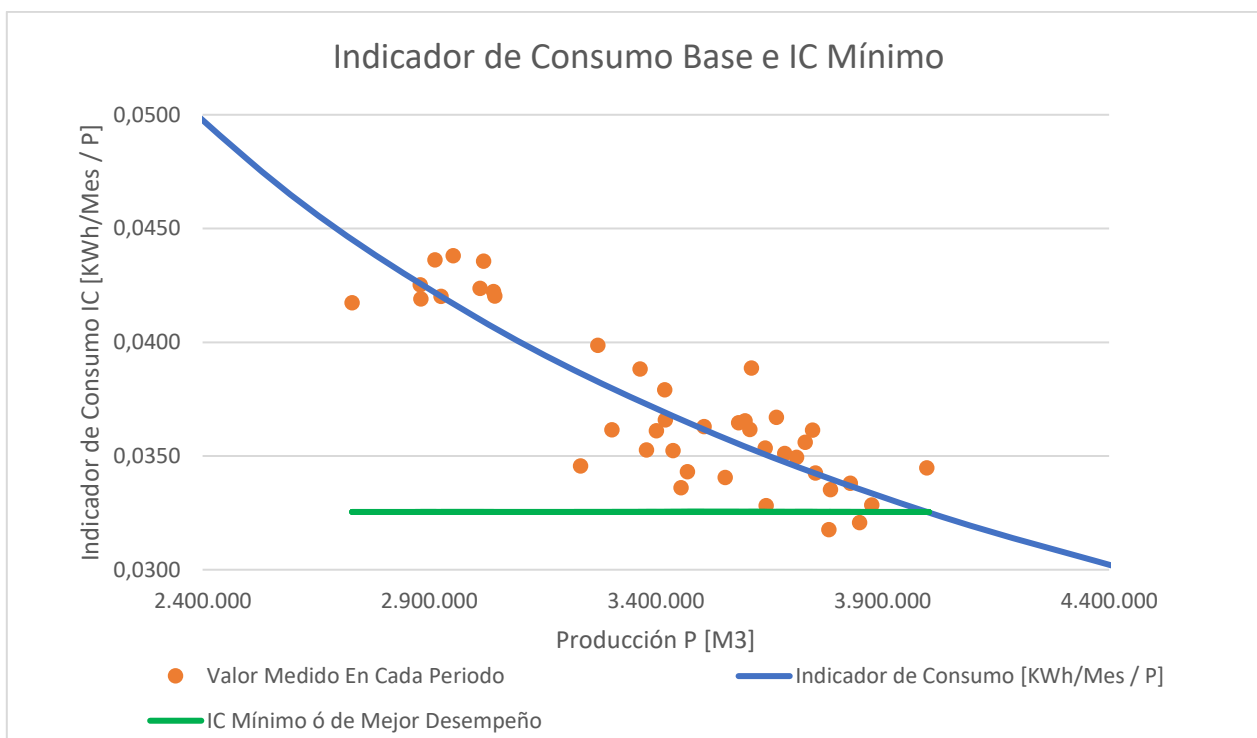


Figura 58. Indicador de consumo Base e IC Mínimo en función de la producción mensual de agua, IC Base (Elaboración propia).

De la figura anterior se puede ver que la planta “Rio Cali” será más eficiente si su producción es mayor a aproximadamente 3.200.000 de M3 de agua al mes, puesto que para valores inferiores el costo de producción por cada metro cúbico de agua aumentará el consumo de energía en 0,002 kWh/Mes/M3 aproximadamente.

De igual manera se puede observar que para producciones de agua entre 3.200.000 M3 a 3.600.000 M3 hay mayor cantidad de puntos por debajo de curva lo que indica que es posible producir estas cantidades a un menor costo. En este sentido se debería entrar a evaluar las condiciones necesarias para llegar a este punto y lograr así este objetivo, teniendo en cuenta que el bombeo por Bellavista 2 es más costoso, pero a su vez en ocasiones obligatorio, lo que afirma que se debe realizar una inversión de modernización en esta estación de bombeo y realizar la evaluación de la autogeneración con energía solar con el fin de reducir aún más el costo de producción de agua potable.

En este sentido, si se cumple solamente con la producción por debajo de la curva de la gráfica 86 el ahorro en kWh/Mes/M3 ya no sería de 0,002 kWh/Mes/M3 si no de 0,006kWh/Mes. Si este valor anterior se multiplica por el promedio de producción de agua (3.504.528M3) de la planta en el año 2021, mostrado en la tabla 9 se tendría un valor de 21027,168kWh/mes que al multiplicarlos por el costo mencionado anteriormente del kWh/mes daría un valor de \$12.716.390,1 (doce millones setecientos diez y seis mil trescientos noventa pesos con un centavo), lo cual en un año representaría la suma de \$152.596.681 (ciento cincuenta y dos millones quinientos noventa y seis mil seiscientos ochenta y un pesos).

Finalmente, en el rango de producción de 3.600.000 M3 a 4.000.000 M3 hay más puntos por encima de la curva, a pesar de esto se podrían entrar a evaluar las condiciones de operación que generan estos puntos debajo de la curva y saber si son controlables para implementarlos con lo cual se podría llegar a tener un ahorro anual de \$228.895.022 (doscientos veintiocho millones ochocientos noventa y cinco mil veintidós pesos).

El “IC Mínimo” se obtiene de evaluar en la ecuación base en valor máximo de producción de agua, este representa el punto más eficiente que puede obtener la planta en el proceso de producción de agua según los datos históricos registrados[27].

Este indicador brinda información acerca del requisito energético unitario para un proceso, por lo tanto, es posible hacer comparaciones con respecto a estándares nacionales o internacionales para los mismos procesos, productos o equipos. También puede ser la base para desarrollar programas de optimización y mejora energética, en busca de la reducción del indicador[27].

4.13.3. Indicador de eficiencia base 100.

Para este indicador se utiliza la línea base obtenida en la figura 15, es decir, la ecuación obtenida mediante la regresión lineal. En primer lugar, se evalúa el valor de la producción en M^3 al que se le quiere aplicar el indicador, es decir, se evalúa en la ecuación de línea base mencionada anteriormente, el valor arrojado será llamado energía de tendencia E_T y el valor real que se consumió para alcanzar esta producción será llamado Energía medida o consumida en el proceso E_m . El valor del indicador estará dado por la siguiente ecuación [27]:

$$\text{Indicador base 100} = \frac{E_T}{E_m} * 100. [27]$$

Este indicador presentará 3 casos:

Caso 1. Indicador Base 100 < 100: en este caso el denominador será mayor que el numerador. Esta condición indica que existe un mayor consumo de energía que el consumo de tendencia y el indicador presentara una reducción porcentual respecto al valor 100 o estabilidad energética. En este sentido, entre menor es el valor del indicador representará un caso de sobre consumo o ineficiencia para el periodo evaluado [27].

Caso 2: Indicador Base 100 > 100: este es el caso contrario al anterior, es decir, que el numerador será mayor al denominador y el indicador será mayor a 100, lo que representa un caso de eficiencia o de menor consumo para el periodo evaluado [27].

Caso 3. Indicador Base 100 = 100: en este caso el numerador y denominador son iguales, lo que implica que el proceso consumió la misma cantidad de energía que la de tendencia cuando se evalúa en el periodo evaluado, lo que plantea un estado de estabilidad energética sin sobreconsumos o reducciones [27].

Este indicador permite comparar el comportamiento de los resultados de consumo energético medidos en un proceso durante un periodo operativo respecto de consumo energético base o de tendencia del mismo, tomando como referencia el cumplimiento de un valor a dimensional 100, además este indicador puede generar alertas en cuanto a variaciones positivas o negativas de la eficiencia del proceso [27].

4.13.4. Indicador gráfico de tendencia o de sumas acumulado CUSUM.

En este indicador se utiliza la ecuación de la línea base obtenida en la figura 15. Con este indicador se puede determinar cuantitativamente la magnitud de energía que se ha dejado de consumir, es decir, el ahorro o la cantidad de energía que se ha sobre consumido, es decir, las pérdidas, ambos datos hasta el momento en que se actualiza el indicador gráfico. Este indicador se representa mediante la siguiente ecuación[27]:

$$CUSUM = [(E_{medida} - E_{tendencia})_i + (E_{medida} - E_{tendencia})_{i-1}]$$

Donde:

E_{medida} : Representa el consumo de energía medido.

$E_{tendencia}$: representa el consumo de energía en el periodo seleccionado, calculado a partir de la ecuación de la línea base.

i : Representa el periodo actual evaluado.

$i-1$: Representa el periodo inmediatamente anterior evaluado.

Los valores mayores a cero indican sobreconsumos energéticos o pérdidas, lo que implica una tendencia a la ineficacia.

Los valores menores a cero indican ahorros energéticos o ganancias, lo que implica una tendencia a la eficiencia.

Este indicador determina la magnitud del ahorro o de pérdidas producidas en un período actual respecto a la referencia, además sirve para evaluar la efectividad de las medidas de energía de ahorro a mediano y largo plazo, como se puede observar en la figura 59.

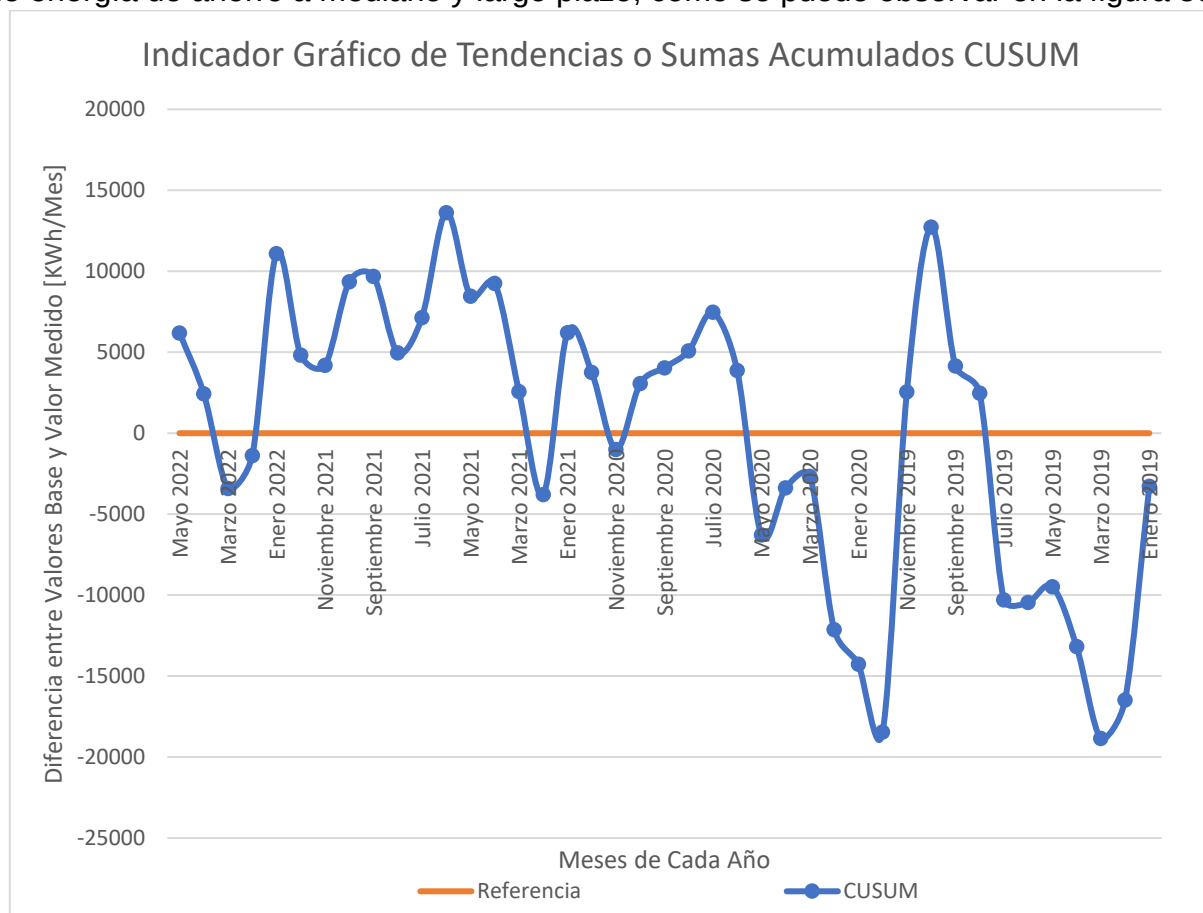


Figura 59. Indicador CUSUM en función del tiempo (Elaboración propia).

4.14. Identificación de las variables de control.

Mediante el diagrama de energía VS producción se pueden identificar variables de control costo cero debido a que se tienen diferentes consumos de energía para una misma producción de agua. **Una de estas variables de control sería el bombeo por Bellavista 2 el cual ocasiona un incremento en el consumo de energía debido a que las bombas son menos eficientes que las que están instaladas en Bellavista 3.**

Los puntos de producción característicos se obtienen a partir de la elaboración de un histograma de producción, este tiene como intervalos los valores más típicos de producción. En la figura 60 se puede observar el histograma correspondiente a los 41 datos de producción que se lograron obtener de la planta “Rio Cali”, aquí se puede evidenciar que el 80% del total de las muestras de producciones características, son valores que contienen un conjunto de periodos productivos donde se asume la misma cantidad de agua tratada con diferentes consumos de energía.

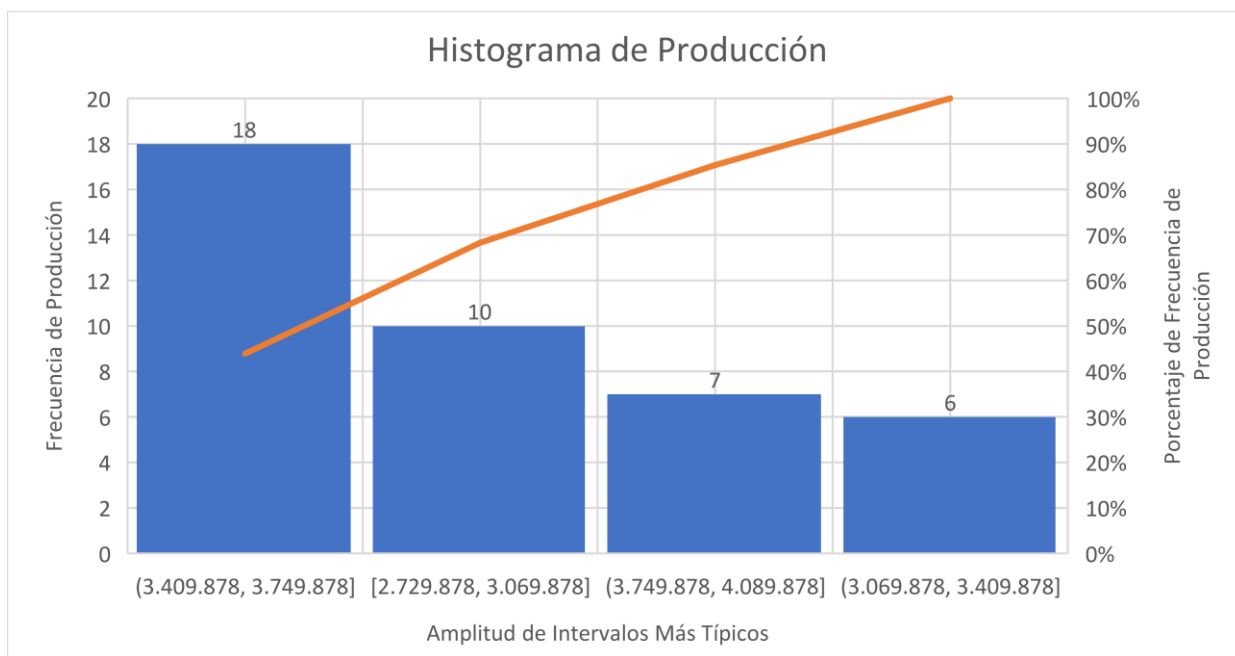


Figura 60. Histograma de Intervalos más típicos o frecuentes de producción (Elaboración propia).

Según el histograma de producción obtenido el 80% de los datos está comprendido aproximadamente entre 2.729.878 M3 y 3.749.878 M3, pero el rango comprendido entre 2.729.878 M3 y 3.069.878 M3 muestra sus datos por encima de la línea base definida según se puede observar en la figura 15, por lo que se interpreta como un rango ineficiente de producción, además se presenta poca concentración de datos por lo que se descarta para ser tenido en cuenta. Sin embargo, el rango comprendido entre 3.069.878 M3 y 4.089.878 M3 presenta un 75,61% de los datos, con un total de 31 datos de 41 por lo que el promedio puntual de producción se fija en 3.579.878 M3.

Las zonas en las que se identificaran las variables que son medibles para tener en cuenta son:

- Bombeo por Bellavista 2: la variable que es posible controlar es el bombeo, es decir, los M³ bombeados.
- Bombeo por Bellavista 3: la variable que es posible controlar es el bombeo, es decir, los M³ bombeados, además de las variables medidas con el equipo prestado por la Universidad de Valle las cuales se dejaran con valores base para futuras mediciones, que son: Energía Activa, Reactiva, Energía total consumida, Factor de potencia, Corriente por fases, voltajes de línea, distorsión armónica total de voltajes y corriente en un lapso de 7 días.
- Consumo de energía activa de la subestación #1: en este caso son posibles controlar son las medidas que se tomaron con el equipo prestado por la Universidad de Valle las cuales se dejaran como valores base para futuras mediciones, estas son: Energía Activa, Reactiva, Energía total consumida, Factor de potencia, Corriente por fases, voltajes de línea, distorsión armónica total de voltajes y corriente en un lapso de 7 días.

Mediante la elaboración de este trabajo de profundización se implementó en Excel un archivo programado en el cual se han incluido y valorado todos los indicadores mencionados anteriormente para la implementación en la planta de tratamiento de agua potable Rio Cali, el cual servirá como primera plataforma de implementación del sistema de gestión de energía, este se complementará con alguna otra información necesaria posiblemente adquirida de instrumentación. Este archivo permite ingresar nuevos datos de energía eléctrica consumida, producción de agua, entre otros parámetros con el fin de obtener todos los indicadores mencionados en este trabajo.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra las bondades del archivo de Excel que se logró implementar para tener de una forma automática los indicadores mencionados y otros parámetros que ayudan a el análisis del comportamiento de la producción y consumo de energía para el tratamiento de agua potable en la planta “Rio Cali”.

En la figura 61 se puede observar los parámetros eléctricos que se pueden ingresar en el archivo de Excel con el fin de realizar los cálculos para los indicadores correspondientes. El primer paso es ingresar los datos solicitados en la tabla que tiene como nombre: “registro de datos históricos planta Rio Cali”, y seguido se presiona el botón guardar información, después en la tabla que tiene como nombre: “resultado de indicadores” se muestran los resultados de los indicadores como lo son: indicador de consumo (IC), base 100, CUSUM, respecto a la energía total consumida y la producción de agua. También se tiene el botón borrar último dato el cual permite borrar el último dato ingresado en la tabla. Cuando se refiere al último dato, se hace referencia a la última fila

almacenada en la tabla de base de datos. Finalmente, con el botón ir a base de datos se podrá ir a la tabla donde se han almacenado todos los parámetros con el fin de realizar los cálculos ya mencionados.

Registro de Datos Historicos Planta "Rio Cali"

Año	
Mes	
Energía Activa Total [KWh/Mes]	
Energía Reactiva Total [KvarH/Mes]	
Producción de Agua (M3)	
Bombeo Por Bellavista 2 (M3)	
Bombeo por Bellavista 3 (M3)	
Energía Activa Bellavista 2 [KWh/Mes]	
Energía Reactiva Bellavista 2 [KvarH/Mes]	
Energía Activa Bellavista 3 [KWh/Mes]	
Energía Reactiva Bellavista 3 [KvarH/Mes]	
Energía Activa Sub#1 [KWh/Mes]	
Energía Reactiva Sub#1 [KvarH/Mes]	
Energía Activa Sub#3 [KWh/Mes]	
Energía Reactiva Sub#3 [KvarH/Mes]	

Resultado Indicadores

IC	
Base 100	
CUSUM	

Borrar
Ultimo dato

Guardar
Información

Ir a Base
de Datos

Figura 61. Ingreso de datos para cálculo indicadores (Elaboración propia).

En la figura 62 se puede observar cada uno de los parámetros guardados para los respectivos calculos, cada fila representa el mes respectivo de determinado año. En esta tabla se realizan los cálculos y las evaluaciones respectivas para verificar el cumplimiento o no cumplimiento de cada indicador mes a mes de cada año. Esta información queda aquí almacenada con el fin ser consultada posteriormente, además, tiene la explicacion de algunos datos que se deben ingresar para el calculo de los indicadores. Esta tabla se actualiza cada vez que se ingresa otro dato del mes siguiente. A su vez, se actualizan todos los calculos y graficas presentes en el archivo cuando se actualzan los datos correspondientes en cada hoja.

io Cali														
Datos Calculados Para Consumo General de La Planta														
Evaluación Individual	Evaluación Indicador Base	Evaluación CUS	CUSL	Indicador Base	Kwh Mes. Producción M3 Sp "Y. del"	IC Meta	Formula para IC Base	Fecha para Gráfica	Línea Base KWh/M	Valores Mensuales de Línea Base KWh	Promedio KWh/M	Límite Máximo KWh/Mes	Límite Mínimo KWh/Mes	
No Cumple	No Cumple	No Cumple		6.199	93,8922	0.0426	0.0525	0.0409	Mayo 2022	120.542		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	No Cumple		2.428	101,5214	0.0419	0.0525	0.0425	Abril 2022	120.810	120.779	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	Cumple		-3.007	92,6480	0.0420	0.0525	0.0422	Marzo 2022	120.823		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-1.272	100,7384	0.0417	0.0525	0.0405	Febrero 2022	120.799	119.959	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		15.093	95,1211	0.0428	0.0525	0.0417	Enero 2022	120.896		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		4.833	94,3780	0.0422	0.0525	0.0407	Diciembre 2021	120.491		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		4.180	99,9673	0.0420	0.0525	0.0420	Noviembre 2021	120.812		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		9.339	96,7917	0.0424	0.0525	0.0410	Octubre 2021	120.493		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		9.488	96,8834	0.0399	0.0525	0.0383	Septiembre 2021	120.230		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		4.901	96,8300	0.0356	0.0525	0.0344	Agosto 2021	120.296		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		7.110	97,6238	0.0338	0.0525	0.0337	Julio 2021	120.963		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		13.810	94,8471	0.0397	0.0525	0.0389	Junio 2021	120.872		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		8.493	96,9633	0.0361	0.0525	0.0362	Mayo 2021	120.460		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		9.255	99,8416	0.0349	0.0525	0.0342	Abril 2021	120.167		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		2.077	94,3780	0.0345	0.0525	0.0325	Marzo 2021	120.095		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-3.784	104,2718	0.0352	0.0525	0.0307	Febrero 2021	120.344	121.188	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		6.211	98,9240	0.0351	0.0525	0.0347	Enero 2021	127.892		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		3.708	96,3120	0.0388	0.0525	0.0374	Diciembre 2020	120.834		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-990	100,8402	0.0360	0.0525	0.0369	Noviembre 2020	120.228	120.179	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		3.001	97,9100	0.0342	0.0525	0.0342	Octubre 2020	120.448		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		4.000	97,3879	0.0362	0.0525	0.0353	Septiembre 2020	120.478		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		5.096	95,1815	0.0354	0.0525	0.0351	Agosto 2020	120.750		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		7.407	96,9180	0.0365	0.0525	0.0364	Julio 2020	120.410		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		3.873	97,3638	0.0379	0.0525	0.0369	Junio 2020	120.221		120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	Cumple		-5.285	99,4418	0.0363	0.0525	0.0362	Mayo 2020	120.801		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-3.082	105,6542	0.0353	0.0525	0.0373	Abril 2020	120.951	119.211	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	Cumple		-2.035	97,4200	0.0365	0.0525	0.0355	Marzo 2020	120.315		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-12.718	100,8231	0.0362	0.0525	0.0380	Febrero 2020	120.439	119.420	120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-14.250	100,6452	0.0341	0.0525	0.0358	Enero 2020	120.113	121.410	120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-18.440	100,6106	0.0338	0.0525	0.0351	Diciembre 2019	120.718	119.587	120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	No Cumple		2.052	100,8027	0.0330	0.0525	0.0368	Noviembre 2019	120.487	116.187	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		12.732	100,8621	0.0389	0.0525	0.0353	Octubre 2019	120.054		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	No Cumple		4.101	100,0940	0.0425	0.0525	0.0420	Septiembre 2019	120.880	120.480	120.467	144.889	107.926
No Cumple	No Cumple	No Cumple		2.475	100,6834	0.0420	0.0525	0.0408	Agosto 2019	120.787		120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-10.282	101,4125	0.0335	0.0525	0.0340	Julio 2019	120.671	120.879	120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-10.450	107,8834	0.0318	0.0525	0.0340	Junio 2019	120.448	120.138	120.467	144.889	107.926
Cumple	Cumple	Cumple		-9.480	107,3396	0.0328	0.0525	0.0324	Mayo 2019	120.280		120.467	144.889	107.926

Registro de Datos

Base de Datos

Bellavista 2

Bellavista 3

Línea Base

Desviación Estandar

Línea Meta

Variación de Consumo Y P ...

Ingreso Pendiente de Línea Base

Cálculo Prom. Producción de Agua

Cálculo de Prom. Energ. Activa Consumida

Cálculo de Des. Energ. Activa Consumida

Cálculo Límite Máximo

Cálculo Límite Mínimo

Máxima Producción de Agua (M3)

Ingreso Ecuación de Línea Base

Ingreso Pendiente de la ecuación de Línea Base que se calcula

Ingreso la Energía no suadada a la producción de la ecuación de Línea Base

Figura 62. Tabla de base de datos (Elaboración propia).

En la figura 63 se puede observar la variación del consumo de energía eléctrica cuando se bombea por Bellavista 2. Esta gráfica se actualiza cada vez que se ingresa un nuevo dato.

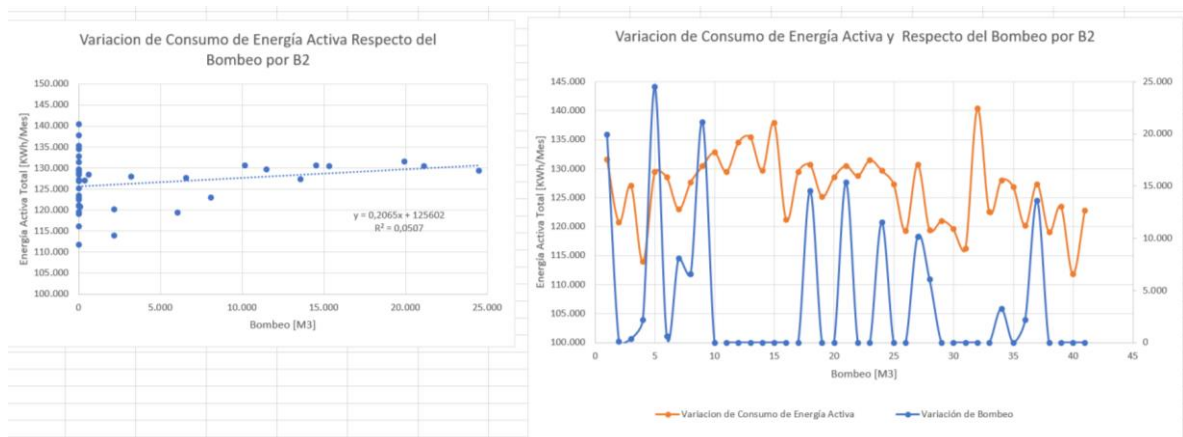


Figura 63. Variación de la energía eléctrica respecto al bombeo por Bellavista 2 (Elaboración propia).

En la figura 64 se puede observar la variación del consumo de energía eléctrica cuando se bombea por Bellavista 3. Esta gráfica se actualiza cada vez que se ingresa un nuevo dato.

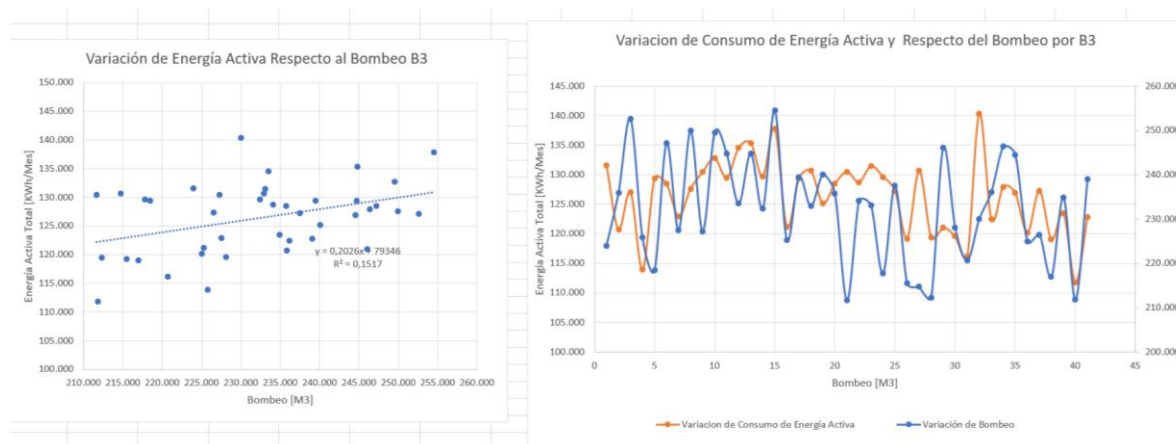


Figura 64. Variación de la energía eléctrica respecto al bombeo por Bellavista 3 (Elaboración propia).

En la figura 65 se puede observar la regresión lineal realizada por Excel luego de tener todos los datos de producción y consumo de energía eléctrica. Con los valores arrojados en esta grafica se llenan los datos de la hoja de base de datos de la figura 62, con el objetivo de que los valores calculados sean los reales. Esta gráfica se actualiza cada vez que se almacenan nuevos datos.

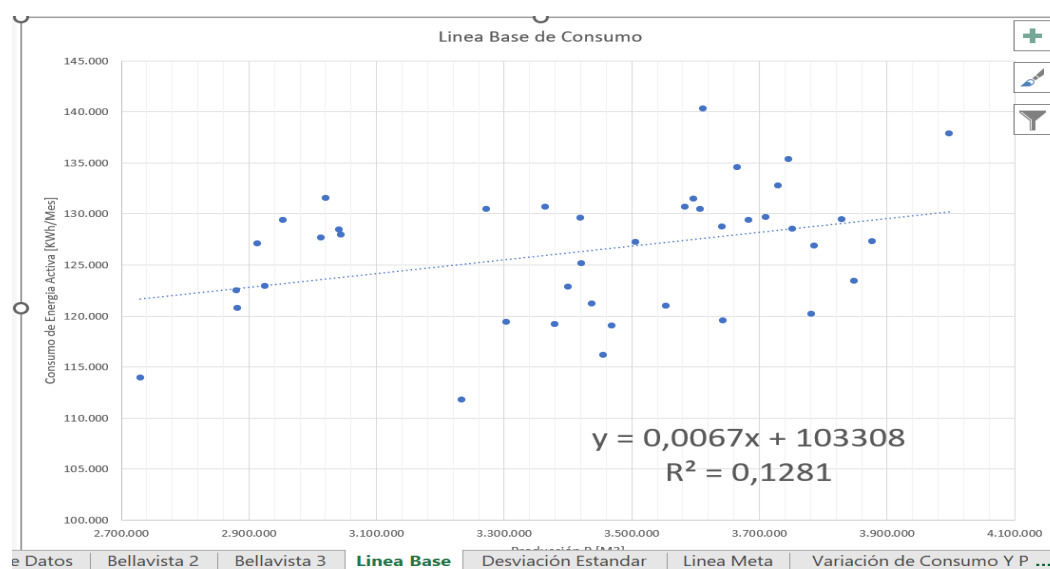


Figura 65. Línea base de consumo del total de la energía consumida en toda la planta (Elaboración propia).

En la figura 66 se puede observar el límite mínimo y máximo o rango en el que los datos ingresados pueden estar, para ser tenidos en cuenta en el cálculo de los indicadores. En caso de que algún dato quede por fuera de este rango deberá ser descartado para el cálculo. Este gráfico se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros a la base de datos.

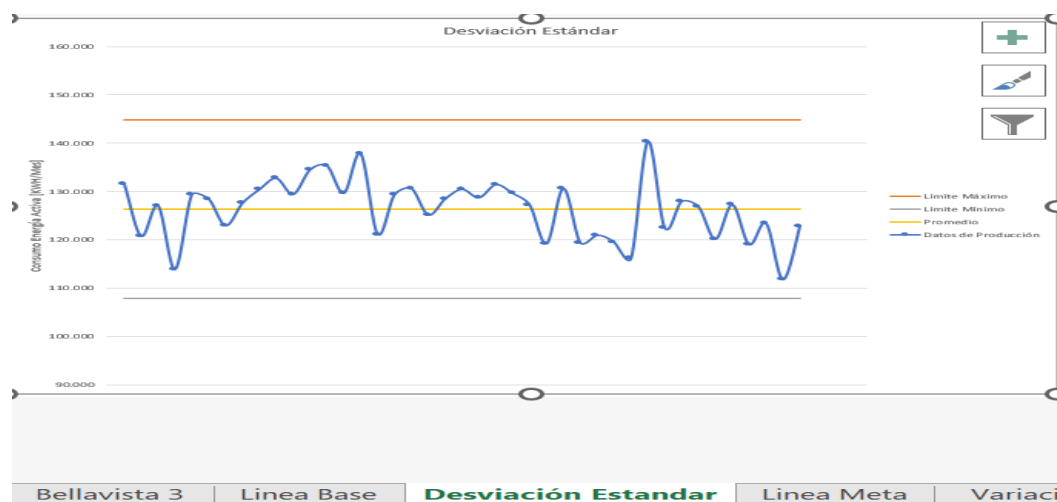


Figura 66. Desviación estándar del total de los datos ingresados (Elaboración propia).

En la figura 67 se puede observar la regresión lineal realizada por Excel luego de tener todos los datos de producción y consumo de energía eléctrica que se encuentran por debajo de la línea base de la figura 65. Este se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros a la base de datos.

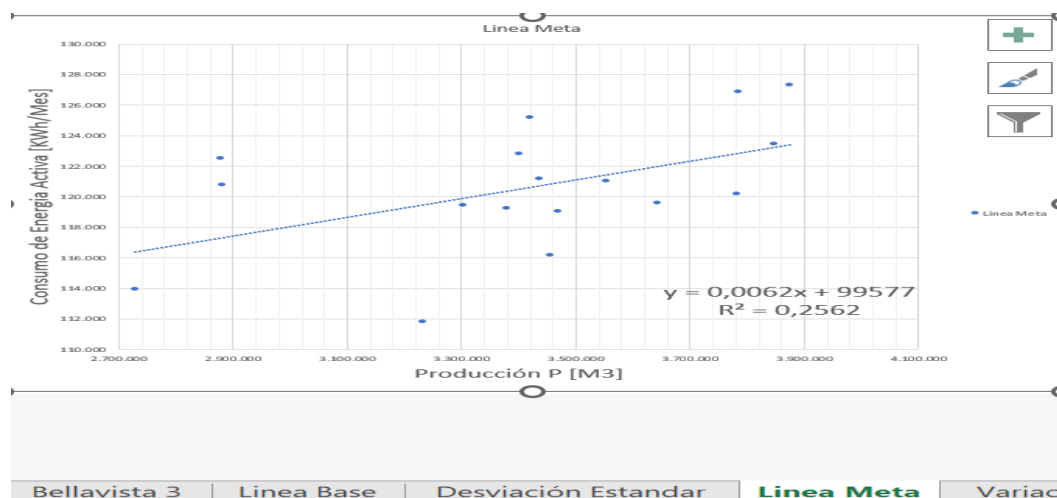


Figura 67. Línea meta del total de la energía consumida en toda la planta (Elaboración propia).

En la figura 68 se puede observar la variación del consumo de energía eléctrica total y la producción por cada mes de los años respectivos según los datos almacenados en la base de datos. Esta gráfica se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros en la base de datos.

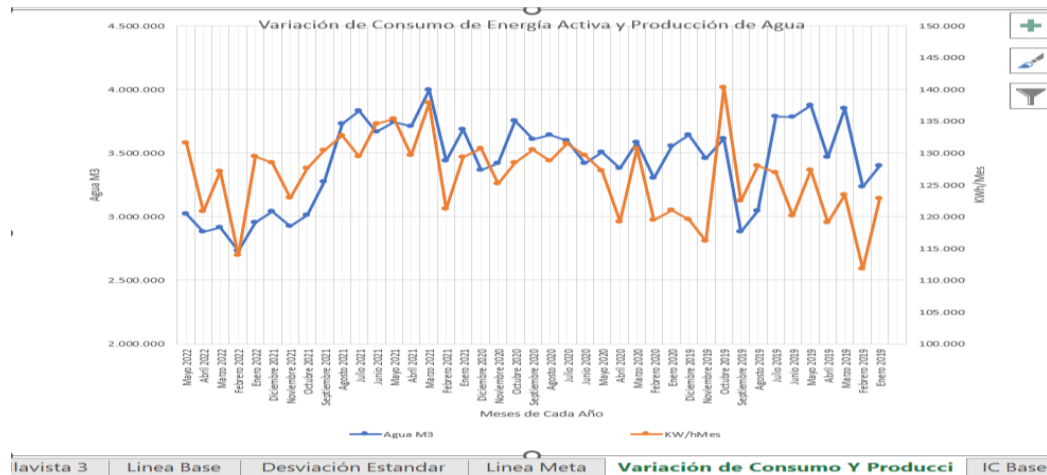


Figura 68. Variación de la energía eléctrica y producción por periodo de tiempo (Elaboración propia).

En la figura 69 se puede observar el indicador de consumo base e indicador de consumo mínimo según los datos ingresados a la base de datos. Este se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros a la base de datos.

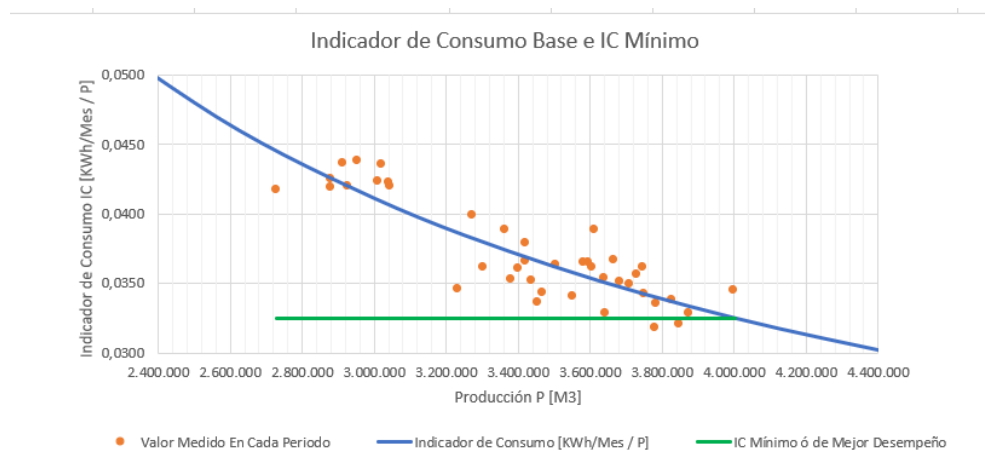


Figura 69. Indicador de consumo base y mínimo (Elaboración propia).

En la figura 70 se puede observar el indicador de consumo base según los datos ingresados a la base de datos. Este se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros a la base de datos.

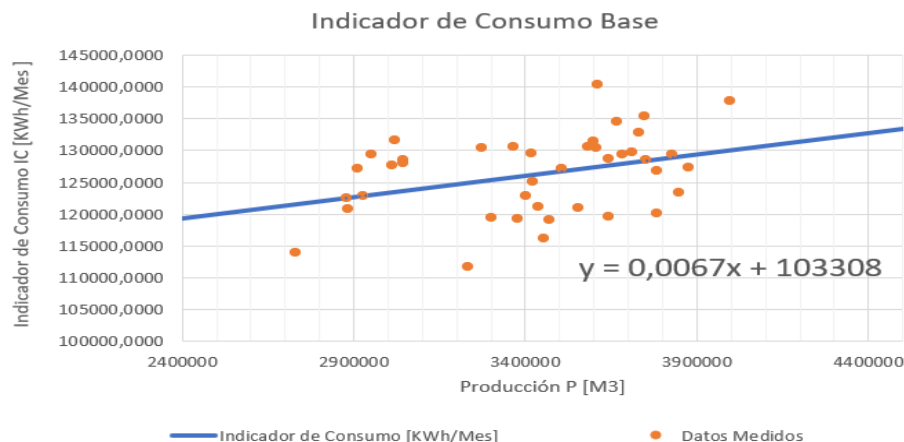


Figura 70. Indicador de consumo base (Elaboración propia).

En la figura 71 se puede observar el indicador grafico de tendencias o sumas acumulados CUSUM según los datos ingresados a la base de datos. Este se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros a la base de datos.

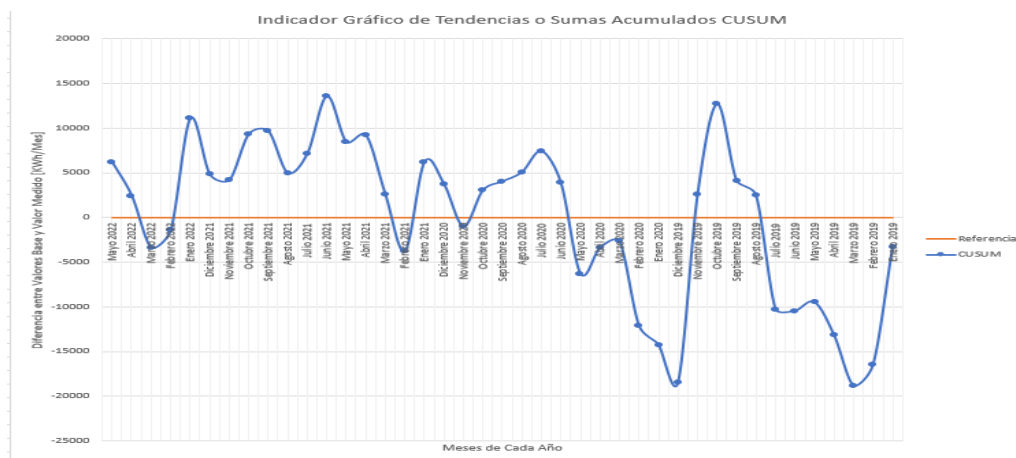


Figura 71. Indicador gráfico de tendencias o sumas acumulados CUSUM (Elaboración propia).

En la figura 72 se puede observar el histograma de producción según los datos ingresados a la base de datos. Este se actualiza cada vez que se ingresan nuevos parámetros a la base de datos.

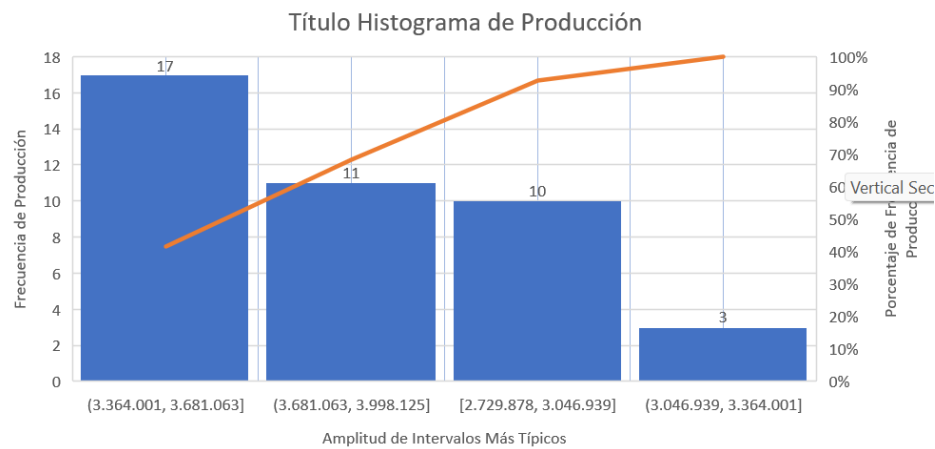


Figura 72. Histograma de producción (Elaboración propia).

Adicional a esto se implementó otro archivo de Excel, con la información de todas las cargas que están presentes en el proceso de producción de agua potable de la planta con el fin de facilitar la consulta de equipos instalados. También se implementó una hoja de cálculo de banco de condensadores para los motores más grandes presentes en la planta.

5. CONCLUSIONES

- Se determinó que, la planta de tratamiento de agua potable Rio Cali, logrará disminuir el consumo de energía eléctrica para la producción de agua potable, mediante la implementación de esta propuesta metodológica, además, se logrará tener una mayor disponibilidad y fiabilidad del sistema eléctrico en media y baja tensión de la planta.
- Se estableció que, es necesaria la instalación de medidores de variables eléctricas, medidores de caudal, entre otros, en todos los procesos de producción de agua potable, debido a que con esto se logrará tener una visión más amplia del estado actual de los equipos, de tal forma, que se podría saber si están siendo eficientes o no. Además, de tener la posibilidad de prever posibles fallos y programar mantenimientos en tiempos adecuados, evitando así salidas de servicio de los equipos que no están programadas. Con esto se dejaría atrás el actual tipo de mantenimiento dominante basado en trabajos correctivos.
- Se encontró que, los circuitos de media tensión (Siloé y Carrera 13) que alimentan la planta Rio Cali no son confiables debido al recorrido que presentan (propenso a fallas y que se encuentra en distribución), lo cual podría mejorar definitivamente si se realiza la instalación del cableado ecológico para ambos circuitos, además de obtenerlos de forma exclusiva por su cercanía a la subestación San Antonio en donde ambos están presentes.
- Se identificó que, gran cantidad de equipos antiguos que aún están funcionando en la planta "Rio Cali" son causantes del alto consumo de energía eléctrica y de la baja eficiencia que tiene la misma, por tanto, sería ideal realizar una inversión teniendo en cuenta el costo beneficio que esta representaría, donde se reflejaría el retorno de la inversión a corto o mediano plazo. Cabe mencionar que esta modernización deberá tener en cuenta cálculos y diseños óptimos para el proceso que se pretenda mejorar.
- Se encontró que, las zonas de mayor consumo de energía eléctrica en la planta Rio Cali son: la estación de bombeo Bellavista #3 y la salida por baja tensión de la subestación #1, de aquí que las variables de control definidas y demás aportes en este trabajo se implementaron esencialmente en estos dos procesos.
- Se evidenció que, en la estación de bombeo Bellavista #3, la bomba #2 es la bomba más ineficiente de las 4, con un bombeo de 69 L/s, un consumo de 95,2KWh y un factor de potencia de 0,9186. La bomba #4 es la bomba que más energía reactiva consume, posee las corrientes de línea más altas en dos de sus fases y la que tiene los armónicos de corriente y tensión más elevados. Todas las

bombas tienen un desequilibrio notable en las corrientes de línea que se ve reflejado en sus respectivos voltajes. La bomba #3 es la segunda con los valores más altos en armónicos de corriente y tensión, de igual manera es la bomba con valores de voltaje de línea más bajos, también posee las corrientes de línea más bajas en dos de ellas.

- Se comprobó que, debido a la conexión de los motores de bellavista #3 y para mantener un balance de corrientes era necesario que las unidades de bombeo funcionaran de la siguiente forma: cuando se necesite solo una podría funcionar cualquiera, cuando se necesiten dos bombas operando podrían operar los grupos 1 y 2 o los grupos 3 y 4. En caso de necesitar 3 bombas podrían funcionar los grupos 1, 2 y 3 o los grupos 2, 3 y 4. Cabe mencionar que esto no es una obligación o quiere decir que no se puedan operar de otra forma, solo se intenta mantener un balance de corrientes cuando operan estas unidades.
- Se concluyó que el desbalance de corrientes que mostro la medición en la salida por baja tensión de la subestación # 1, radica básicamente en la instalación de cargas monofásicas o bifásicas que podrían ser reemplazadas por cargas trifásicas, como lo es el caso de motores de muestreo.
- Se definió que, la iluminación de baja eficiencia, los desequilibrios de cargas en las líneas, el encendido de los aires acondicionados, la programación de encendido de las bombas de muestreo y la baja carga instalada a la salida de los transformadores de las subestaciones 1 y 4, son un factor a mejorar urgentemente en la planta.
- Se comprobó que, uno de los grandes potenciales de ahorro de energía eléctrica de la planta "Rio Cali" sin duda se presentaría con la implementación del llenado del tanque de consumo interno, por medio de la conexión del mismo con la salida de la estación de bombeo Bellavista # 3, por medio de una válvula reguladora de presión controlada por un actuador el cual sería gobernado por un sensor de nivel. Esta idea se plantea en este trabajo aclarando que saldrían de operación 2 motores: uno de 100 HP y otro de 75HP. Es de aclarar que, la tubería a la que se sugiere realizar esta conexión ya es de distribución para consumo en la ciudad, por lo que, cuando los motores de bellavista 3 no están funcionando, esta tubería queda con la presión que ejerce el tanque de bellavista.
- Se evidenció que, mediante los datos obtenidos que se podría llegar a tener un ahorro de energía eléctrica del 2,945% mensual, el cual representa un valor de \$2.256.359,56 (dos millones doscientos cincuenta y seis mil trescientos cincuenta y nueve pesos con cincuenta y seis centavos), esto haciendo la comparación entre la línea base y la línea meta.

- Se identificó que, la planta “Rio Cali” tendrá su mayor eficiencia al tener una producción de agua potable mayor o igual a los 3.200.000 M³. De igual forma se puede afirmar que al cumplir con los requisitos necesarios para la producción por debajo de la curva del indicador de consumo IC, se podría llegar a un ahorro de energía eléctrica de 21.027 kWh/Mes lo que representaría un ahorro anual de \$152.596.681 (ciento cincuenta y dos millones quinientos noventa y seis mil seiscientos ochenta y un pesos).
- Se estableció que, por medio de la implementación del indicador base 100 se podrían generar alertas respecto a variaciones ya sean positivas o negativas de la eficiencia del proceso.
- Se determinó que, mediante la implementación del indicador CUSUM, se lograría obtener información acerca de la energía que se consumió de más o se dejó de consumir, respecto a la referencia, en el proceso de producción de agua potable.

Anexo A.

En este anexo se presentan las fotografías de las placas características de algunas de las cargas presentes en la planta de tratamiento de agua potable “Rio Cali”, en la descripción de cada fotografía se encontrará a que equipo se hace referencia. Seguido se podrá observar una tabla con la totalidad de los datos encontrados en cada caso, con algunos datos deducidos y otros calculados (en colores diferentes), la descripción o aclaración de estos se encontrará al final del anexo, cabe mencionar que esta recopilación de datos se realizó en el desarrollo de este trabajo de investigación puesto que no se contaba con inventario de equipos actualizado y real, que además recopilará los datos de placa de estos equipos.

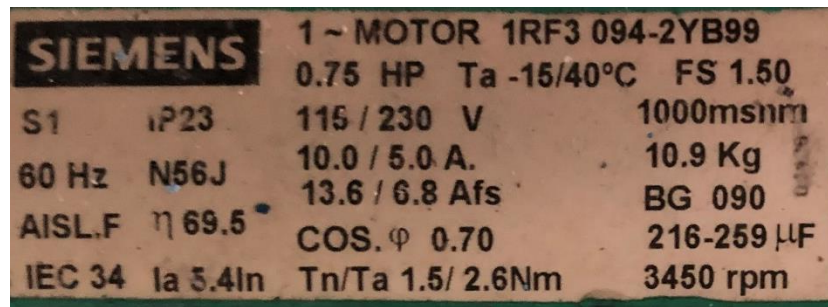


Figura 73. Placa característica bomba de muestreo 1 agua cruda bocatoma.



Figura 74. Placa característica bomba de muestreo 2 agua cruda bocatoma.



Figura 75. Placa característica bomba de lavado desarenadores.

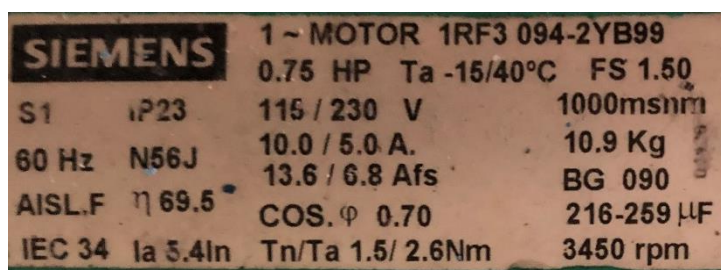


Figura 76. Placa característica bomba de muestreo 1 agua cruda planta.



Figura 77. Placa característica bomba de muestreo 2 agua cruda planta.

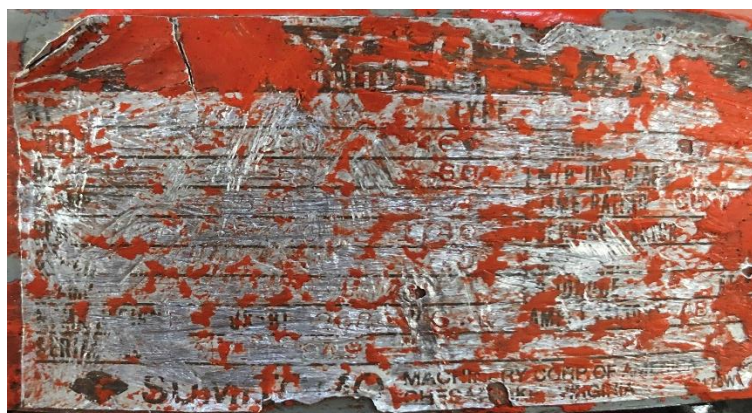


Figura 78. Placa característica motor CAL 1.



Figura 79. Placa característica motor CAL 2.

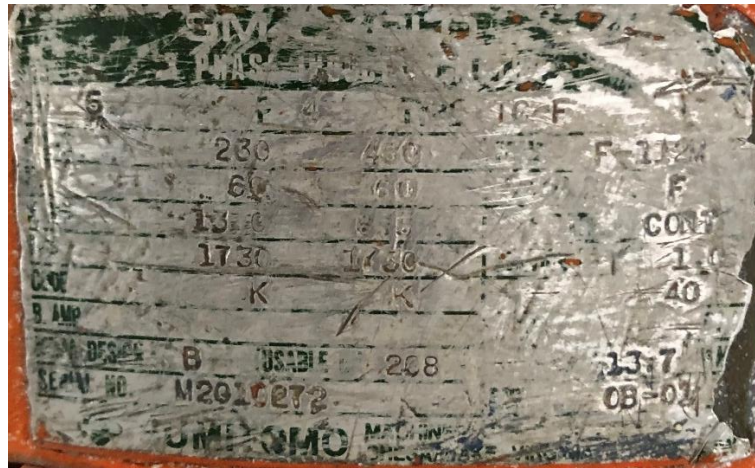


Figura 80. Placa característica motor CAL 3.



Figura 81. Placa característica motor CAL 4.

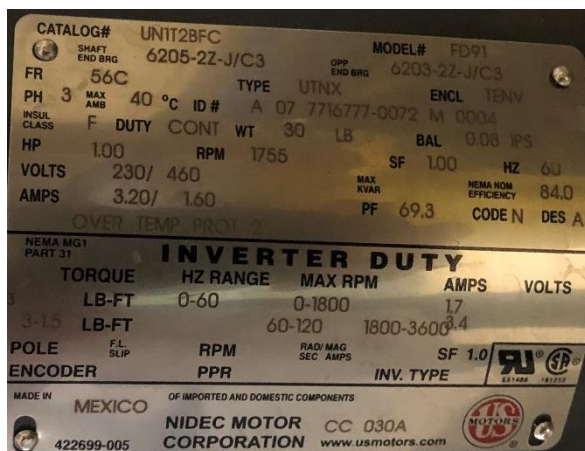


Figura 82. Placa motor y Variador, dosificación de coagulante # 1.

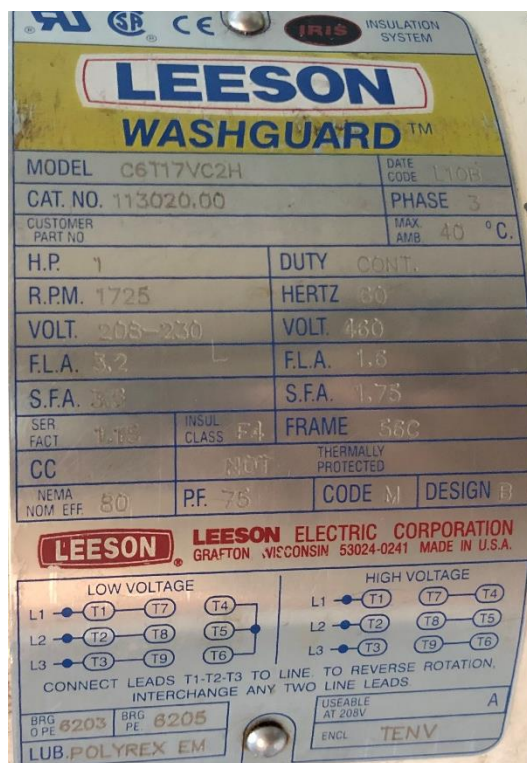


Figura 83. Placa motor y Variador, dosificación de coagulante # 2.

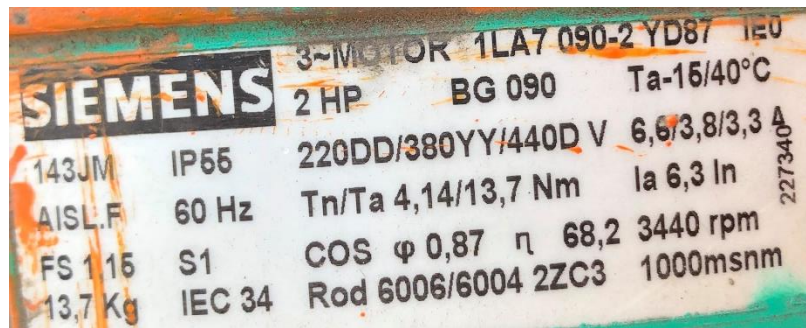


Figura 84. Placa característica bomba de muestreo 1 agua coagulada.

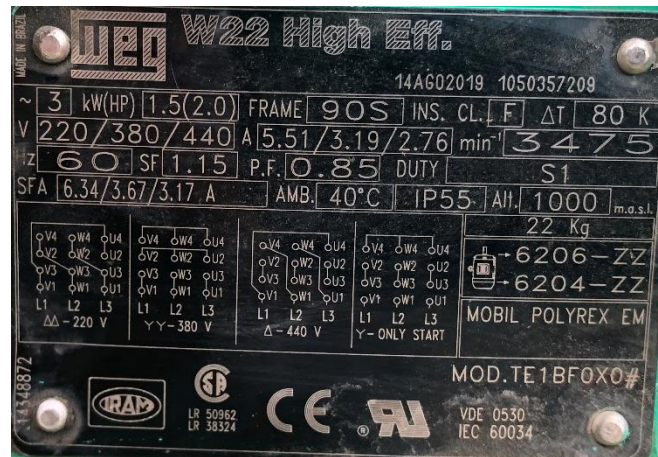


Figura 85. Placa característica bomba de muestreo 2 agua coagulada.

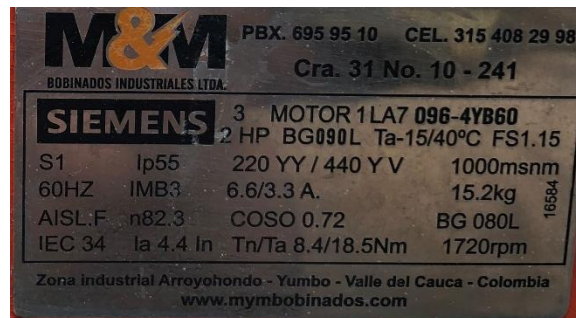


Figura 86. Placa característica motor tipo 1 de línea 1 y 2 de floculación.

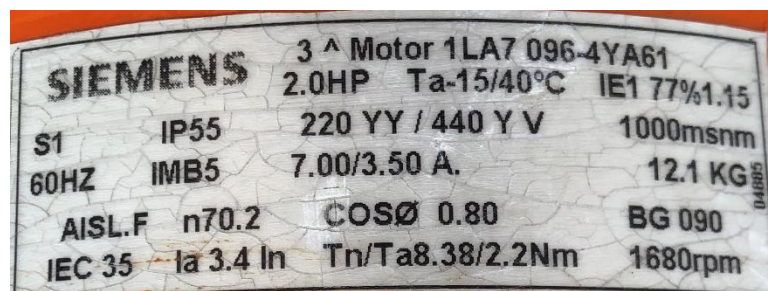


Figura 87. Placa característica motor tipo 2 de línea 1 y 2 de floculación.

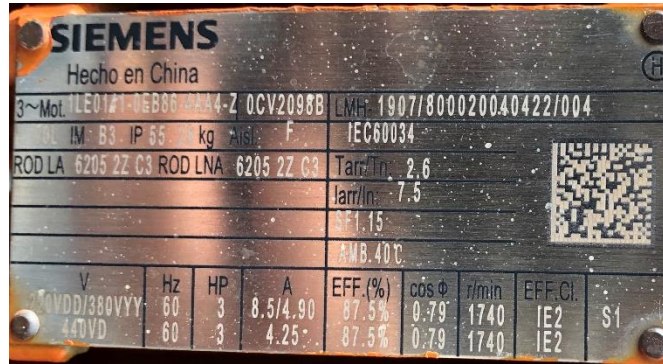


Figura 88. Placa característica motor tipo 3 de línea 1 y 2 de floculación.



Figura 89. Placa característica variador tipo 1 de floculación.

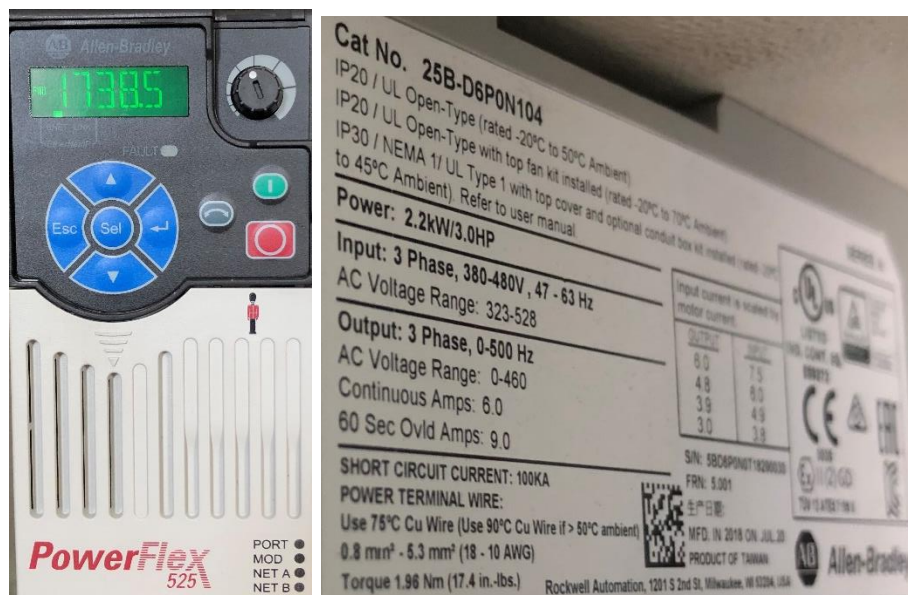


Figura 90. Placa característica variador tipo 2 de floculación.



Figura 91. Placa característica motor tipo 1 de línea 3 de floculación.

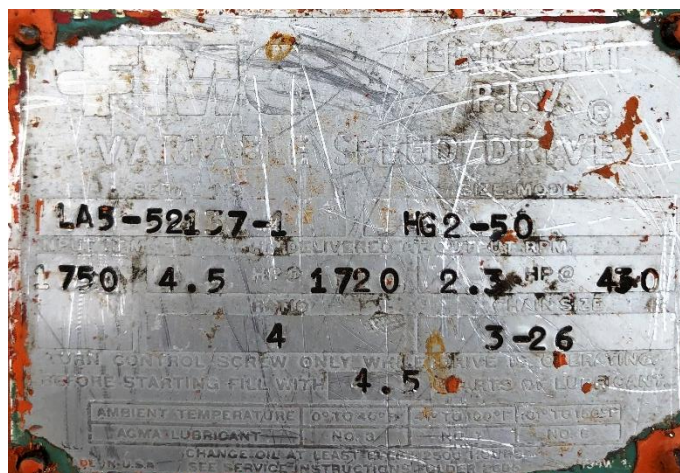


Figura 92. Placa característica motor tipo 2 de línea 3 de floculación (reductor).



Figura 93. Placa característica motor lavado de estructuras.



Figura 94. Placa Característica Actuador eléctrico Tipo 1.

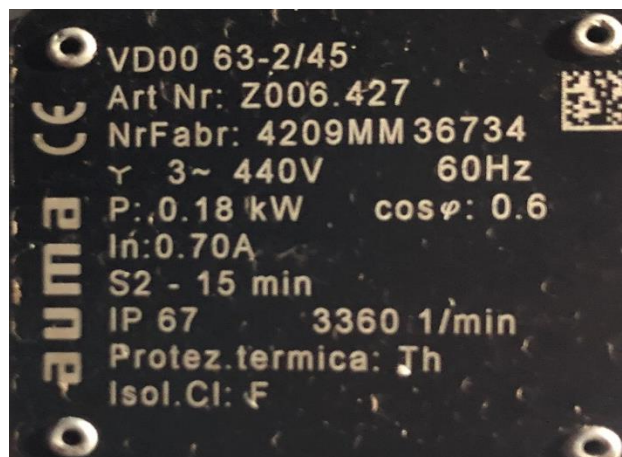


Figura 95. Placa Característica Actuador eléctrico Tipo 2.

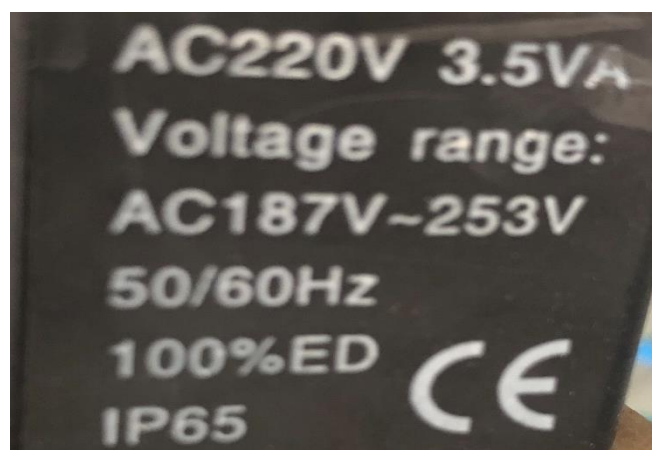


Figura 96. Placa Característica Actuador Neumático.

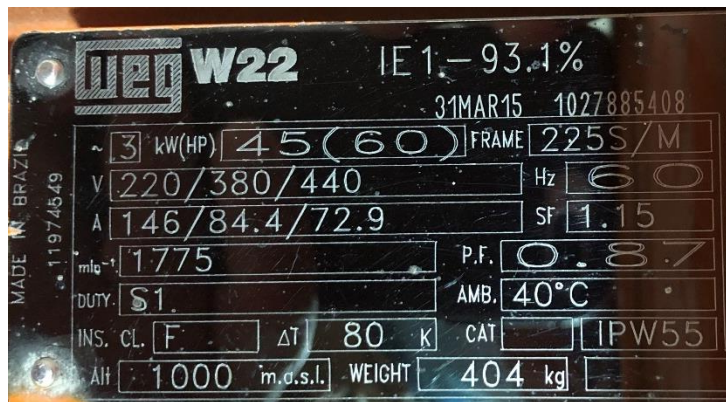


Figura 97. Placa Característica motor eléctrico del soplador.

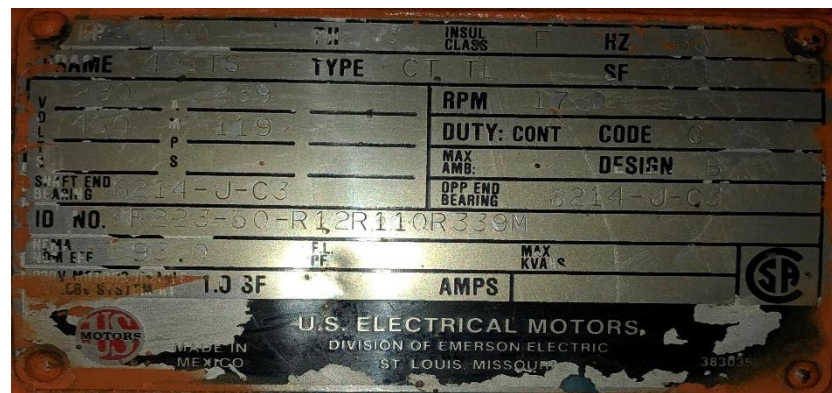


Figura 98. Placa Característica Bomba de Lavado #1.

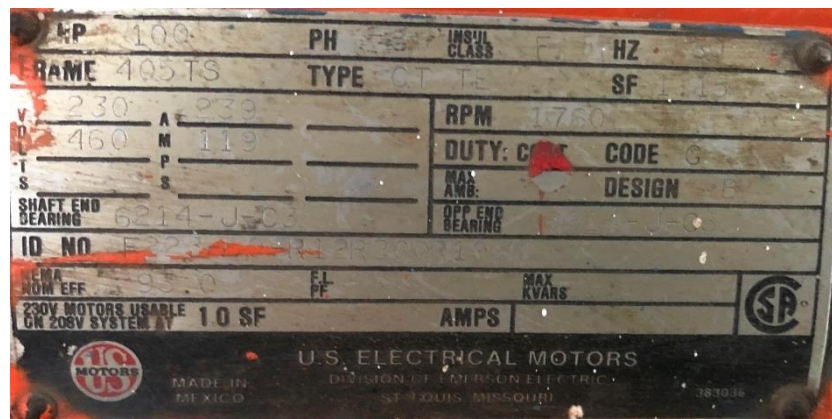


Figura 99. Placa Característica Bomba de Lavado #3.

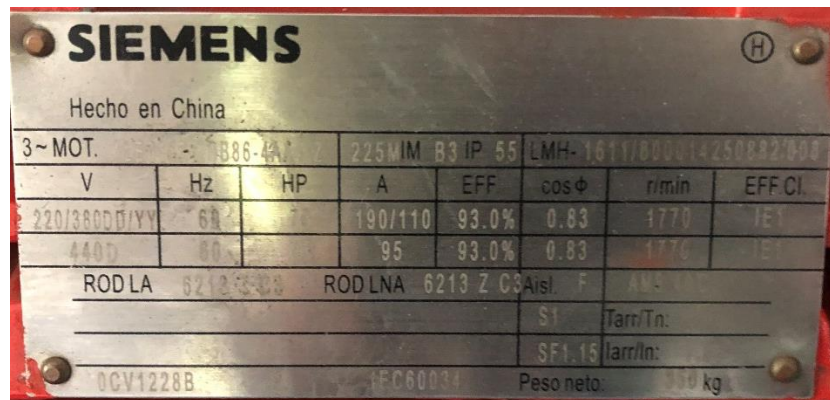


Figura 100. Placa Característica Bomba de Lavado #4.

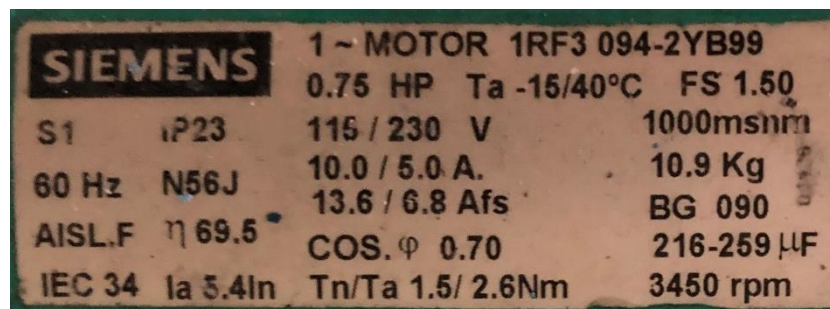


Figura 101. Placa Característica moto-bomba agua tratada.

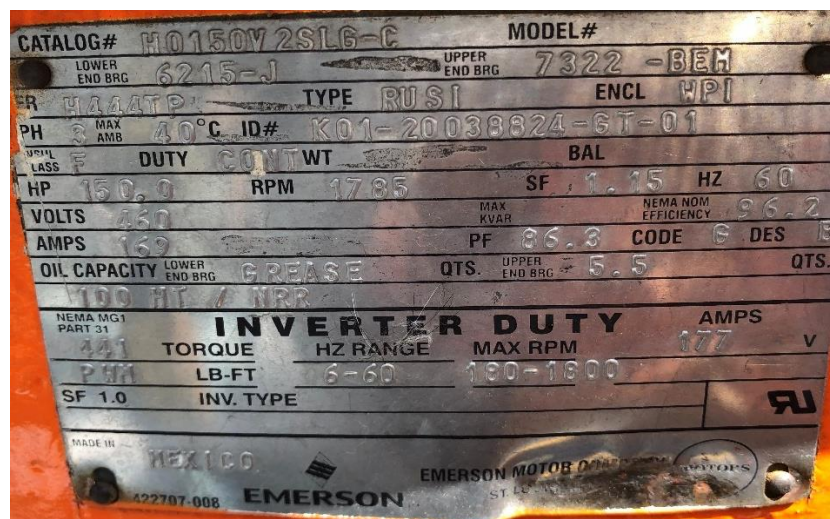


Figura 102. Placa Característica motor #1 Bellavista 3.



Figura 103. Placa Característica bomba #1 Bellavista 3.

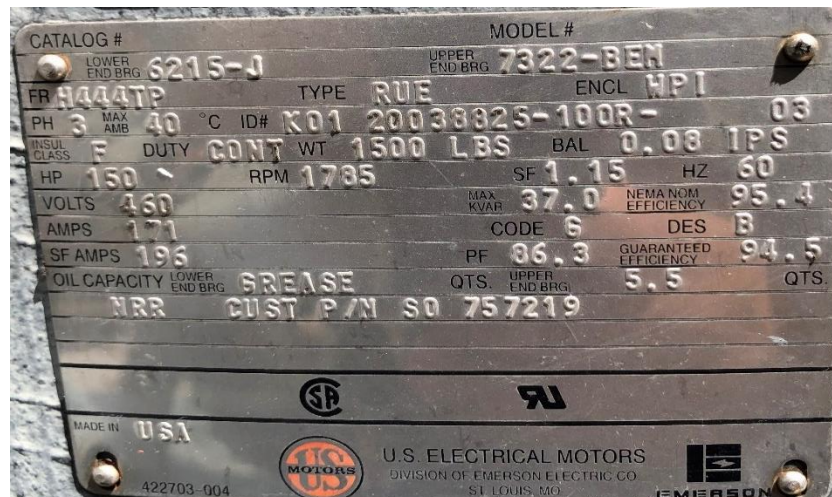


Figura 104. Placa Característica motor #2 Bellavista 3.

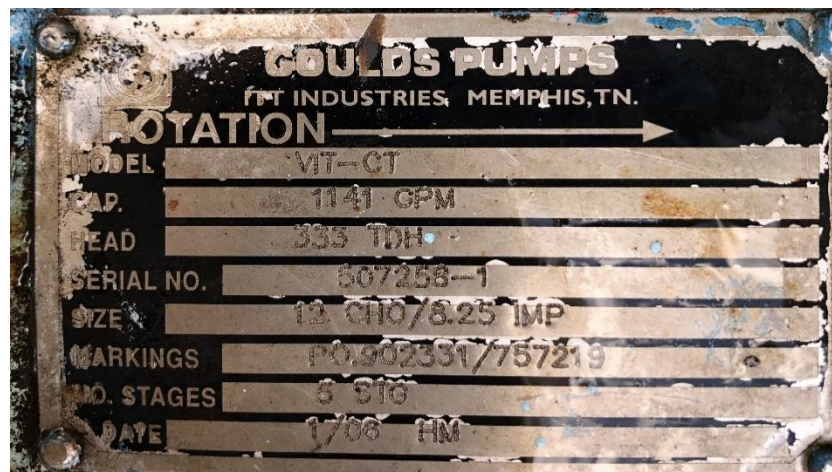


Figura 105. Placa Característica bomba #2 Bellavista 3.

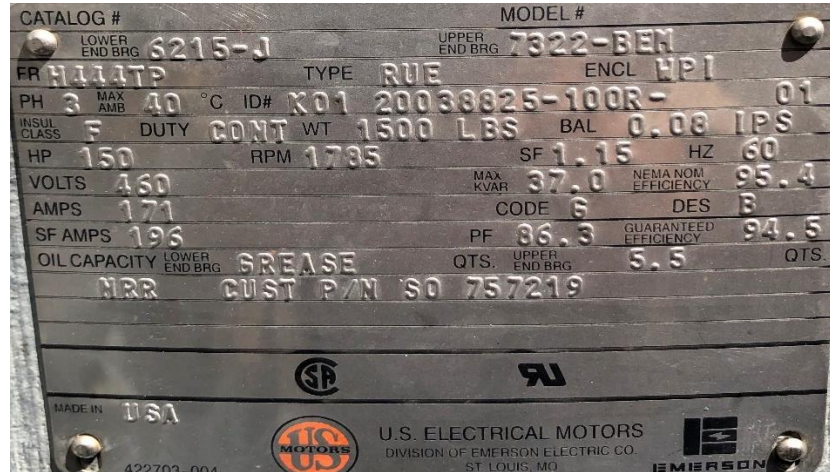


Figura 106. Placa Característica motor #3 Bellavista 3.

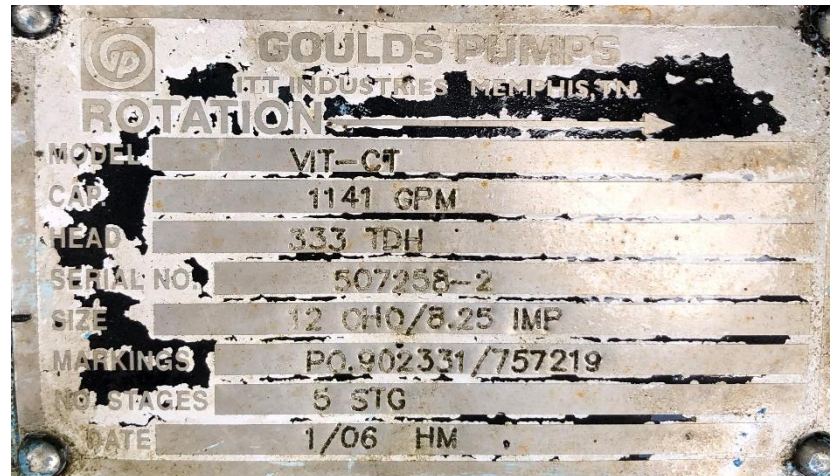


Figura 107. Placa Característica bomba #3 Bellavista 3.

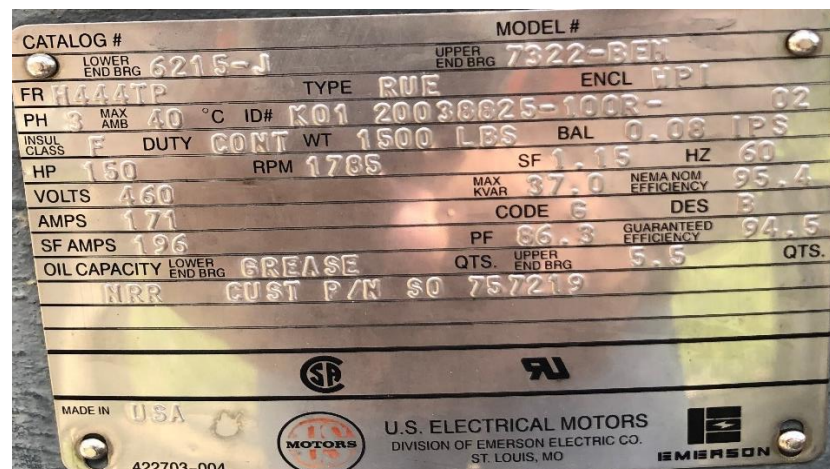


Figura 108. Placa Característica motor #4 Bellavista 3.



Figura 109. Placa Característica bomba #4 Bellavista 3.

Descripción Subestación 1. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Motor Vertical de Floculación#25	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Vertical de Floculación#26	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Vertical de Floculación#27	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Vertical de Floculación 28	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Vertical de Floculación#29	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Vertical de Floculación#30	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Horizontal de Floculación#31	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Horizontal de Floculación#32	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Horizontal de Floculación#33	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Horizontal de Floculación#34	3	2,4671	1,84	2,629	220	6,9	-	0,7
Motor Horizontal de Floculación#35	3	0,0000	0,00	2,629	220	6,9	-	
Motor Horizontal de Floculación#36	3	0,0000	0,00	2,629	220	6,9	-	
Motor Lavado de estructuras	3	48,2574	36,00	44,964	440	59	-	0,87
	3	40,2145	30,00	37,343	220	98	-	
Bomba de muestreo de agua cruda Principal	1	0,75	0,56	1,15	115	10	-	0,7
	2		0,00	1,556	220	5	-	
Bomba de muestreo de agua cruda Respaldo	3	2	1,50	2,100	220	5,51	69,5	0,85
				2,100	380	3,19		
				2,103	440	2,76		
Bomba de muestreo de agua coagulada 1	3	2	1,49	2,515	220	6,6	68,2	0,87
				2,501	380	3,8		
				2,515	440	3,3		
Bomba de muestreo de agua coagulada 2	3	2	1,50	2,100	220	5,51	-	0,85
				2,100	380	3,19	-	
				2,103	440	2,76	-	

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Descripción Subestación 1. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Motor # 1 Dosificación de Cal	3	2	1,49	2,096	220	5,5	-	-
Motor # 2 Dosificación Cal	3	2	1,49	1,387	220	3,64	-	-
Motor # 3 Apagado Cal	3	5	3,73	5,179	230	13	-	-
			0,00	5,179	460	6,5	-	-
Motor # 4 Apagado Cal	3	5	3,73	5,404	208	15	85,5	0,8
				5,179	230	13		
				5,259	460	6,6		
Motor #1 llenado tanque de Coagulante	2	0,5	0,37	1,556	220	5	-	0,7
Motor #2 llenado tanque de Coagulante	2	0,50	0,37	1,556	220	5	-	0,7
Motor Scrubber # 1	1	0,12	0,090	0,286	110	2,6	-	-
Motor Scrubber # 2	2	0,50	0,373	1,120	208- 230	3,6	63	0,75
	1				110	7,2		
Extractor	2	-	1,500	3,796	220	12,2	-	0,88
Motor Carbón Activado # 1	1	0,25	0,187	0,587	115	5,1	-	-
Motor Carbón Activado # 2	1	0,25	0,187	0,618	115	3,8	-	-
	2				230	1,9		
Motor # 1 Dosificador de coagulante	3	1	0,746	1,219	208- 230	3,2	80	0,75
					460	1,6		
Motor # 2 Dosificador coagulante	3	1	0,746	1,275	230	3,2	84	0,81
					460	1,6		

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Descripción Subestación 1. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Streaming Current	1	0,120	0,161	0,286	110	2,6	-	0,88
Polipasto	3	0,724	0,540	5,983	208-230	6,7	-	0,64
		5,094	3,800		220	15,7	-	0,86
Actuador canal de entrada	3	0,50	0,670	1,593	230	4	-	-
Actuador de la torre	3	0,05	0,067	0,143	230	0,36	-	-
Actuador canal de aducción tanque 1	3	0,25	0,335	0,956	230	2,4	-	-
Actuador canal de aducción tanque 2	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Actuador salida General Filtros Americanos	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Carga Oficinas y Alumbrado (pasillo filtros americano, torres, zona de floculación, decantación, caseta de vigilante salida, etc.)			0,000	50				
Subestación 2.	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Subestación 3	3	-	-	300	-	-	-	-
Subestación 4	3	-	-	500	-	-	-	-
Subestación 5	3	-	-	630	-	-	-	-

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Bomba de Lavado # 1	3	100	134,048	94,812	230	239	93	-
					460	119		
Bomba de Lavado # 3	3	100	134,048	94,812	230	239	93	-
					460	119		
Bomba de Lavado # 4	3	75	55,95	72,400	220	190	93	0,83
					380	110		
					440	95		
Soplador # 1	3	60	44,76	55,557	220	146	93,1	0,87
					380	84,4		
					440	72,9		
Soplador # 2	3	68,365	51,00	62,146	460	78	93,6	0,88
Ventilación	3	0,282	0,21	0,496	460	0,622	-	0,81
Compresor Bombas de Lavado	3	5	3,73	6,097	220	16	-	0,85
					440	8		
Compresor caseta sopladores	3	5	3,73	5,182	220	13,6	89,5	0,8
					440	6,78		
Bomba de muestreo de agua tratada	1	0,75	0,81	1,150	115	10	69,5	0,7
	2		0,00	1,626	230	5		

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]
Electroválvula de lavado filtro #13	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #13	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #13	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrado filtra #13	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de lavado filtro #14	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #14	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #14	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #14	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de lavado filtro #15	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #15	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #15	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #15	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de lavado filtro #16	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #16	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #16	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #16	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de lavado filtro #17	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #17	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #17	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #17	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de lavado filtro #18	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #18	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #18	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #18	2	0,004	220	0,0000159

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]
Electroválvula de lavado filtro #19	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #19	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #19	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #19	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de lavado filtro #20	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Descarga atmosfera filtro #20	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Aire Comprimido filtro #20	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula de Filtrada filtro #20	2	0,004	220	0,0000159
Electroválvula Principal	2	0,004	220	0,0000159

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 3. 13,2kV/220V/110V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Actuador Aísla Alimentación de salida refuerzo sur desde Tanque #3	3	0,5	0,373	1,593	230	4	-	-
Actuador Llenado Tanque #3 por refuerzo	3	0,5	0,373	1,593	230	4	-	-
Actuador Da pase de comunicación Canaleta Tanque #1 a Salida Refuerzo Norte	3	0,5	0,373	1,593	230	4	-	-
Actuador Da pase de comunicación Tanque #1 - Tanque #2 a refuerzo Centro	3	0,5	0,373	1,593	230	4	-	-
Actuador Sopladores Salida Filtros Franceses	3	-	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Sopladores Salida Filtros Americanos	3	-	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Salida General filtros franceses	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Actuador salida centro desde tanque # 4	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Actuador salida norte desde tanque # 4	3	0,5	0,373	1,593	230	4	-	-
Actuador entrada tanque 4	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Carga Alumbrado, tomas, etc.			0,00	4				

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 4. 13,2kV/440V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Motor # 1 Bellavista 2	3	150	111,90	137,178	440	180	91	-
Motor # 2 Bellavista 2	3	150	111,90	137,178	440	180	91	-
Motor # 3 Bellavista 2	3	150	111,90	137,178	440	180	91	-
Motor Vertical de floculación #1	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #2	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #3	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #4	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #5	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #6	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #7	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #8	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #9	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #10	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #11	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #12	3	2	1,49	2,515	440	3,3	82,3	0,72
Motor Vertical de floculación #13	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #14	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #15	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #16	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #17	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #18	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #19	3	3	2,24	3,239	440	4,25	87,5	0,79
Motor Vertical de floculación #20	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #21	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 4. 13,2kV/440V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Motor Vertical de floculación #22	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #23	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Motor Vertical de floculación #24	3	2	1,49	2,667	440	3,5	70,2	0,8
Actuador Filtro #1 desagüe	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #1 filtrada lado 1	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #1 filtrada lado 2	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #1 Lavado	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #1 control salida	3	-	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #1 Clarificada	2	-	-	0,0035	220	0,0000159	-	-
Actuador Filtro #2 desagüe	3	-	0,09	0,4573	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #2 filtrada lado 1	3	-	0,09	0,4573	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #2 filtrada lado 2	3	-	0,09	0,4573	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #2 Lavado	3	-	0,09	0,4573	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #2 control salida	3	-	0,18	0,5335	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #2 Clarificada	2	-	-	0,0035	220	0,0000159	-	-
Actuador Filtro #3 desagüe	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #3 filtrada lado 1	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #3 filtrada lado 2	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #3 Lavado	3	-	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #3 control salida	3	-	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #3 Clarificada	2	-	-	0,0035	220	0,0000159	-	-

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 4. 13,2kV/440V	# FASES	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Actuador Filtro #4 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #4 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #4 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #4 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #4 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #4 Clarificada	2	-	0,0035	220	0,0000159	-	-
Actuador Filtro #5 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #5 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #5 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #5 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #5 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #5 Clarificada	2	-	0,0035	220	0,0000159	-	-
Actuador Filtro #6 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #6 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #6 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #6 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #6 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #6 Clarificada	2	-	0,0035	220	0,0000159	-	-
Actuador Filtro #7 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #7 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #7 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #7 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #7 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #7 Clarificada	2	-	0,0035	220	0,0000159	-	-

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 4. 13,2kV/440V	# FASES	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Factor de Potencia
Actuador Filtro #8 desagüe	3	0,09	0,45726141	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #8 filtrada lado 1	3	0,09	0,45726141	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #8 filtrada lado 2	3	0,09	0,45726141	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #8 Lavado	3	0,09	0,45726141	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #8 control salida	3	0,18	0,53347165	440	0,7	0,6
Actuador neumático Filtro #8 Clarificada	2	-	0,0035	220	0,0000159	-
Actuador Filtro #9 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #9 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #9 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #9 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #9 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	0,6
Actuador Filtro #9 clarificada	3	0,18	0,533	440	0,7	0,6
Actuador Filtro #10 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #10 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49
Actuador Filtro #10 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	0,49

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 4. 13,2kV/440V	# FASES	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Actuador Filtro #10 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #10 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Neumático Filtro #10 Clarificada	2	-	0,0035	220	0,0000159	-	-
Actuador Filtro #11 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #11 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #11 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #11 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #11 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Filtro #11 clarificada	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Filtro #12 desagüe	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #12 filtrada lado 1	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #12 filtrada lado 2	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #12 Lavado	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49
Actuador Filtro #12 control salida	3	0,18	0,533	440	0,7	-	0,6
Actuador Filtro #12 clarificada	3	0,09	0,457	440	0,6	-	0,49

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Rio Cali (elaboración propia. Continua).

Subestación 5. 13,2kV/460V/228V/110V	# FASES	Potencia [hp]	Potencia [kW]	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	n Eficiencia	Factor de Potencia
Motor # 1 Bellavista 3	3	150	111,90	134,650	460	169	96,2	0,863
Motor # 2 Bellavista 3	3	150	111,90	136,243	460	171	95,4	0,863
Motor # 3 Bellavista 3	3	150	111,90	136,243	460	171	95,4	0,863
Motor # 4 Bellavista 3	3	150	111,90	136,243	460	171	95,4	0,863
Transformador baja - baja 440- 220/110	3	-	-	30,000	460 a 228	-	-	-
Compresor # 1	3	5	3,73	10,365	440	13,6	89,5	0,8
Compresor # 2	3	5	3,73	11,035	440	14,48	-	0,78
Transformador Baja a Baja 440-220/110	3	-	-	10,000	460 a 228	-	-	-
Actuador Salida por Tanque #1 y Tanque #2	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Actuador Llenado Tanque #1 desde canaleta lado izquierdo	3	0,25	0,187	0,956	230	2,4	-	-
Actuador Llenado Tanque #3 desde canaleta y refuerzo sur	3	0,5	0,373	1,593	230	4	-	-
Carga Alumbrado, tomas, etc.			0,00	4				

Tabla 24. Datos placa característica equipos por subestación planta Río Cali (elaboración propia).

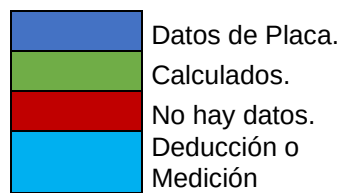


Figura 110. Descripción de colores usados en la tabla 21.

Anexo B.

En este apartado se presentan los datos de consumo de energía activa, reactiva y agua total producida de la planta “Rio Cali” desde el mes de enero de 2019 hasta el mes de mayo de 2022.

Mes / Año	kWH consumidos por mes	KVAR consumidos	Producción Total de Agua [M3]
Enero 2019	122813	9,06632	3.401.062
Febrero 2019	111784	6,77310	3.234.366
Marzo 2019	123443	10,56531	3.849.321
Abril 2019	119034	15,17486	3.469.591
Mayo 2019	127320	10,84554	3.876.448
Junio 2019	120158	9,03380	3.782.031
Julio 2019	126879	7,25234	3.785.538
Agosto 2019	127974	7,45500	3.044.569
Septiembre 2019	122490	8,19883	2.880.283
Octubre 2019	140352	10,22100	3.611.387
Noviembre 2019	116167	10,17971	3.455.905
Diciembre 2019	119567	8,43898	3.643.230
Enero 2020	121010	10,17678	3.553.310
Febrero 2020	119426	12,15355	3.303.161
Marzo 2020	130673	14,84733	3.583.093
Abril 2020	119211	11,72282	3.379.614
Mayo 2020	127257	13,59967	3.506.452
Junio 2020	129638	20,15260	3.419.784
Julio 2020	131459	15,34117	3.597.251
Agosto 2020	128745	14,38962	3.641.199
Septiembre 2020	130483	13,96039	3.607.530
Octubre 2020	128504	12,14494	3.752.238
Noviembre 2020	125176	10,36513	3.420.847
Diciembre 2020	130673	12,00268	3.365.040
Enero 2021	129384	12,09120	3.684.153
Febrero 2021	121168	13,38714	3.438.214
Marzo 2021	137848	8,42415	3.998.125
Abril 2021	129669	0,00000	3.710.289
Mayo 2021	135357	18,00000	3.745.689
Junio 2021	134535	180,00000	3.666.294
Julio 2021	129452	3,30198	3.829.397

Tabla 25. Datos energía activa, reactiva y producción de agua total de la planta “Rio Cali” desde el mes de enero de 2019 hasta el mes de mayo de 2022 (elaboración propia, continua).

Mes / Año	kWH consumidos por mes	KVAR consumidos	Producción Total de Agua [M3]
Agosto 2021	132770	9,67582	3.729.506
Septiembre 2021	130443	9,018	3.271.894
Octubre 2021	127639	15,02181	3.012.667
Noviembre 2021	122952	4,24374	2.925.939
Diciembre 2021	128483	16,78424	3.042.174
Enero 2022	129396	17,87800	2.953.405
Febrero 2022	113926	1,87100	2.729.878
Marzo 2022	127090	3,18400	2.912.962
Abril 2022	120778	265,00000	2.881.725
Mayo 2022	131579	3,27900	3.020.054

Tabla25. Datos energía activa, reactiva y producción de agua total de la planta “Rio Cali” desde el mes de enero de 2019 hasta el mes de mayo de 2022 (elaboración propia, continuación).

Anexo C.

A continuación, se presenta recibo de servicios públicos referente al mes de julio de 2022 de la planta "Rio Cali".

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. E.S.P. Nit: 890.399.003-4 UENAA PLANTA RIO CALI - C.C./Nit 890399003-4 CALI		Esta es tu factura CONTRATO 1301793 TOTAL A PAGAR \$ 100,134,652.00 FECHA DE VENCIMIENTO Septiembre 02-2022 FECHA DE EXPEDICION Agosto 24-2022	
Ruta 64001 140 Ciclo 64 Mes Cuenta Agosto 2022 Periodo Facturacion JUL 01 a JUL 31 Dias Facturados 31 Estado de Cuenta No. 344212369 Nro. Predial Nal. 760010100031600010024500000002		No. Pago Electrónico 279281324	

ACUEDUCTO		Consumos Anteriores (M3)	CONCEPTOS	Cantidad M3	Valor Unitario	Valor Total	Subsid/Contrib	Total a Pagar
Uso	OFICIAL	Ene - 69	Cargo Básico	51.00	2,549.60	130,029.60		9,102.60
No. Medidor M1	9S_7236	Feb - 73	Valor Consumo					130,029.60
Lectura Actual	9,788	Abr - 69	(-) Ajuste al Peso					.20
Lectura Anterior	9,737	May - 69						
Diferencia	51	Jun - 69						
Consumo del mes en M3	51	PROM - 73						
Componentes del costo Cm Operación \$ 1,219.69 Cm Inversión Poir \$ 285.00 Cm Inversión Va \$ 1,041.74 Cm Tasa Ambiental \$ 3.17		TOTAL \$139,132.00						

ALCANTARILLADO		COMPONENTES DEL COSTO	CONCEPTOS	Cantidad M3	Valor Unitario	Valor Total	Subsid/Contrib	Total a Pagar
Uso	OFICIAL	Cm Operación \$ 784.99	Cargo Básico	51.00	2,933.37	149,601.87		4,882.25
Vertimiento	51 M3	Cm Inversión Va \$ 1,644.36	Valor Consumo					149,601.87
		Cm Inversión Poir \$ 456.66	(-) Ajuste al Peso					.12
		Cm Tasa Ambiental \$ 47.36						
			TOTAL					\$154,484.00

ENERGIA		Consumos Anteriores (MWh)	CONCEPTOS	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Subsid/Contrib	Total a Pagar
Uso	OFICIAL	Ene - 123.4	Generación	130,270.36	312.35	40,890,187.19	4,069,018.72	44,759,205.91
Periodo Facturacion	JUL 01 a JUL 31	Feb - 113.3	Comercialización	130,270.36	6.15	800,987.94		881,086.73
Dias Facturados	31	Mar - 918.1	Uso SDT	130,270.36	42.00	5,471,893.66	547,189.37	6,019,083.03
No. Medidor M1	U43A_66613590	Abr - 264.9	Uso SDL	130,270.36	168.92	22,004,946.94	2,200,494.69	24,205,441.63
Consumo de energía activa		May - 827.9	Perdidas Generacion	130,270.36	20.56	2,678,901.67	267,890.17	2,946,791.84
Consumo Actual	130,270.36 kWh	Jun - 127.1	Perdidas STN	130,270.36	1.98	258,160.51	25,816.05	283,976.56
		PROM - 122.5	Restricciones	130,270.36	50.46	6,573,455.36	657,345.54	7,230,800.93
Consumo de energías reactivas			CND	130,270.36	1.16	151,337.10	15,133.71	166,470.81
Reactiva inductiva		Consumos Anteriores (kVArh)	ASIC	130,270.36	.38	50,103.84	5,010.38	55,114.22
Consumo Actual	3,513.18 kVArh	Ene - 1871.3	SSPD	130,270.36	.45	58,883.78	5,888.38	64,772.16
		Feb - 3184.1	CREG	130,270.36	.35	45,492.16	4,549.22	50,041.38
Reactiva capacitiva		Mar - 264.9	Energia Reactiva Inductiva	3,513.18	168.92	3,560,626.02	356,062.60	3,916,688.62
Consumo Actual	17.16 kVArh	Abr - 827.9	Energia Reactiva Capacitiva	17.16	168.92	17,391.75	1,739.18	19,130.93
Factor M CREG-015	6	May - 6212.1	(-) Ajuste al Peso					.10
Acumulador	19	Jun - 9448.0	Otros Cobros					600,485.02
		PROM - 48.0						
			TOTAL					\$91,287,350.49

ULTIMO PAGO Realizado el 2022-08-05 Por valor de \$103,561,391.00 Recibido en Compensacion Y Cruce De Cuentas Interés de mora 2.3354 %		TOTAL A PAGAR ESTE MES Total Servicios Emcali 91,580,966.49 SubTotal Otros Servicios + AP + TS 8,553,685.51 + IVA .00 TOTAL OPERACIÓN MES 100,134,652.00 VALOR TOTAL 100,134,652.00 TOTAL A PAGAR \$ 100,134,652.00	
---	--	---	--

EMCALI aplica la Opción Tarifaria en energía según resoluciones CREG-012, 058 y 152 de 2020

UENAA PLANTA RIO CALI - Mes Cuenta Agosto 2022		No. Pago Electrónico 279281324	
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. E.S.P. Nit: 890.399.003-4 Gran Contribuyente		TOTAL A PAGAR \$ 100,134,652.00	
CONTRATO 1301793		FECHA DE VENCIMIENTO Septiembre 02-2022	
Estado de Cuenta No. 344212369		FECHA DE EXPEDICION Agosto 24-2022	



Página: 1

(415)7707247180153(8020)000279281324(3902)00010013465200(96)20220902

VIGILADA POR:
 SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS
 PUBLICOS DOMICILIARIOS
 Línea Gratuita Nacional:
 01 8000 910305
 ssdp@superservicios.gov.co
 Cra 18 No. 84-35 Bogotá D.C. Colombia

Figura 111. Recibo de servicios públicos planta "Rio Cali" del mes de julio de 2022.

A continuación, se presentan los recibos de agua y energía de las empresas prestadoras de estos servicios en el departamento del cauca (Santander de Quilichao), figura 112 , Valle del cauca (Jamundí) figura 113 y Valle del cauca (Cali) figura 114.

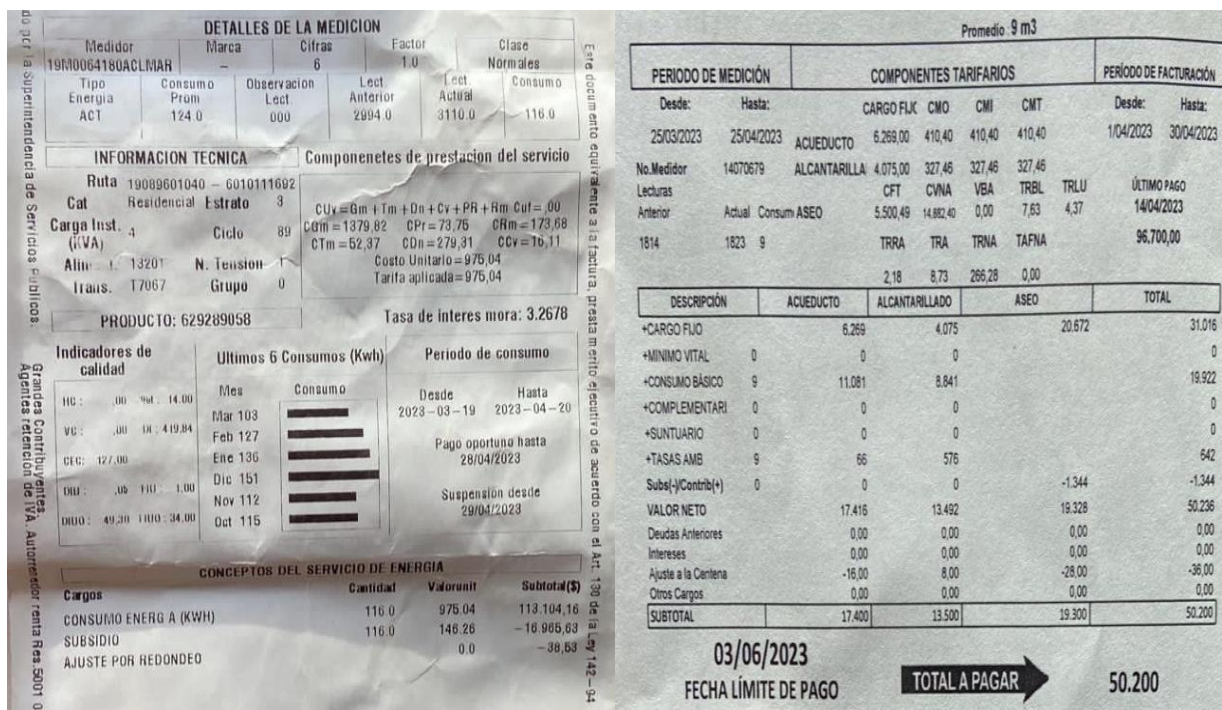


Figura 112. Recibo de servicios públicos Santander de Quilichao, energía eléctrica (CEO) y acueducto y alcantarillado (EMQUILICHAO).

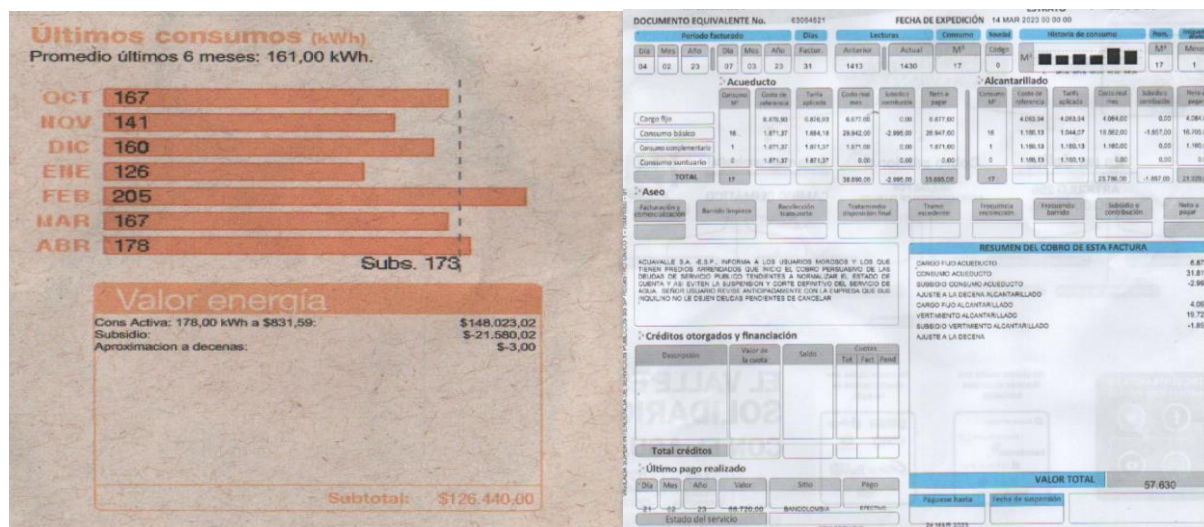


Figura 113. Recibo de servicios públicos Jamundí, energía eléctrica (CELSIA) y acueducto y alcantarillado (ACUAVALLE).

ACUEDUCTO									
Uso	Residencial	Consumos Anteriores (M3)		CONCEPTOS	Cantidad M3	Valor Unitario	Valor Total	Subsidio	Total a Pagar
Estrato	3	Sep-2	5	Cargo Básico	6.00	2,754.90	9,836.48	-98.36	9,738.12
No. Medidor M1	2019S_202264	Oct-5	5	Consumo Básico Hasta 16			16,529.40	-165.24	16,364.16
Lectura Actual	84	Nov-5	5	Interés de Mora (0.50%)					23.63
Lectura Anterior	79	Dic-5	5	Otros Cobros					30,160.00
Diferencia	6	Ene-5	5	Ajuste al Peso					.09
Consumo del mes en M3	6	PROM-5	5						
Componentes del costo									
Cm Operación	\$ 1,318.02	Cm Inversión Poir	\$ 307.97						
Cm Inversión Va	\$ 1,125.73	Cm Tasa Ambiental	\$ 3.17						
TOTAL									\$56,286.00
ALCANTARILLADO									
Uso	Residencial	Componentes del Costo		CONCEPTOS	Cantidad M3	Valor Unitario	Valor Total	Subsidio	Total a Pagar
Estrato	3	Cm Operación	\$ 848.28	Cargo Básico	6.00	3,166.05	5,275.87	-105.51	5,170.36
Vertimiento	6 M3	Cm Inversión Va	\$ 1,776.94	Consumo Básico Hasta 16			18,996.30	-379.92	18,616.38
		Cm Inversión Poir	\$ 493.48	Interés de Mora (0.50%)					21.27
		Cm Tasa Ambiental	\$ 47.36	(-)Ajuste al Peso					.01
TOTAL									\$23,808.00
ENERGÍA									
Uso	Residencial	Consumos Anteriores (kWh)		CONCEPTOS	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Subsidio	Total a Pagar
Estrato	3	Sep-6 2.5	15.0	Consumo De Energía Activa	1.00	784.01	784.01	-117.60	666.41
Consumo de energía activa	C22E_2105023790	Oct-3.0		Consumo Básico Hasta 173					.67
No. Medidor M1	38	Nov-1.0		Interés de Mora (0.50%)					.01
Lectura Actual	37	Dic-1.0		(-)Ajuste al Peso					
Lectura Anterior	1	Ene-1.0							
Diferencia	1 KWH	PROM-4.0							
Consumo Actual									
TOTAL									\$667.07
Propiedad Transformador	EMCALI EICE ESP -	Componentes del Costo		Indicadores					
Nivel Tensión	177	Generacion	310.39	Meta anual (DIUG-FIUG)					
Operador Red		Transmision	48.71	Mensual (DIUM-FIUM)					
Teléfono Operador Red		Comercialización	66.05	Acumulado (DIU-FIU)					
Circuito		Distribución	275.70	Hrs Comp. (HC-THC)					
Grupo	1	Perdidas	62.77	Eventos Comp. (VC-TVVC)					
NIU	15045702	Restricciones	19.39	Cons. Estimado Comp. (CEC)					
Transformador		Cuv Aplicado(Creg 012-20)	784.01	% Desc. Cargo Comp. - %DT					
		Cuv Calculado(Creg 119-07)	784.01	Cargo de Distribución-DT					
				Valor Total-COMP					

Figura 114. Recibo de servicios públicos Jamundí, energía eléctrica y acueducto y alcantarillado (EMCALI).

Anexo D.

Subestación #1

A continuacion se presentan las mediciones de energia activa, reactiva, factor de potencia, corriente por fases, voltajes por fases, distorsión armónica total de corriente y voltaje para la salida principal del transformador 1.

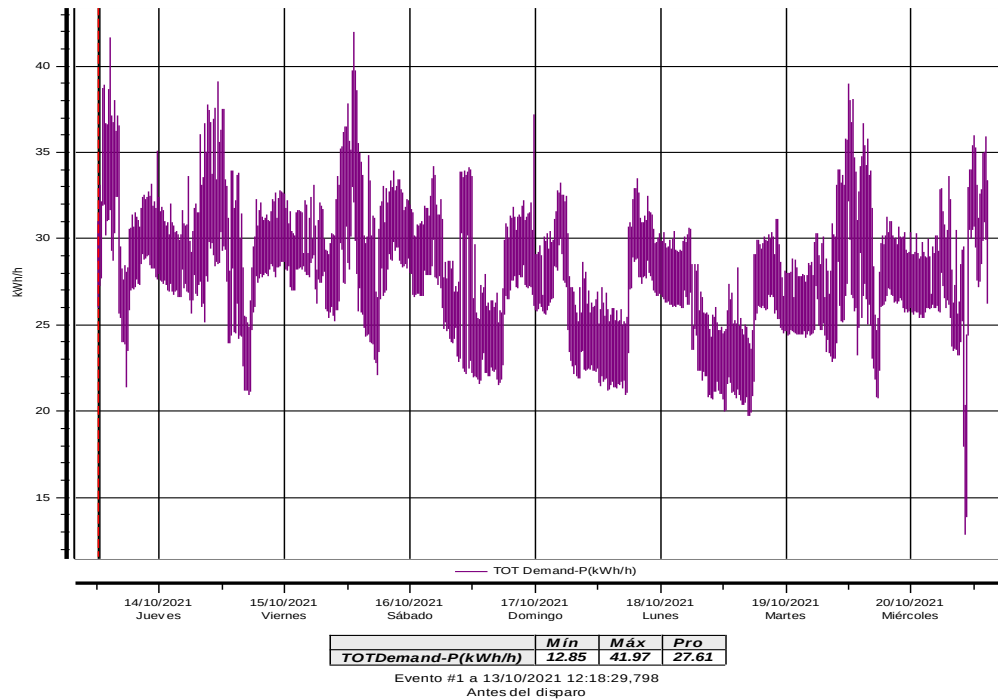


Figura 115. Consumo de energía activa de la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

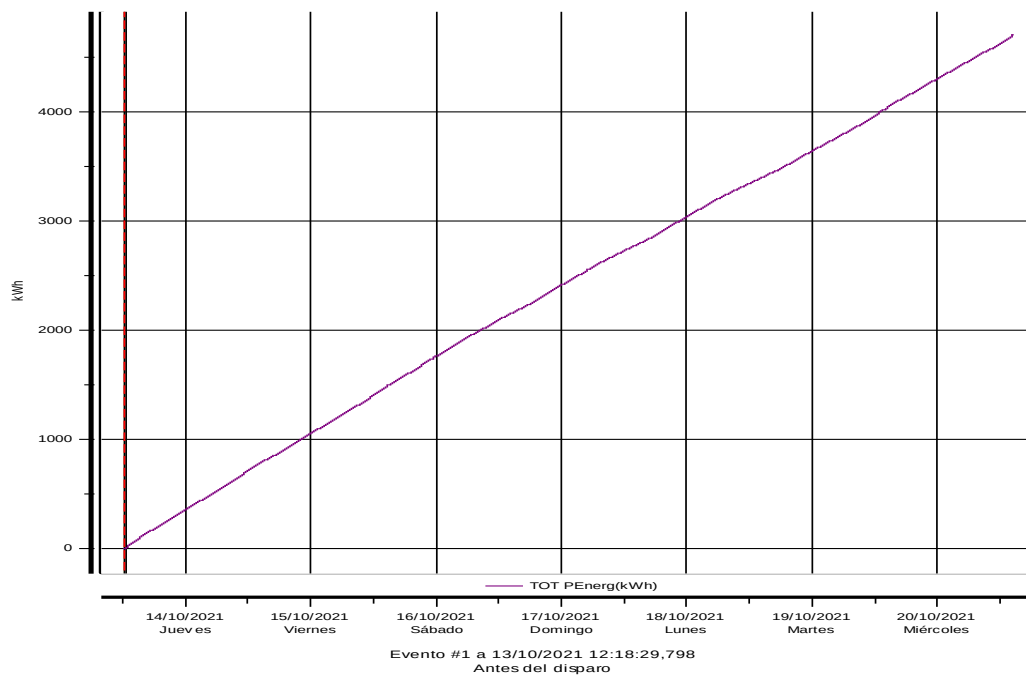


Figura 116. Consumo de energía activa acumulada de la salida principal el transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

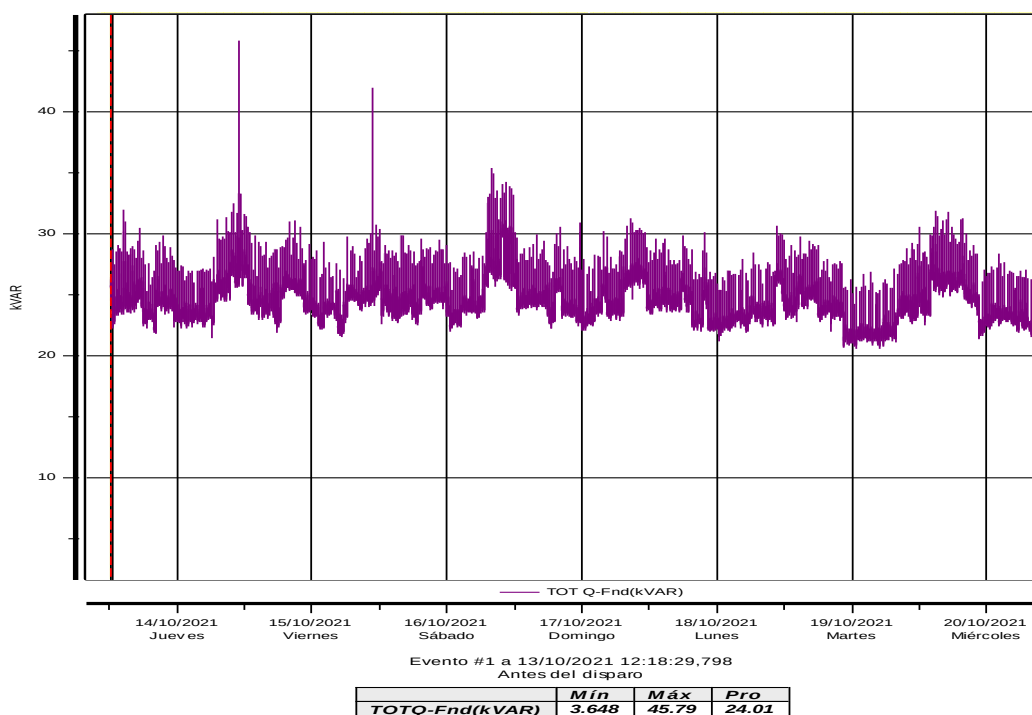


Figura 117. Consumo de energía reactiva de la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

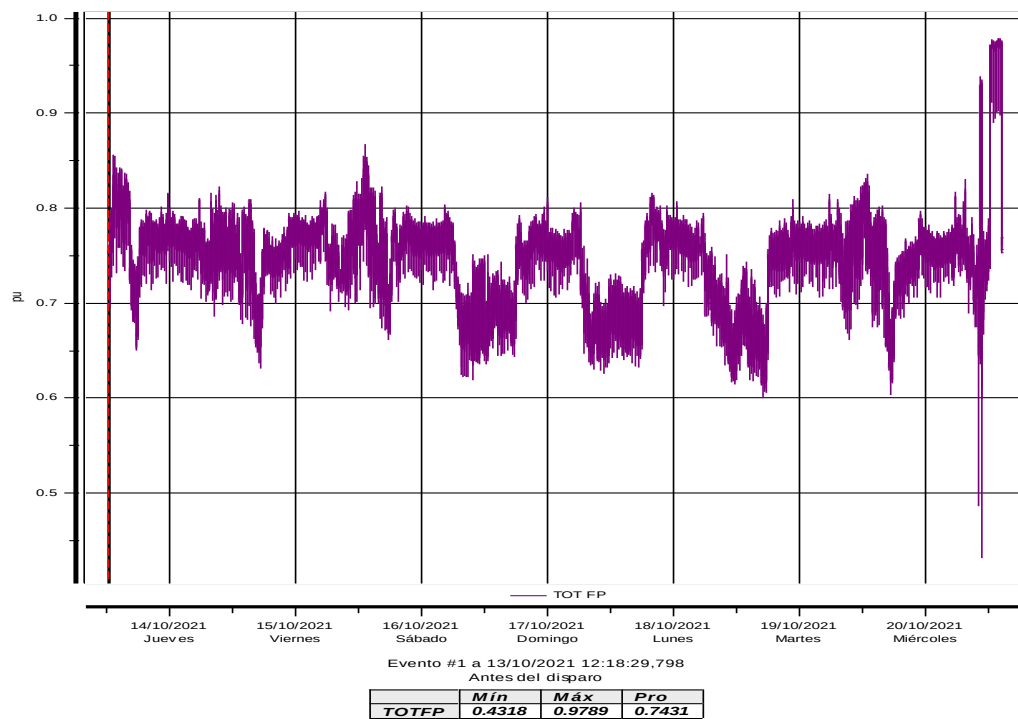


Figura 118. Factor de potencia medido en la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

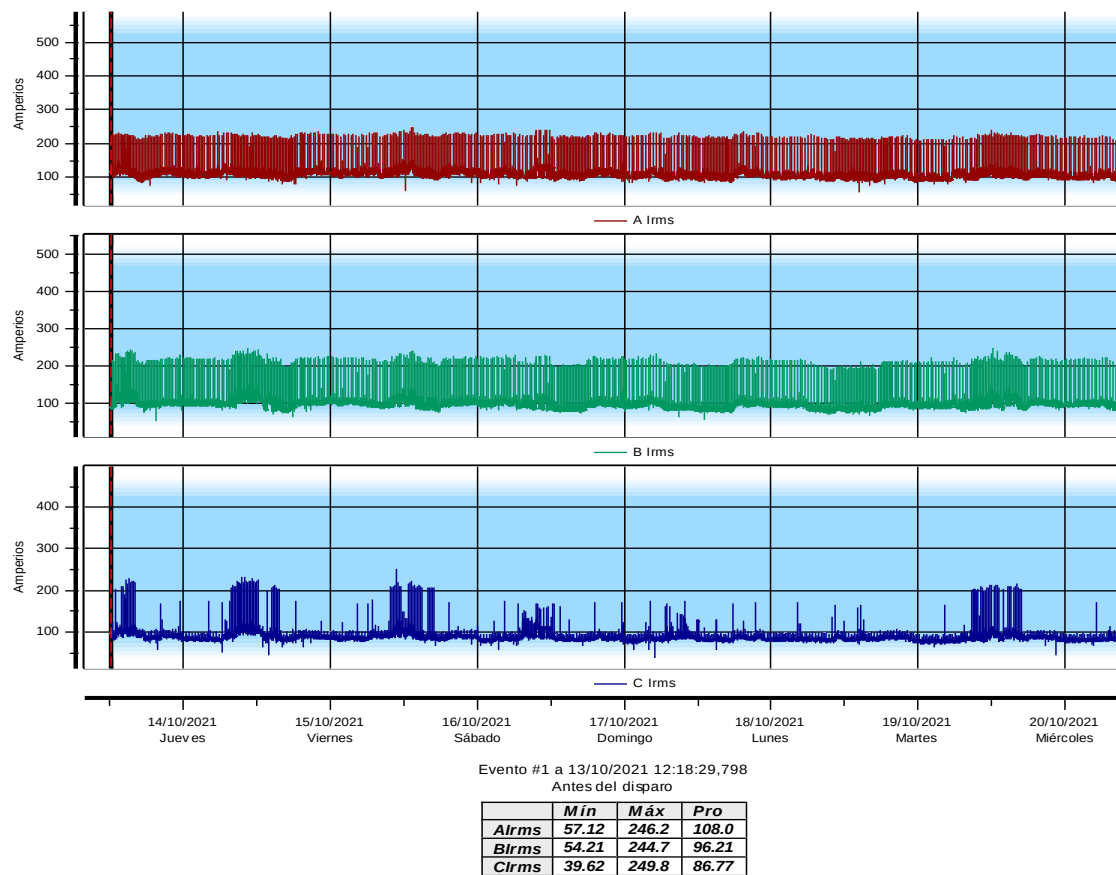


Figura 119. Corrientes medidas por fase a la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

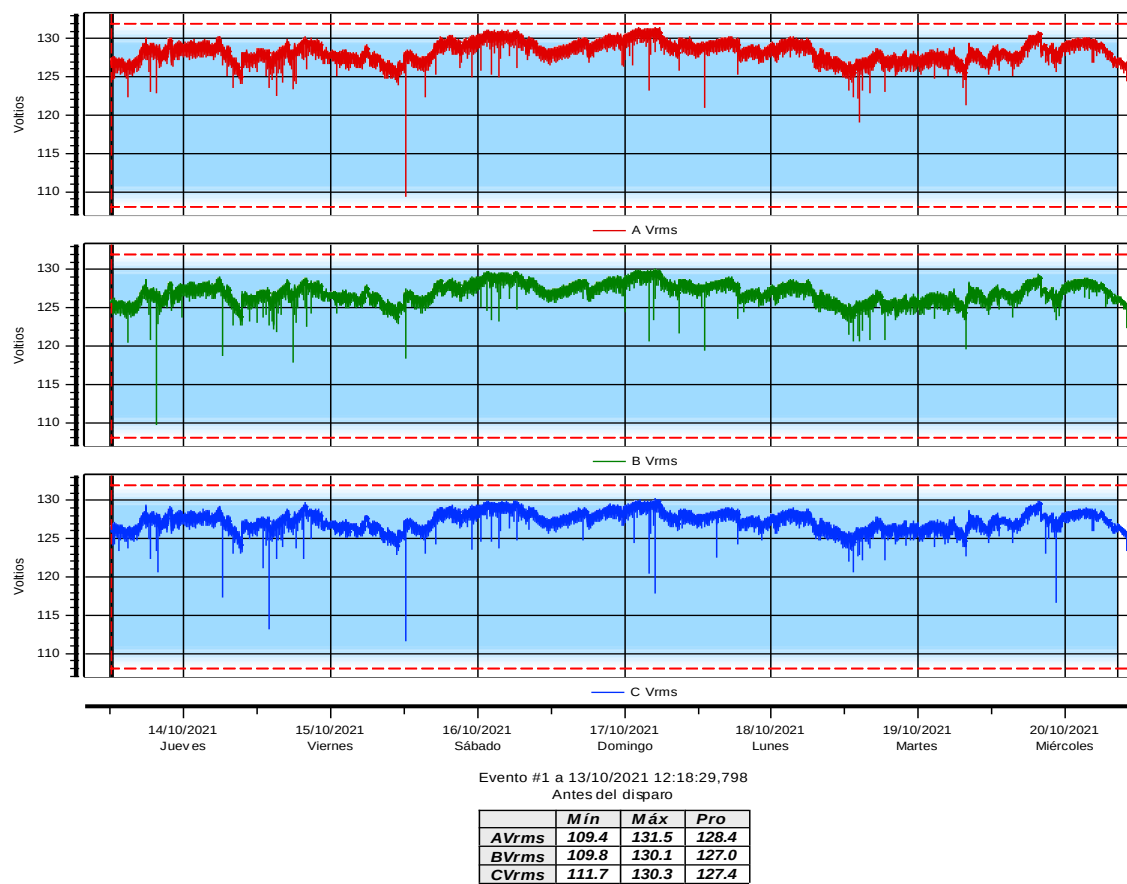
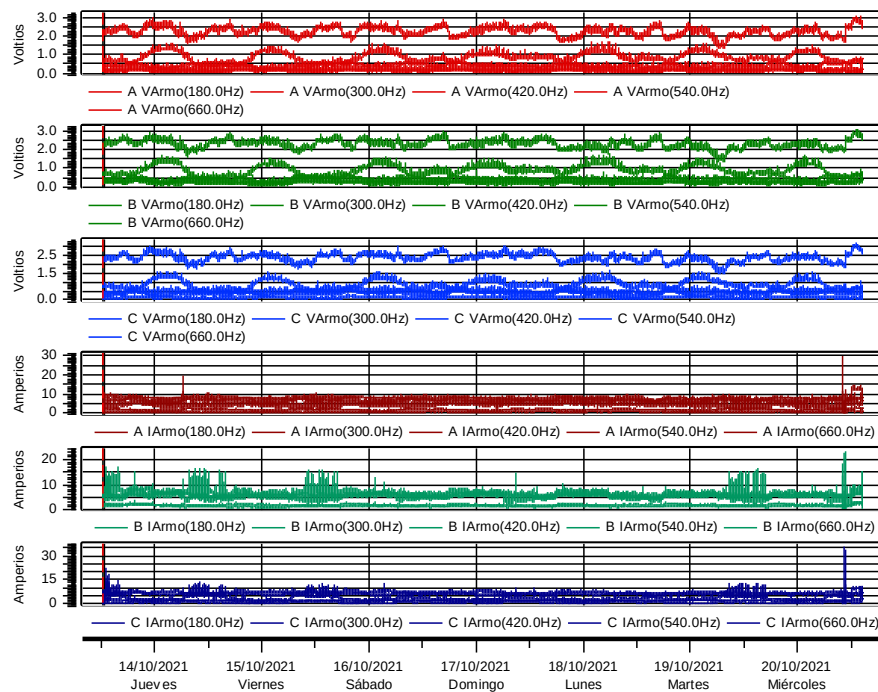


Figura 120. Voltajes medidos por fase a la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 13/10/2021 12:18:29,798
Antes del disparo

	Min	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.03273	0.7298	0.2085
BVArmo(180.0Hz)	0.03489	0.9942	0.2518
CVArmo(180.0Hz)	0.1286	1.052	0.4034
AVArmo(300.0Hz)	1.328	3.094	2.240
BVArmo(300.0Hz)	1.359	3.114	2.298
CVArmo(300.0Hz)	1.441	3.191	2.352
AVArmo(420.0Hz)	0.3263	1.663	0.8480
BVArmo(420.0Hz)	0.3720	1.759	0.8821
CVArmo(420.0Hz)	0.3599	1.631	0.8373
AVArmo(540.0Hz)	0.03319	0.3831	0.1248
BVArmo(540.0Hz)	0.09869	0.4575	0.2185
CVArmo(540.0Hz)	0.02312	0.3897	0.1102
AVArmo(660.0Hz)	0.1917	0.7385	0.4197
BVArmo(660.0Hz)	0.1396	0.7572	0.4167
CVArmo(660.0Hz)	0.1863	0.7585	0.4237
AIArmo(180.0Hz)	1.271	29.63	4.592
BIArmo(180.0Hz)	3.193	23.11	5.963
CIArmo(180.0Hz)	0.2761	35.35	3.322
AIArmo(300.0Hz)	1.468	14.71	7.342
BIArmo(300.0Hz)	0.5696	16.92	5.772
CIArmo(300.0Hz)	0.3888	14.44	6.404
AIArmo(420.0Hz)	0.4936	10.31	7.333
BIArmo(420.0Hz)	0.6176	11.88	5.586
CIArmo(420.0Hz)	1.001	13.50	6.159
AIArmo(540.0Hz)	0.05978	3.136	0.5355
BIArmo(540.0Hz)	0.7094	3.355	1.459
CIArmo(540.0Hz)	0.06177	3.765	0.7588
AIArmo(660.0Hz)	0.2711	3.072	1.702
BIArmo(660.0Hz)	0.5436	3.288	1.717
CIArmo(660.0Hz)	0.3858	4.539	2.149

Figura 121. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase a la salida principal del transformador # 1 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

A continuación se presentan las mediciones de energía activa, reactiva, factor de potencia, corriente por fases, voltajes por fases, distorsión armónica total de corriente y

voltaje para el motor de lavado de estructuras. En las siguientes figuras se presentan las mediciones realizadas para este equipo.

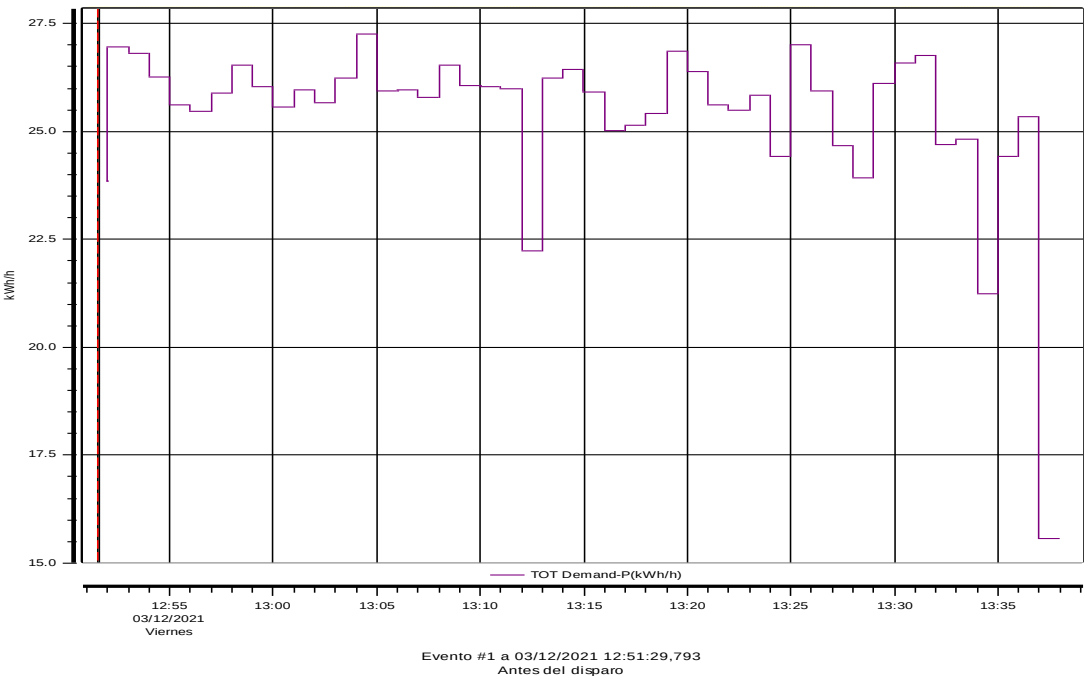


Figura 122. Consumo de energía activa motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

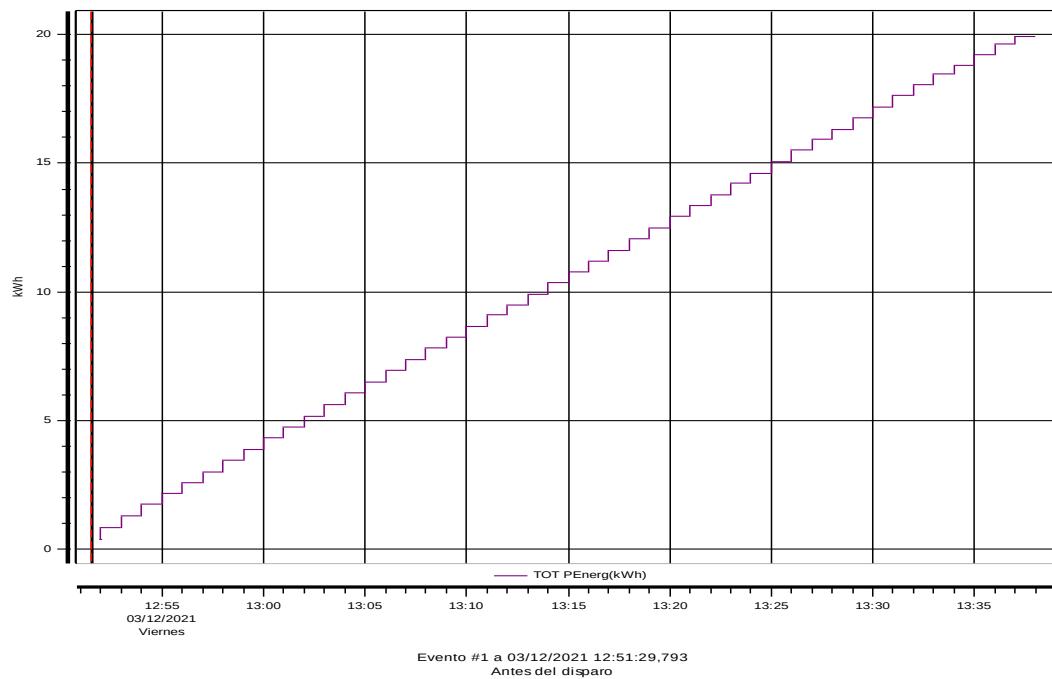


Figura 123. Consumo de energía activa acumulada motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

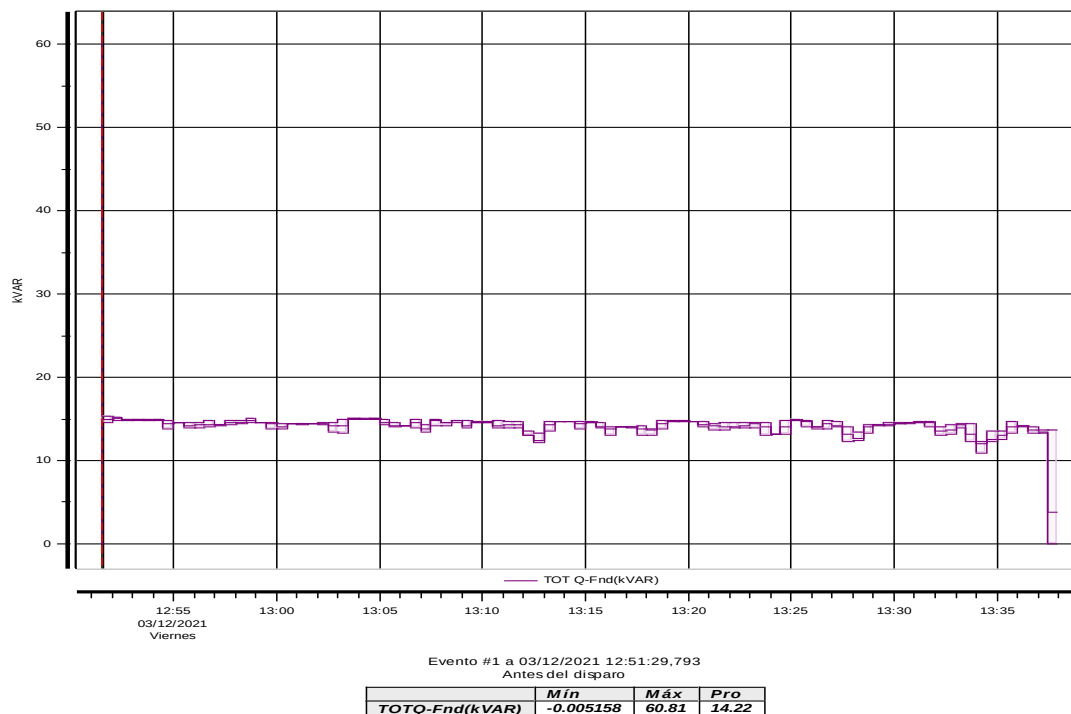
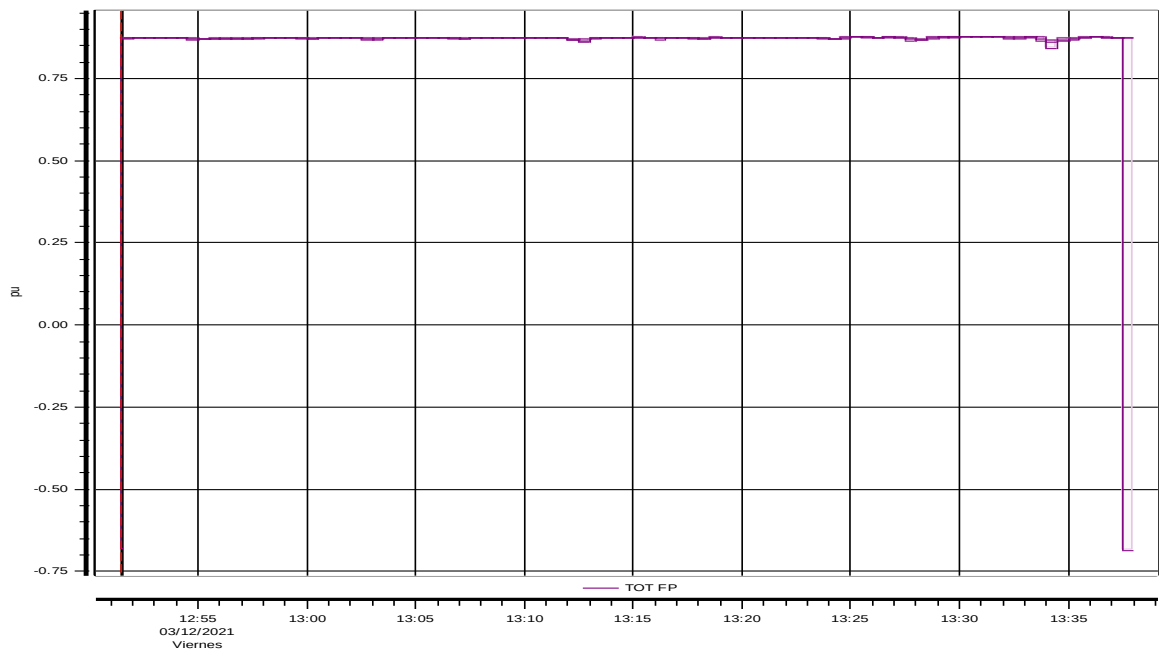


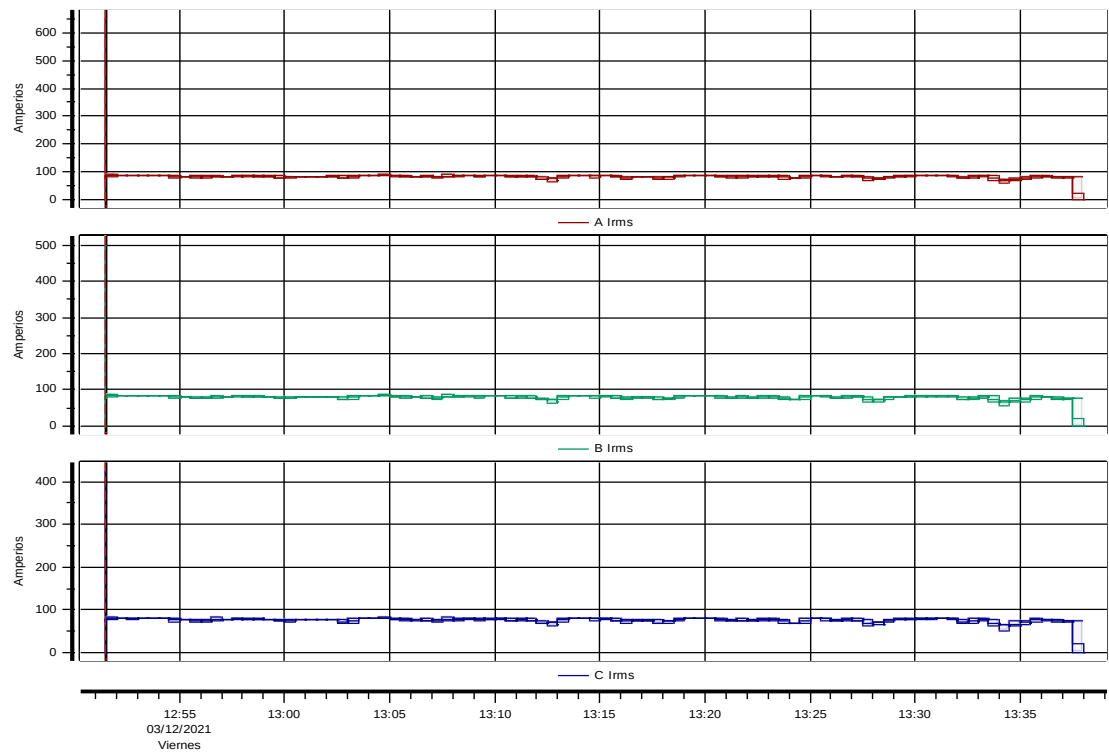
Figura 124. Consumo de energía reactiva motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 03/12/2021 12:51:29,793
Antes del disparo

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFP	-0.6874	0.8776	0.8737

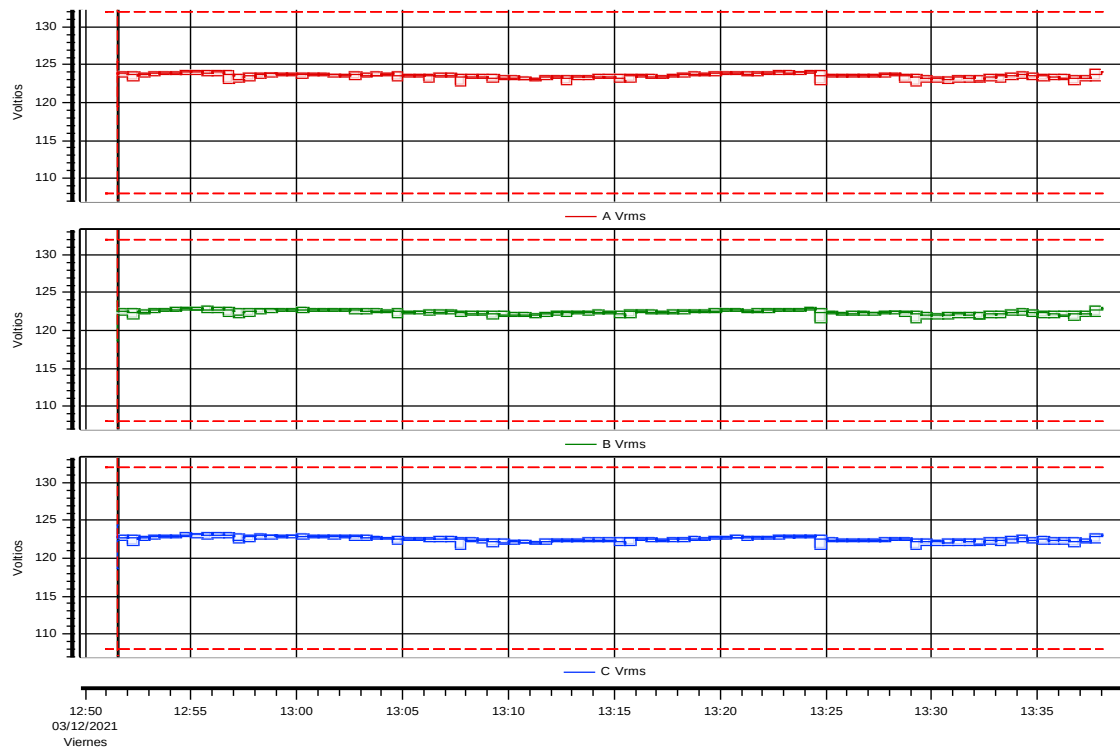
Figura 125. Factor de potencia medido en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 03/12/2021 12:51:29,793
Antes del disparo

	Mín	Máx	Pro
A Irms	0.06277	649.2	82.69
B Irms	0.06341	498.8	80.02
C Irms	0.06273	422.5	76.26

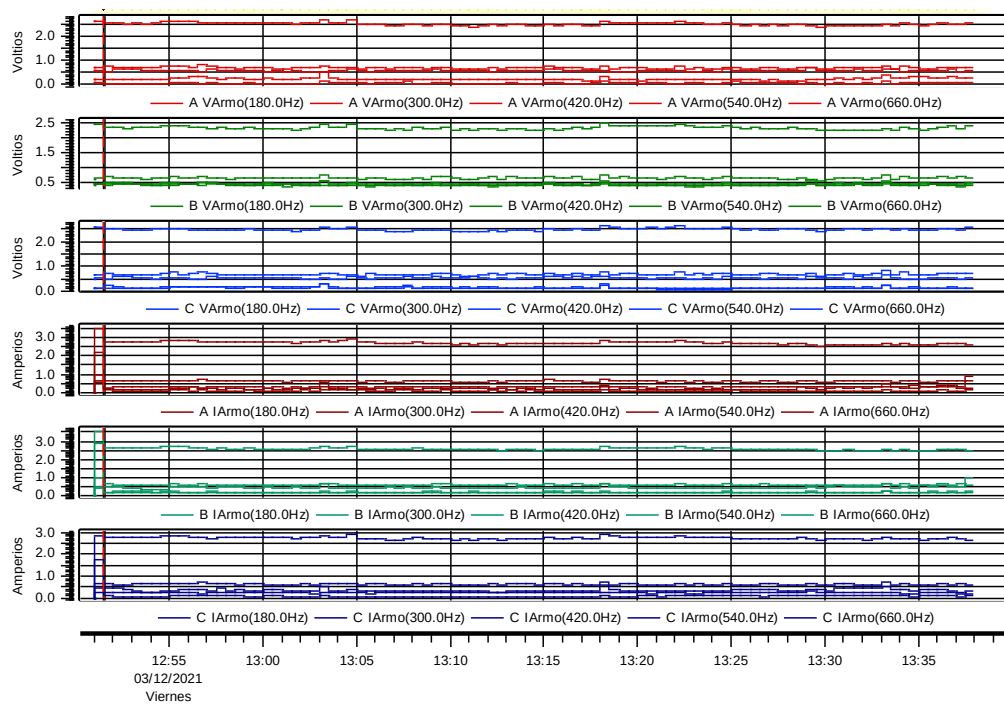
Figura 126. Corrientes medidas por fase en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 03/12/2021 12:51:29,793
Antes del disparo

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>AVrms</i>	119.5	125.4	123.6
<i>BVrms</i>	118.6	124.0	122.4
<i>CVrms</i>	118.6	124.5	122.6

Figura 127. Voltajes medidos por fase en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 03/12/2021 12:51:29,793
Antes del disparo

	Mín	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.1469	0.4934	0.2276
BVArmo(180.0Hz)	0.3688	0.5680	0.4219
CVArmo(180.0Hz)	0.06562	0.3216	0.1391
AVArmo(300.0Hz)	2.356	2.645	2.487
BVArmo(300.0Hz)	2.245	2.504	2.335
CVArmo(300.0Hz)	2.391	2.642	2.496
AVArmo(420.0Hz)	0.6135	0.8043	0.6852
BVArmo(420.0Hz)	0.5653	0.7600	0.6434
CVArmo(420.0Hz)	0.6114	0.8113	0.6875
AVArmo(540.0Hz)	0.03274	0.1666	0.06060
BVArmo(540.0Hz)	0.4154	0.5291	0.4473
CVArmo(540.0Hz)	0.1103	0.2779	0.1409
AVArmo(660.0Hz)	0.5098	0.6889	0.5746
BVArmo(660.0Hz)	0.3495	0.5219	0.4117
CVArmo(660.0Hz)	0.4680	0.6364	0.5353
AIArmo(180.0Hz)	0.002049	2.185	0.2460
BIArmo(180.0Hz)	0.002089	2.906	0.4619
CIArmo(180.0Hz)	0.002835	1.745	0.3729
AIArmo(300.0Hz)	0.003154	3.481	2.684
BIArmo(300.0Hz)	0.002646	3.528	2.563
CIArmo(300.0Hz)	0.004245	2.890	2.708
AIArmo(420.0Hz)	0.002527	0.9626	0.6188
BIArmo(420.0Hz)	0.002554	0.9728	0.5894
CIArmo(420.0Hz)	0.002454	0.7273	0.6310
AIArmo(540.0Hz)	0.002049	0.6072	0.1123
BIArmo(540.0Hz)	0.002208	0.5234	0.1810
CIArmo(540.0Hz)	0.001928	0.2883	0.09715
AIArmo(660.0Hz)	0.002566	0.5585	0.2914
BIArmo(660.0Hz)	0.002704	0.3863	0.1852
CIArmo(660.0Hz)	0.002942	0.4683	0.2515

Figura 128. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en motor lavado de estructuras de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Subestación #3

Los resultados de las mediciones se muestran a continuación.

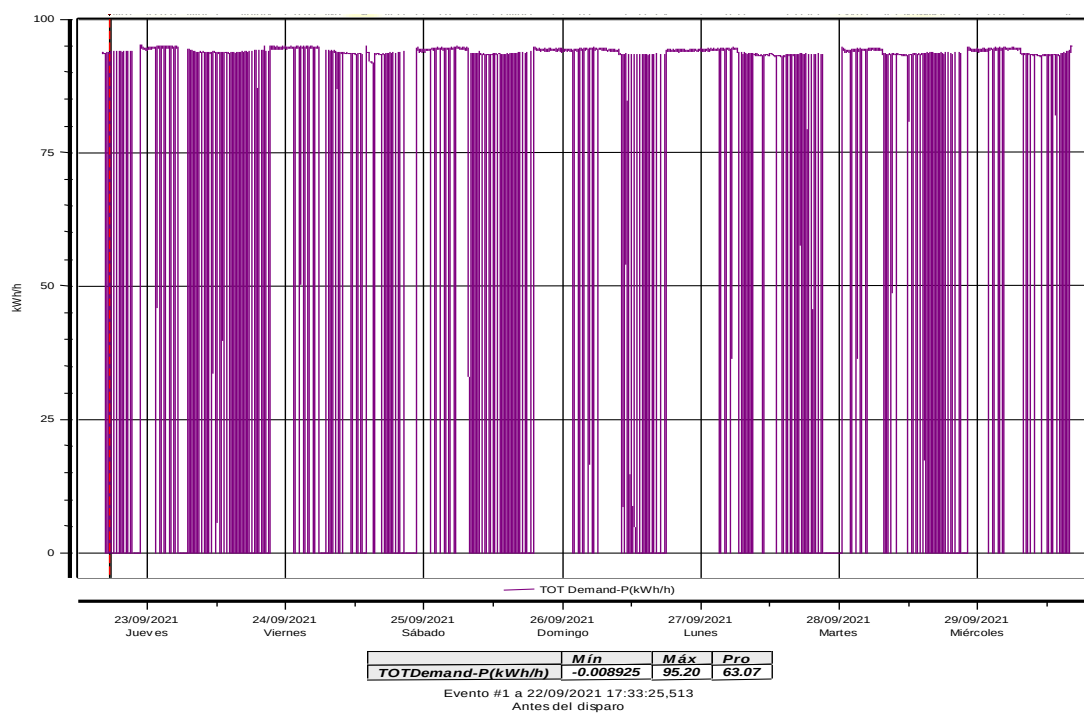


Figura 129. Consumo de energía activa en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

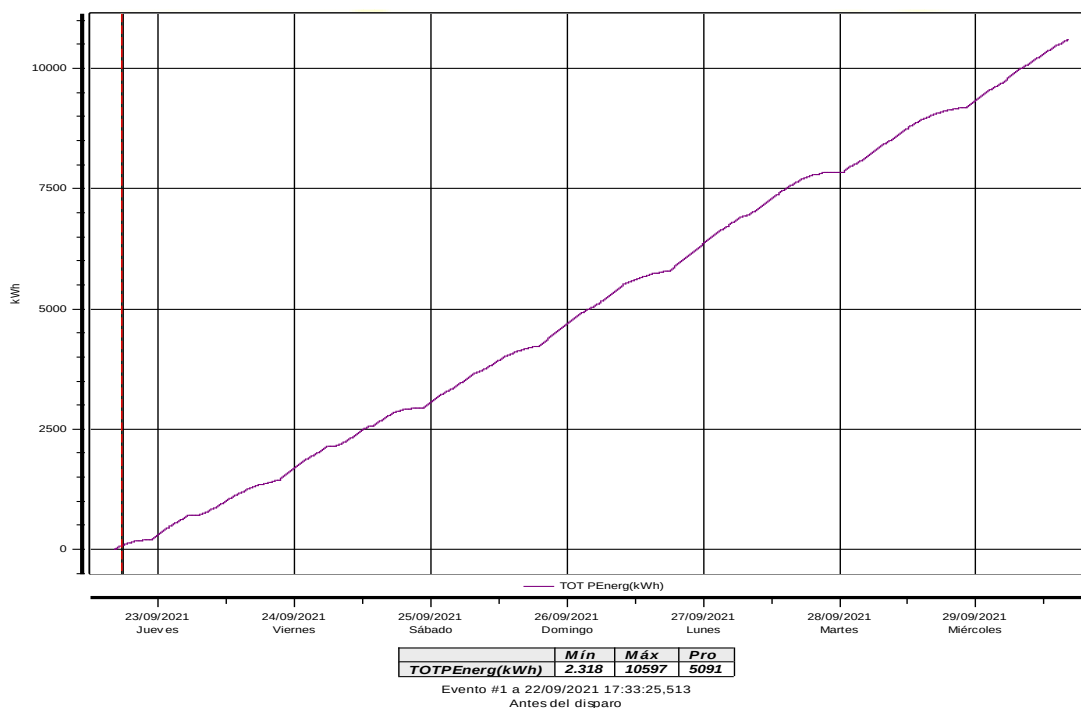


Figura 130. Consumo de energía activa acumulada en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

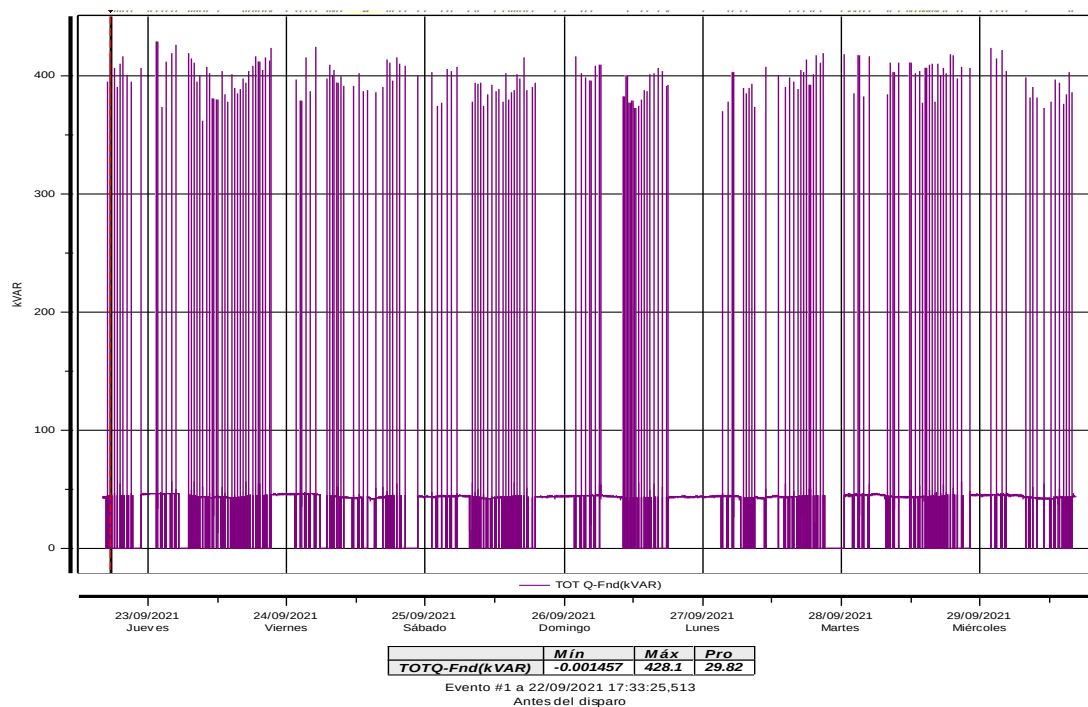


Figura 131. Consumo de energía reactiva en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

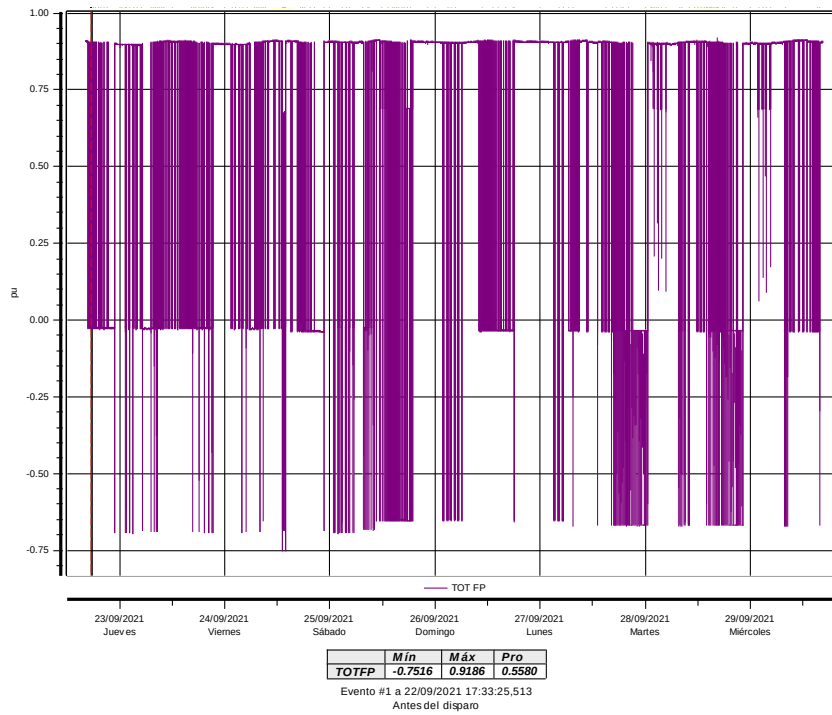


Figura 132. Factor de potencia medido en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

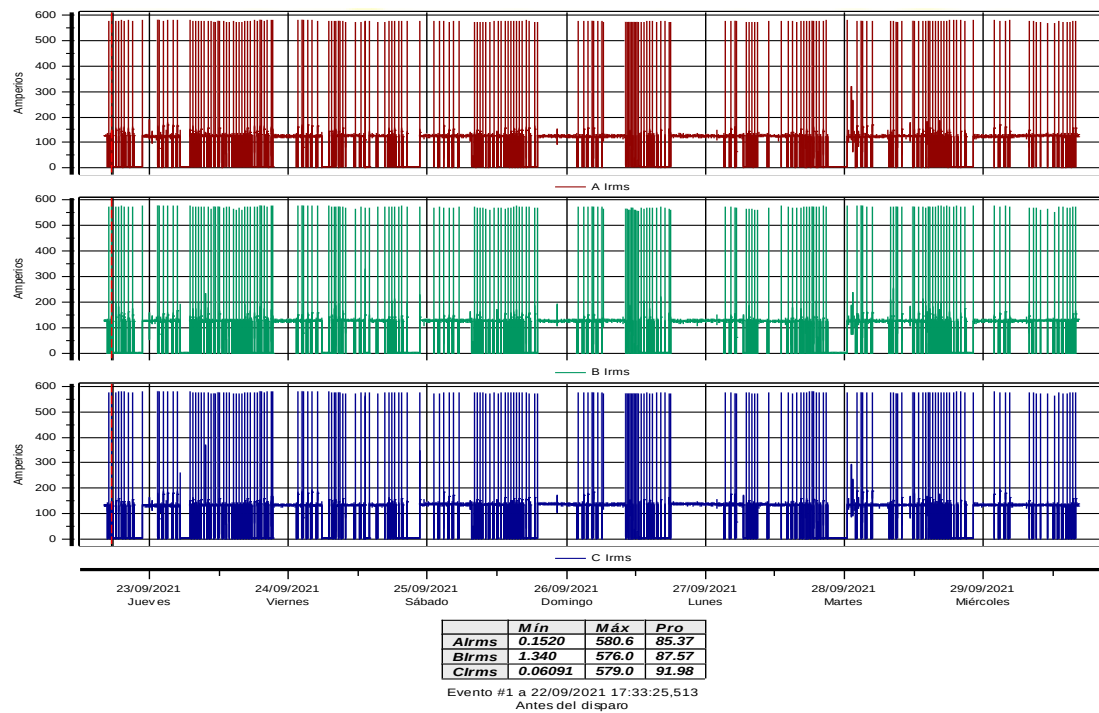
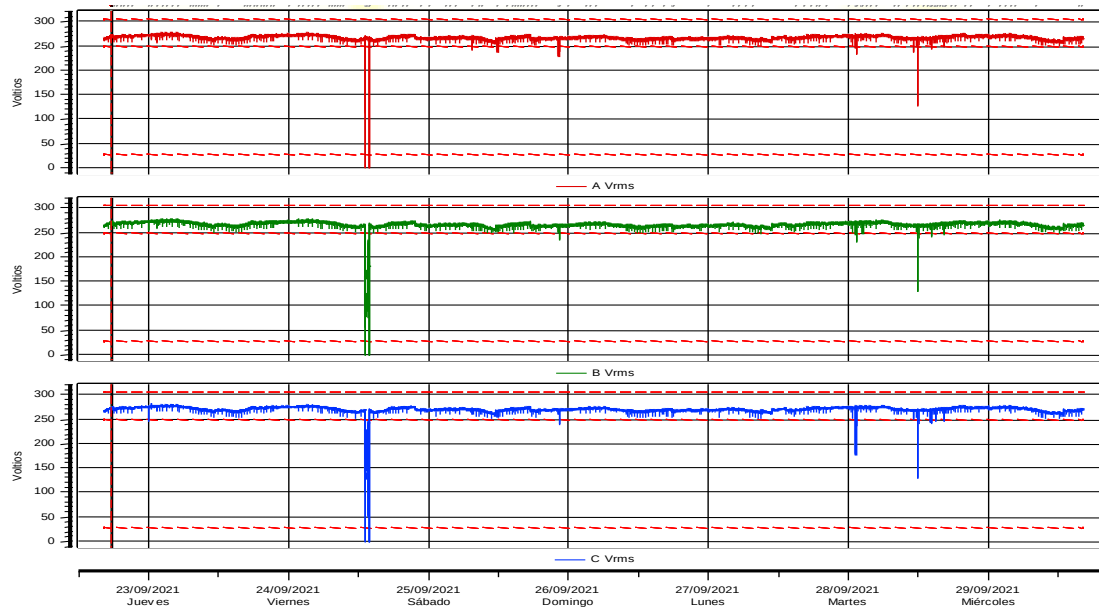


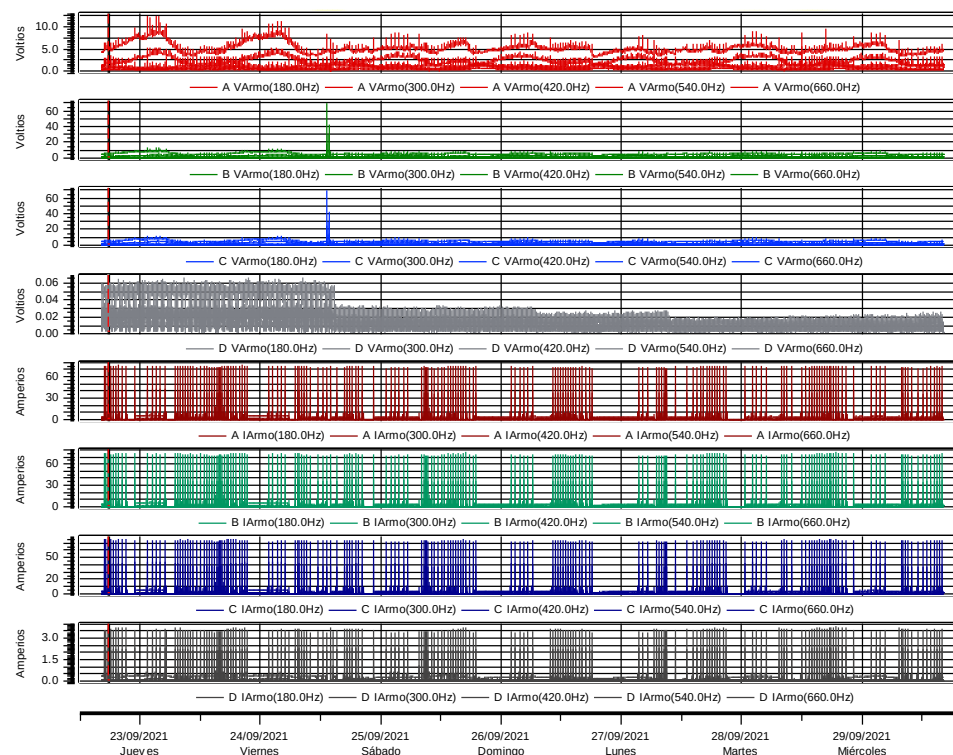
Figura 133. Corrientes medidas por fase en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>AVrms</i>	0.05174	276.7	267.5
<i>BVrms</i>	0.06031	276.8	266.3
<i>CVrms</i>	0.05217	281.2	269.4

Evento #1 a 22/09/2021 17:33:25.513
Antes del disparo

Figura 134. Voltajes medidos por fase en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 la planta Rio Cali (Elaboración propia).



	Min	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.008204	8.751	0.7325
BVArmo(180.0Hz)	0.002154	68.93	0.6856
CVArmo(180.0Hz)	0.004304	68.86	0.7214
DVArmo(180.0Hz)	0.002737	0.03777	0.01698
AVArmo(300.0Hz)	0.005003	12.32	5.185
BVArmo(300.0Hz)	0.002859	18.30	5.292
CVArmo(300.0Hz)	0.003766	24.10	4.952
DVArmo(300.0Hz)	0.004079	0.03381	0.01433
AVArmo(420.0Hz)	0.01279	5.179	2.281
BVArmo(420.0Hz)	0.003996	8.524	2.098
CVArmo(420.0Hz)	0.008027	7.783	2.150
DVArmo(420.0Hz)	0.003084	0.06536	0.02694
AVArmo(540.0Hz)	0.01586	1.357	0.3365
BVArmo(540.0Hz)	0.004648	4.374	0.2374
CVArmo(540.0Hz)	0.008460	4.512	0.2752
DVArmo(540.0Hz)	0.002433	0.04584	0.01102
AVArmo(660.0Hz)	0.005840	4.248	0.9910
BVArmo(660.0Hz)	0.002521	4.746	0.8746
CVArmo(660.0Hz)	0.004388	4.130	0.9562
DVArmo(660.0Hz)	0.002245	0.03425	0.006539
AIArmo(180.0Hz)	0.002741	9.747	0.7899
BIArmo(180.0Hz)	0.002404	5.917	0.6841
CIArmo(180.0Hz)	0.002546	11.64	0.7767
DIArmo(180.0Hz)	0.001451	0.3292	0.05426
AIArmo(300.0Hz)	0.002374	75.98	3.731
BIArmo(300.0Hz)	0.002377	76.06	3.557
CIArmo(300.0Hz)	0.002330	74.57	3.567
DIArmo(300.0Hz)	0.000592	3.787	0.2955
AIArmo(420.0Hz)	0.002707	43.32	0.9520
BIArmo(420.0Hz)	0.002536	40.58	0.8804
CIArmo(420.0Hz)	0.002762	44.20	0.9251
DIArmo(420.0Hz)	0.002213	2.361	0.09945
AIArmo(540.0Hz)	0.002266	3.816	0.1366
BIArmo(540.0Hz)	0.002725	1.645	0.1032
CIArmo(540.0Hz)	0.002266	4.266	0.09880
DIArmo(540.0Hz)	0.000588	0.1425	0.01069
AIArmo(660.0Hz)	0.002545	9.048	0.5654
BIArmo(660.0Hz)	0.003258	9.479	0.5067
CIArmo(660.0Hz)	0.002201	8.805	0.5221
DIArmo(660.0Hz)	0.000279	0.8927	0.03313

Evento #1 a 22/09/2021 17:33:25,513
Antes del disparo

Figura 135. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la salida principal de baja tensión de la subestación #3 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Subestación #4

Los resultados de esta medición se presentan a continuación.

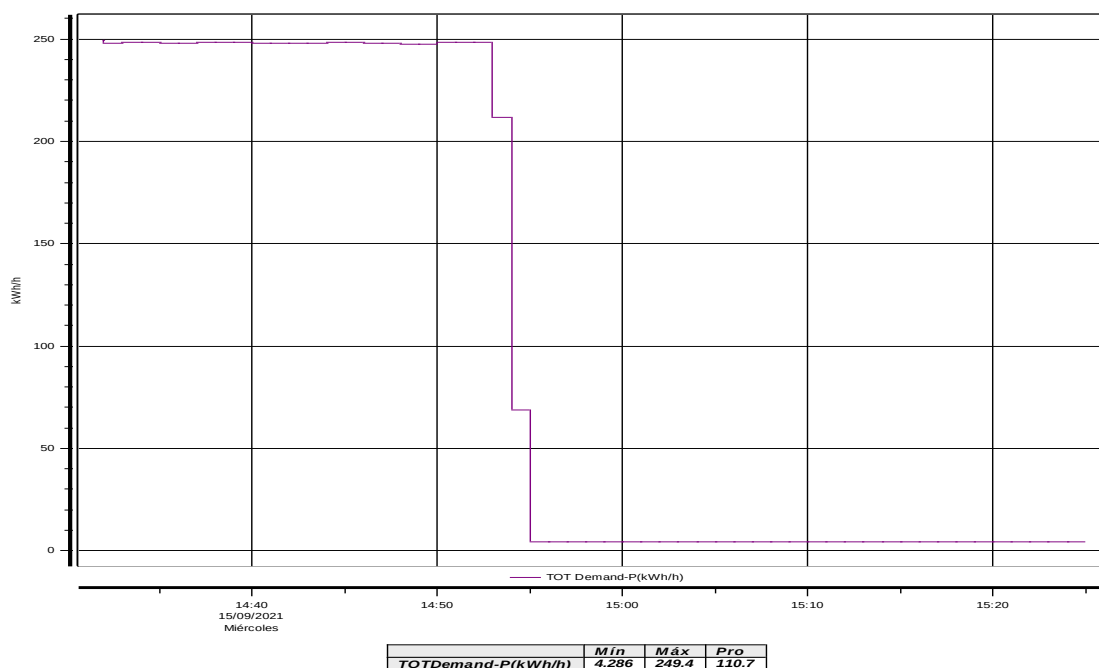


Figura 136. Consumo de energía activa en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

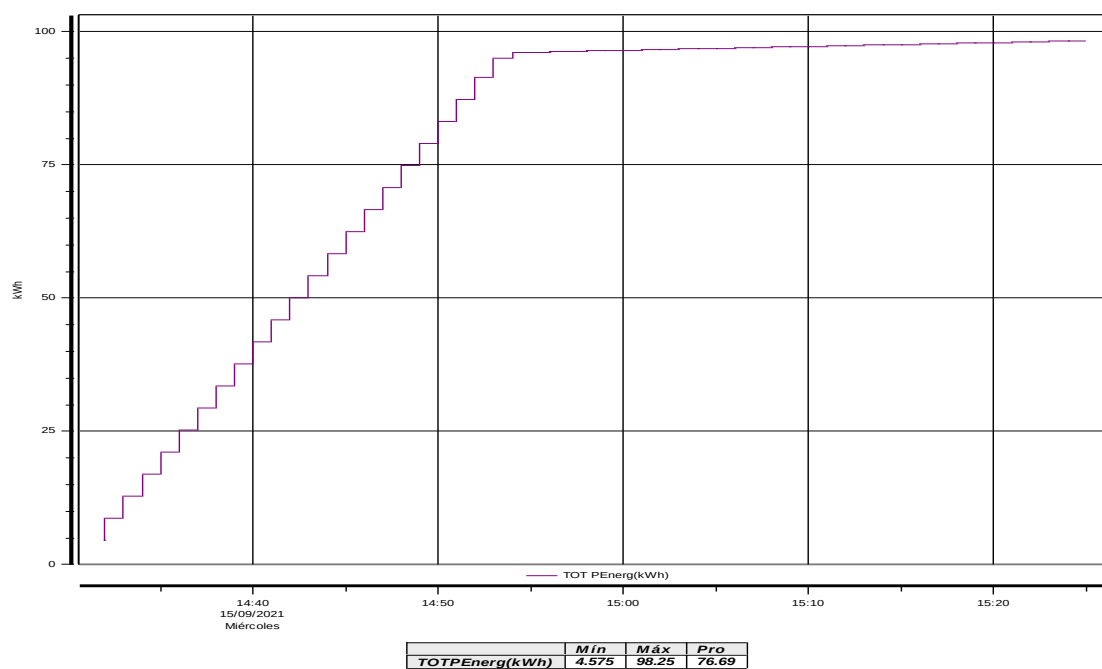
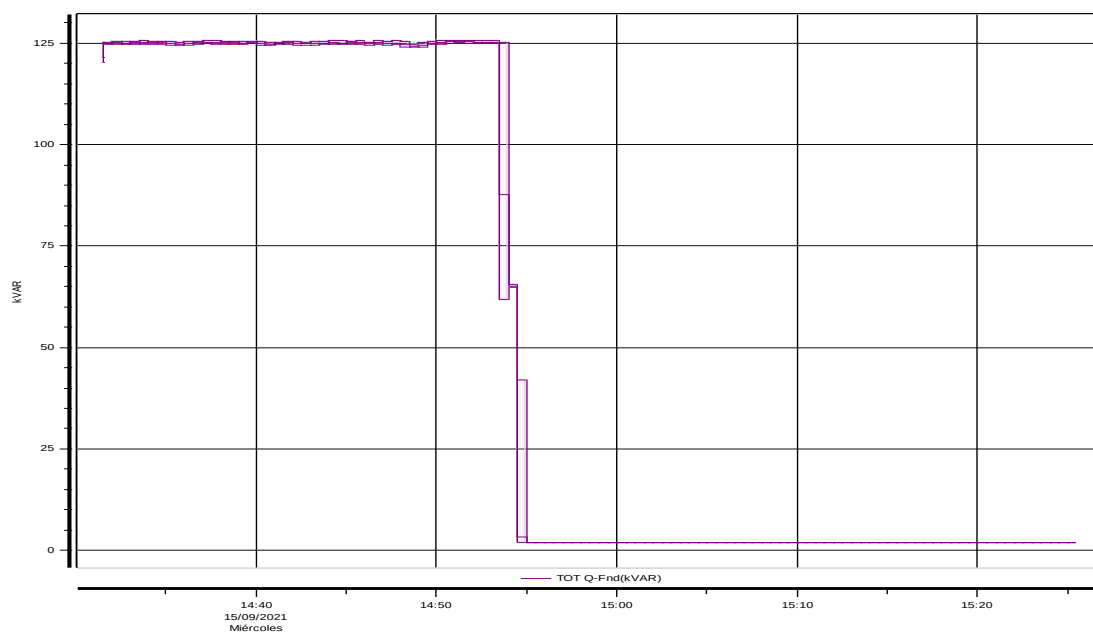


Figura 137. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



	Mín	Máx	Pro
TOTQ-Fnd(kVAR)	1.810	125.8	54.55

Figura 138. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

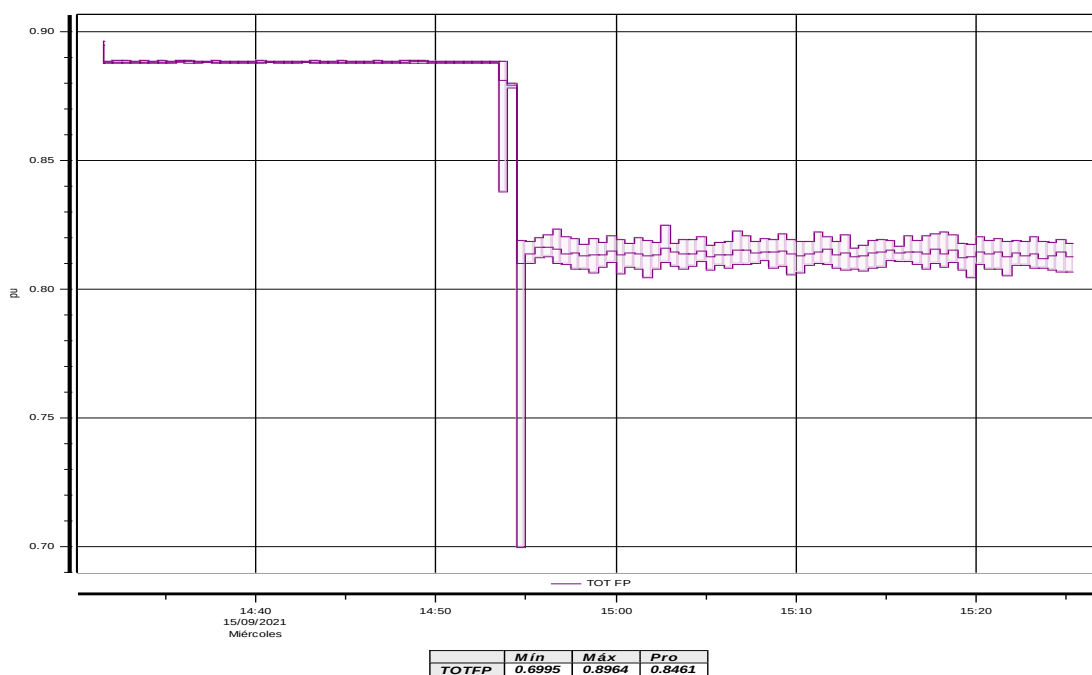


Figura 139. Factor de potencia medido en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Río Cali (Elaboración propia).

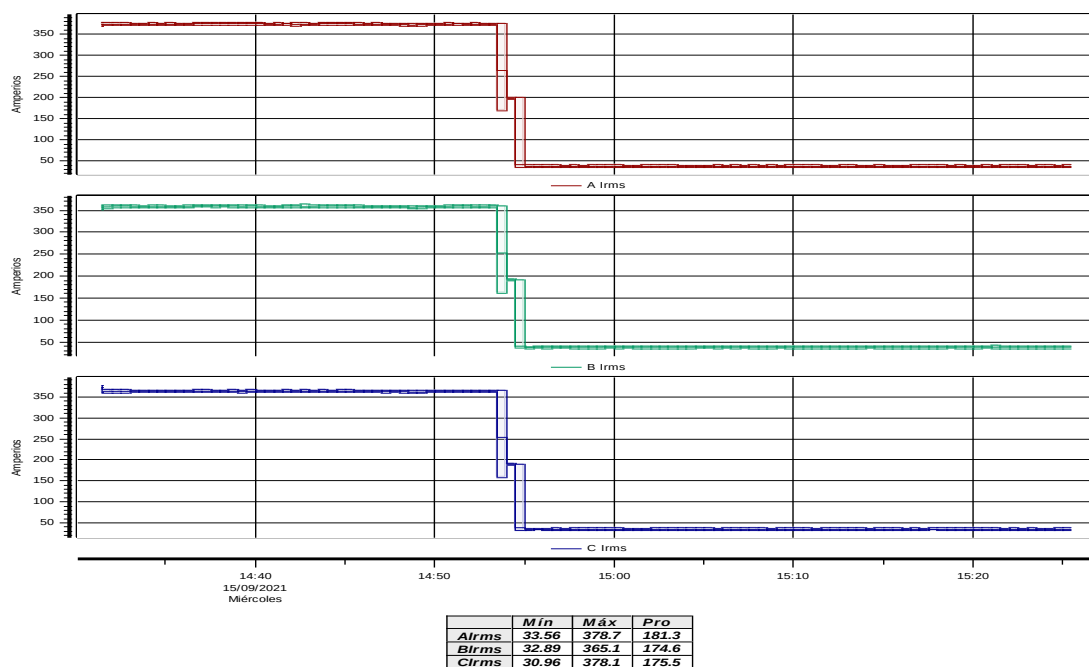
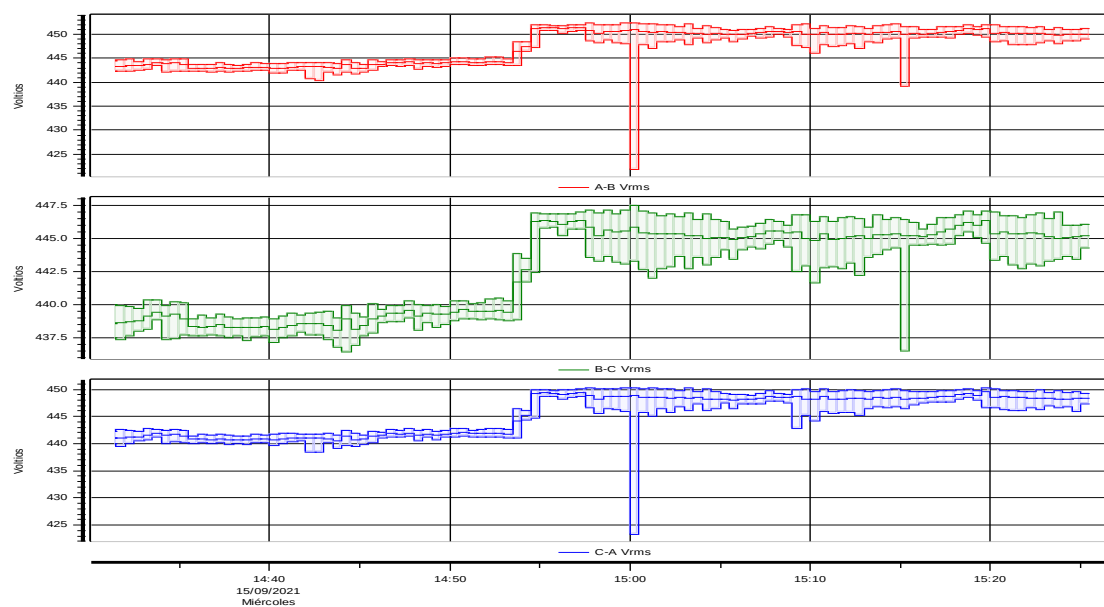
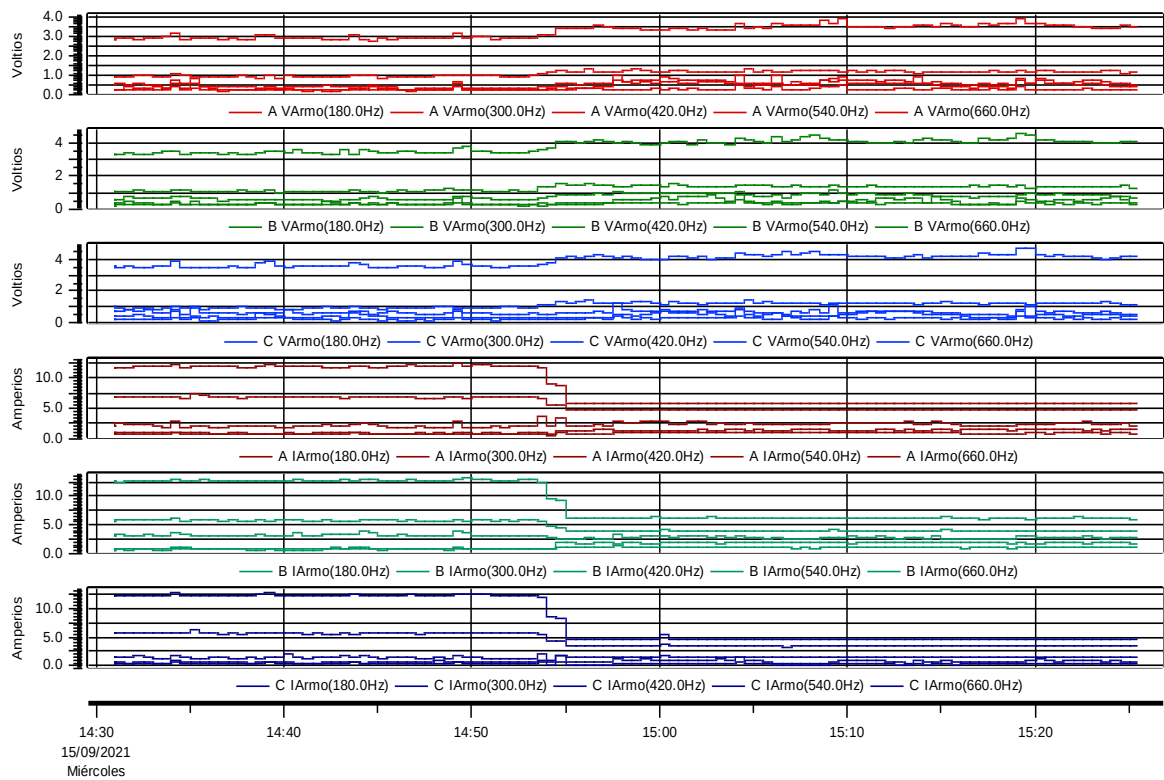


Figura 140. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Río Cali (Elaboración propia).



	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVrms	421.8	452.4	447.5
B-CVrms	436.4	447.5	442.6
C-AVrms	423.2	450.3	445.5

Figura 141. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Río Cali (Elaboración propia).



	Mín	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.2545	0.9904	0.5222
BVArmo(180.0Hz)	0.1903	0.8895	0.4083
CVArmo(180.0Hz)	0.1904	0.7897	0.4154
AVArmo(300.0Hz)	2.729	3.869	3.236
BVArmo(300.0Hz)	3.268	4.572	3.833
CVArmo(300.0Hz)	3.456	4.715	3.959
AVArmo(420.0Hz)	0.1746	0.9868	0.4602
BVArmo(420.0Hz)	0.4924	1.134	0.7617
CVArmo(420.0Hz)	0.4208	1.174	0.6421
AVArmo(540.0Hz)	0.1906	0.4794	0.2631
BVArmo(540.0Hz)	0.2172	0.5450	0.3164
CVArmo(540.0Hz)	0.1005	0.4437	0.2203
AVArmo(660.0Hz)	0.8512	1.300	1.076
BVArmo(660.0Hz)	0.9705	1.530	1.263
CVArmo(660.0Hz)	0.8201	1.389	1.088
AIArmo(180.0Hz)	1.687	3.603	2.301
BIArmo(180.0Hz)	2.502	3.946	2.956
CIArmo(180.0Hz)	0.4542	2.207	1.100
AIArmo(300.0Hz)	5.702	12.45	8.501
BIArmo(300.0Hz)	6.025	13.18	9.073
CIArmo(300.0Hz)	4.455	12.62	7.909
AIArmo(420.0Hz)	4.681	7.427	5.685
BIArmo(420.0Hz)	3.862	6.119	4.755
CIArmo(420.0Hz)	3.314	6.184	4.399
AIArmo(540.0Hz)	0.7844	1.083	0.8984
BIArmo(540.0Hz)	0.8360	1.225	0.9591
CIArmo(540.0Hz)	0.1810	0.6889	0.3904
AIArmo(660.0Hz)	0.5226	1.486	1.091
BIArmo(660.0Hz)	0.5752	1.880	1.323
CIArmo(660.0Hz)	0.4958	1.849	1.151

Figura 142. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la alimentación principal de la subestación #4 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

Floculadores del 1 al 24.

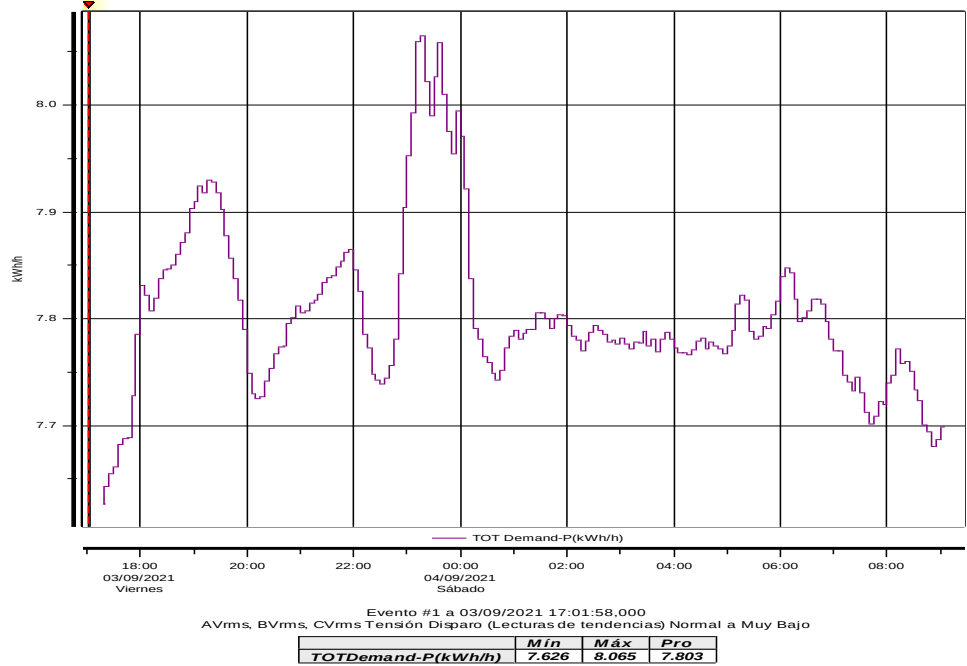


Figura 143. Consumo de energía activa en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

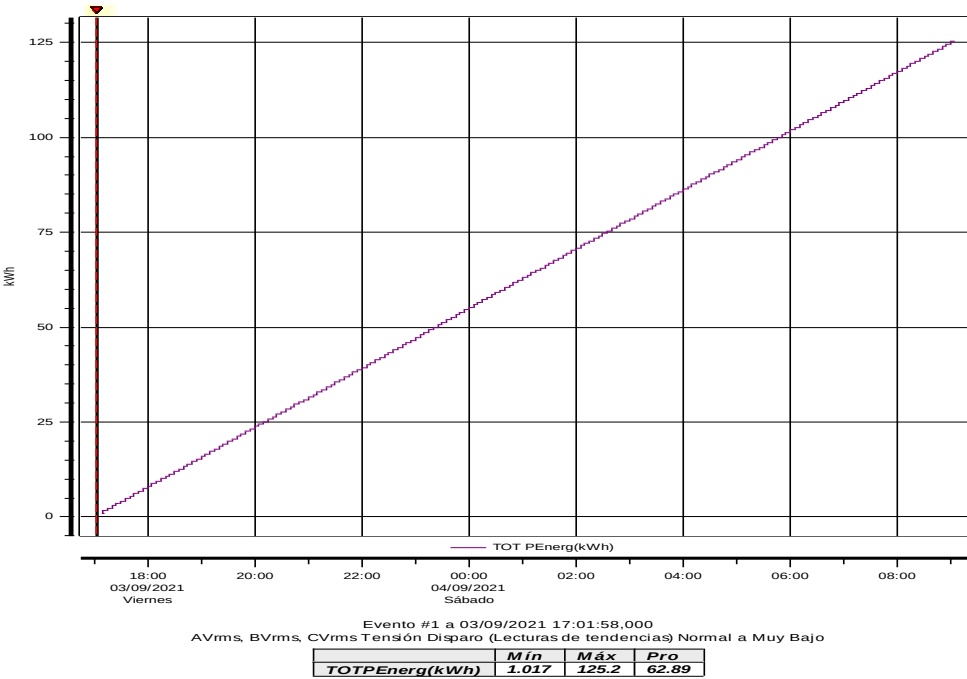


Figura 144. Consumo de energía activa acumulada en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

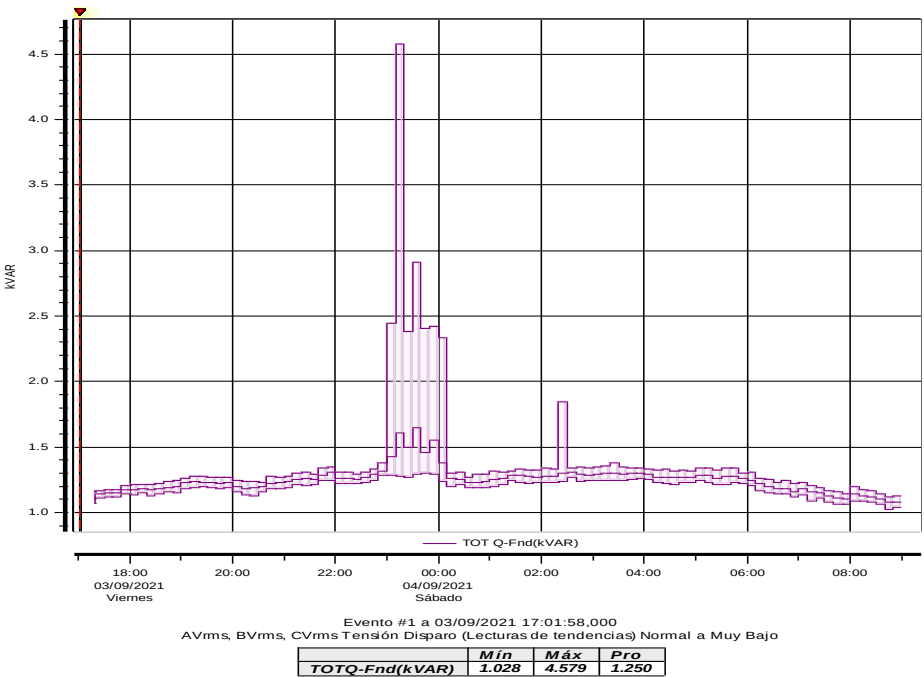


Figura 145. Consumo de energía reactiva en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

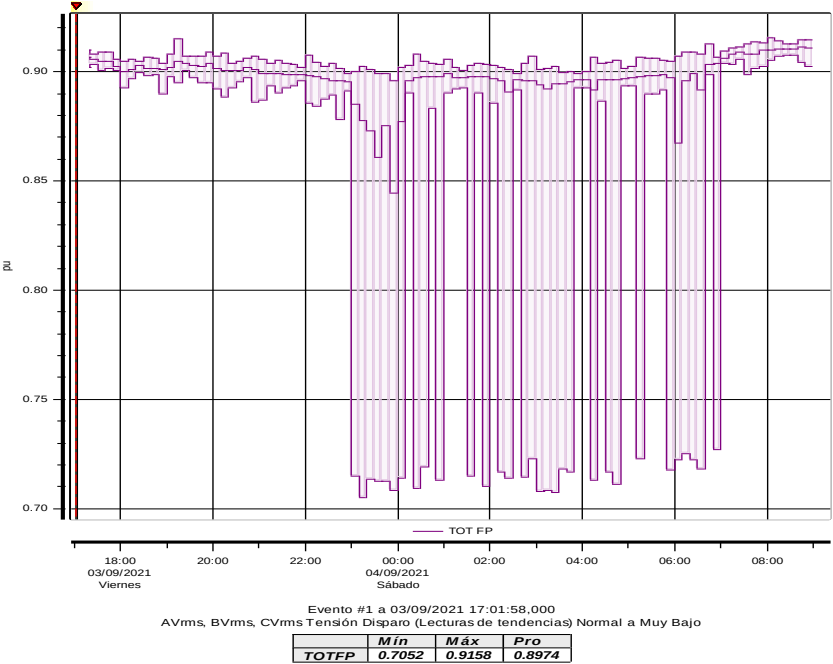


Figura 146. Factor de potencia medido en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

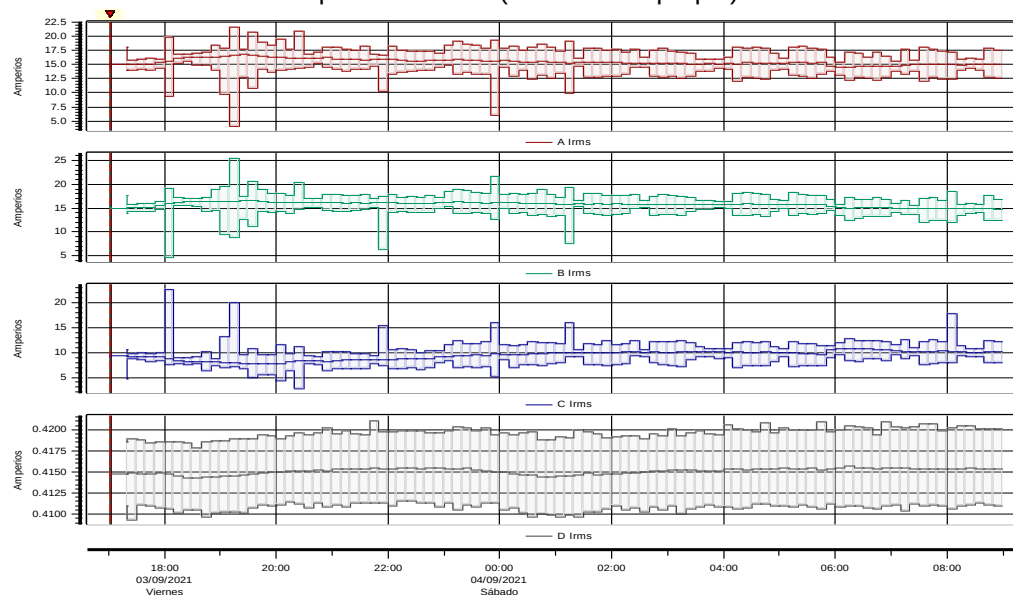


Figura 147. Corrientes medidas por fase en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

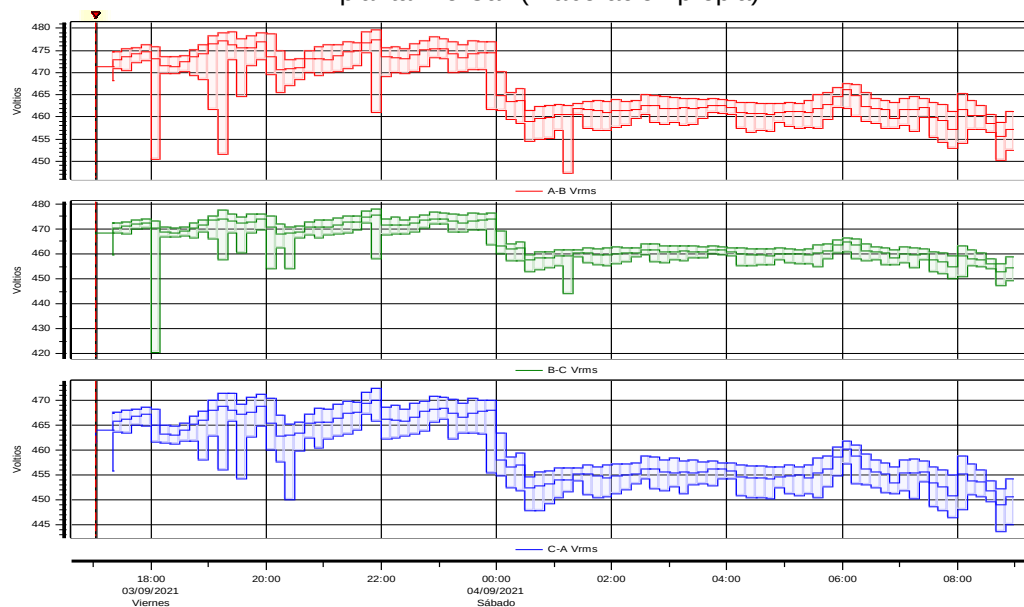
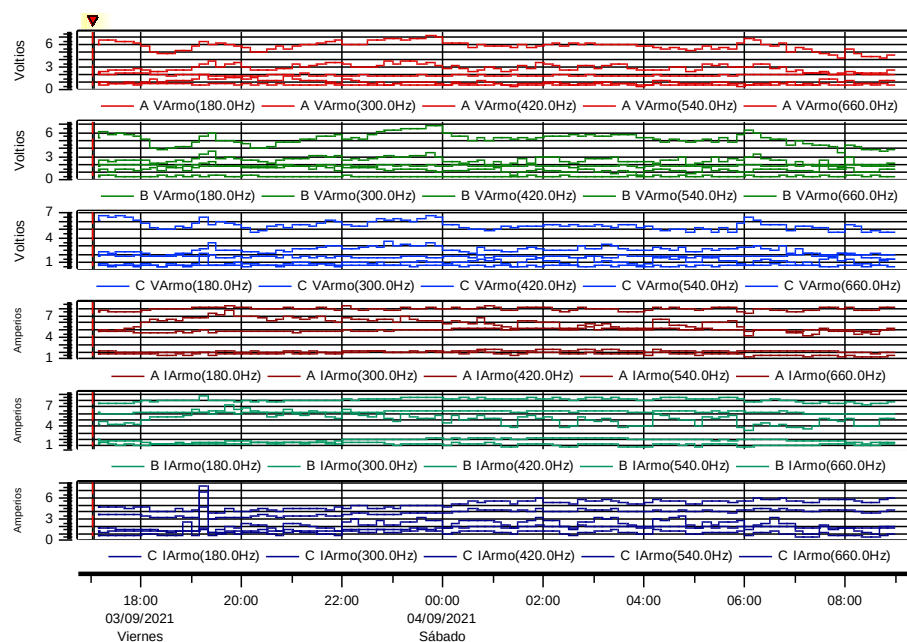


Figura 148. Voltajes medidos por fase en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).



Evento #1 a 03/09/2021 17:01:58,000
 AVrms, BVrms, CVrms Tensión Disparo (Lecturas de tendencias) Normal a Muy Bajo

	Mín	Máx	Pro
AVArmo(180.0Hz)	0.4346	2.140	1.075
BVArmo(180.0Hz)	0.6204	2.368	1.366
CVArmo(180.0Hz)	0.4842	2.214	1.056
AVArmo(300.0Hz)	4.358	7.341	5.900
BVArmo(300.0Hz)	3.450	6.935	5.213
CVArmo(300.0Hz)	4.650	6.772	5.550
AVArmo(420.0Hz)	2.053	3.952	3.004
BVArmo(420.0Hz)	1.504	3.592	2.535
CVArmo(420.0Hz)	1.474	3.657	2.564
AVArmo(540.0Hz)	0.6330	0.9579	0.7602
BVArmo(540.0Hz)	0.4113	0.7217	0.5243
CVArmo(540.0Hz)	0.5385	0.9448	0.6833
AVArmo(660.0Hz)	1.803	2.368	2.005
BVArmo(660.0Hz)	1.687	2.058	1.838
CVArmo(660.0Hz)	1.600	2.153	1.809
AIArmo(180.0Hz)	4.098	7.754	5.861
BIArmo(180.0Hz)	3.275	7.354	5.147
CIArmo(180.0Hz)	0.8286	7.719	2.225
AIArmo(300.0Hz)	7.358	8.432	7.941
BIArmo(300.0Hz)	7.384	8.755	8.062
CIArmo(300.0Hz)	3.824	6.920	5.085
AIArmo(420.0Hz)	4.623	5.362	4.971
BIArmo(420.0Hz)	5.821	6.443	6.194
CIArmo(420.0Hz)	3.019	4.799	3.917
AIArmo(540.0Hz)	1.213	2.114	1.753
BIArmo(540.0Hz)	0.7903	1.797	1.284
CIArmo(540.0Hz)	0.4503	1.753	1.060
AIArmo(660.0Hz)	1.505	2.338	1.973
BIArmo(660.0Hz)	1.260	2.315	1.863
CIArmo(660.0Hz)	1.230	2.128	1.719

Figura 149. Armónicos de corriente y tensión medidos por fase en la alimentación principal de los floculadores 1 al 24 de la planta Rio Cali (Elaboración propia).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. de A. y D. Sostenible, “Colombia Hacia la COP 21,” 2015, [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/colombia-hacia-la-cop-21-cop-22>.
- [2] M. de A. y D. Sostenible, “Colombia se suma a los esfuerzos mundiales para la adopción del libro de reglas del Acuerdo de París en la COP24,” 2018, [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/colombia-se-suma-a-los-esfuerzos-mundiales-para-la-adopcion-del-libro-de-reglas-del-acuerdo-de-paris-en-la-cop24>.
- [3] Naciones Unidas, “Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,” **Cop21**, vol. 21930, p. 18, 2015, [Online]. Available: http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf%5Cnhttps://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf.
- [4] Ministerio de mediambiente de colombia, “Colombia presenta su compromiso de reducir en un 20% las emisiones de Gases Efecto Invernadero.”
- [5] D. N. de P. Colombia, “ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE,” 2019, [Online]. Available: <https://www.ods.gov.co/es/objetivos/energia-asequible-y-no-contaminante>.
- [6] IES, IRENA, UNSD, WBG, and WHO, “Seguimiento de los ODS,” 2019.
- [7] F. Herrera, “ODS en,” **Pnud**, p. 74, 2018, [Online]. Available: https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODS/undp_co_PUBL_julio_ODS_en_Colombia_los_retos_para_2030_UNU.pdf.
- [8] D. N. de P. Colombia, “AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO,” 2019, [Online]. Available: <https://www.ods.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>.
- [9] UPME, “requisitos y procedimientos para acceder a los beneficios tributarios de descuento en el impuesto de renta, deducción de renta y exclusión del IVA para proyectos de gestión eficiente de la energía,” no. 000196, 2020.
- [10] Unidad de planeación Minero Energética (UPME), “Plan de acción inidcativo de eficiencia energética PAI-PROURE 2017-2022,” p. 157, 2017, [Online]. Available: http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf.
- [11] DIAN, “RELACIÓN ACTIVIDADES ACTIVIDADES MERITORIAS - ECONÓMICAS,” 2021. [https://www.dian.gov.co/impuestos/sociedades/ESAL/Relación de actividades meritorias y actividades económicas/Paginas/default.aspx](https://www.dian.gov.co/impuestos/sociedades/ESAL/Relación_de_actividades_meritorias_y_actividades_economicas/Paginas/default.aspx).
- [12] DANE, “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas,” 2020.

https://www.dane.gov.co/files/sen/nomenclatura/ciiu/CIIU_Rev_4_AC2020.pdf#page=40&zoom=100,90,580.

- [13] R. de Colombia, “Resolucion 41286 de 2016 Plan de acción indicativo 2017-2022 para el desarrollo del programa de uso racional y eficiente de la energía.” pp. 1–7, 2016.
- [14] M. de M. y energia; Colombia, “MinEnergía , Andesco , UPME y Findeter reconocerán el uso eficiente y responsable de la energía,” 2019.
- [15] L. N. Quintero García, “Análisis de las condiciones energética y operativa de la estación de bombeo de navarro de aguas lluvias y residuales para la elaboracion de un modelo de gestión energético,” *Вестник Росздравнадзора*, vol. 6, pp. 5–9, 2017.
- [16] A. P. S. Omar Fredy Prias Caicedo, Juan Carlos Campos Avella, David Bernardo Rojas Rodríguez, ***Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO***. 2019.
- [17] C. Campos, “Casos URE existosos en colombia,” ***Guía para implementación Sist. Integr. gestión energía_UPME***, 2011, [Online]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf>.
- [18] E. Albores Castro, “Diagnostico energético de equipos de bombeo de agua en zonas rurales,” 2018.
- [19] S. Restrepo Valencia, J. Mesa Alzate, O. Ocampo López, and L. Perdomo Hurtado, “Caracterización de la gestión energética en una empresa manufacturera de Manizales,” ***Energética***, vol. 0, no. 44, pp. 33–39, 2014.
- [20] H. D. OCAMPO YONDA, “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE EMCALI MEDIANTE LAS PRUEBAS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES, TERMOGRAFÍA Y ANÁLISIS ESPECTRAL DE CORRIENTE.,” vol. 1, no. 1, p. 118, 2018.
- [21] ICONTEC, “Sistemas de gestión de energia. Requisitos con orientación para su uso,” vol. 1, p. 49, 2019, [Online]. Available: <https://ecollection-icontec-org.bd.univalle.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=B64954BB5C217683395C8FDE618EAF39C5EF74007EEF8D70&Req=>.
- [22] C. de la república de Colombia, “Ley 142 de 1994,” 1992. <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Leyes-1994-Ley142-1994>.
- [23] UPME, “Calidad de la energía eléctrica,” ***Guía para implementación Sist. Integr. gestión energía_UPME***, 2011, [Online]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf>.
- [24] UPME, “Guía para la implementación de sistemas de gestión integral de la energía,” ***Guía para implementación Sist. Integr. gestión energía_UPME***, 2011, [Online].

Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf>.

- [25] ONUDI, "Guía práctica para la implantación de un sistema de gestión de la energía," 2015.
- [26] J. Ferrer Polo, D. Aguado García, R. Barat Baviera, J. Serralta Sevilla, and E. Lapuente Ojeda, "Huella energética en el ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid," *Fund. Canal Isabel II*, p. 187, 2017.
- [27] F. gutierrez diego. Castrillón Mendoza Rosaura del pilar, Quispe oqueña enrique ciro, González hiestroza adriana janeth, urhán rojas magdalena, "Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía. Fundamentos y casos practicos." 2014.
- [28] C. Comisión de Regulación de Energía y Gas, "Resolución CREG 015 de 2018," **Resolución 015 de 2018**. p. 239, 2018, [Online]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac?OpenDocument>.
- [29] Comisión de Regulación de Energía y Gas, "Resolución Creg 199-2019." 2019.
- [30] IDEAM, "Características Climatológicas De Ciudades Principales Y Municipios Turísticos," *Inst. Hidrol. Meteorol. y Estud. Ambient.*, p. 48, 2018, [Online]. Available:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Características+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Turísticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turísticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee91>.