



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER
EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**TEMA: “INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN
SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE
BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO
AGRIO”**

AUTOR: TUBÓN GUEVARA, JUAN PAÚL

DIRECTOR: ING. AYALA, PAUL

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICADO ELABORACIÓN DE PROYECTO

Certificamos que el proyecto “INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO” fue realizado en su totalidad por el ING. JUAN PAÚL TUBÓN GUEVARA, bajo nuestra dirección.



Ing. Paul Ayala MSc.



Ing. Hugo Ortiz MGs.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

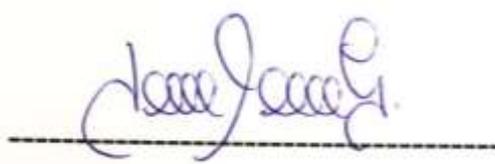
Juan Paúl Tubón Guevara

DECLARA QUE:

El proyecto de grado denominado “INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO” ha sido desarrollado en base a una investigación, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.

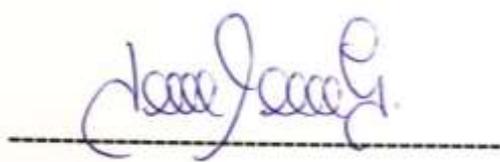
Sangolquí, Mayo 2015.



Ing. Juan Paúl Tubón Guevara

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Yo, Juan Paúl Tubón Guevara, con C.I. 1716803687, autorizo a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”, para que publique en la biblioteca virtual el proyecto titulado: “INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO”



Ing. Juan Paúl Tubón Guevara

DEDICATORIA

*Este esfuerzo lo dedico a mis padres José Tubón y Rosa Guevara, a mí
querida hermana Verito y a su esposo Ismael, y
en especial a mí novia Deysi*

AGRADECIMIENTOS

A tod@s las personas que de una u otra forman colaboraron.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO ELABORACIÓN DE PROYECTO	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.5 ALCANCE	5
1.6 HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	7
2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA ALTERNATIVA EN EL ECUADOR	7
2.1.1 PROYECTO EUROSOLAR	8
2.1.2 PROYECTO EÓLICO BALTRA SANTA CRUZ.....	9
2.1.3 PROYECTO EÓLICO VILLONACO	10
2.1.4 PROYECTO FOTOVOLTAICO - PUERTO AYORA	11
2.1.5 PROYECTO PIÑÓN – GALÁPAGOS	11
2.2 RECURSO SOLAR	13

2.3	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
2.3.1	<i>CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (EFECTO FOTOELÉCTRICO)</i>	18
2.3.2	<i>TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (EL SILICIO).....</i>	20
2.3.3	<i>PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS</i>	22
2.4	BOMBEO DE AGUA.....	25
2.5	USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS DE AGUA POTABLE DE USO RESIDENCIAL.....	27
2.5.1	<i>ALTURA DINÁMICA TOTAL (ADT)</i>	27
2.5.2	<i>CONJUNTO MOTOR-BOMBA.....</i>	28
2.5.3	<i>CONSUMO DE ENERGÍA (KWh).....</i>	28
2.5.4	<i>EFICIENCIA DE LA BOMBA (η_b).....</i>	28
2.5.5	<i>EFICIENCIA DEL CONJUNTO MOTOR-BOMBA (η_T).....</i>	28
2.5.6	<i>EFICIENCIA DEL MOTOR (η_m).....</i>	28
2.5.7	<i>EFICIENCIA EN EL PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN.....</i>	28
2.5.8	<i>FLUJO VOLUMÉTRICO O CAUDAL.....</i>	29
2.5.9	<i>VELOCIDAD ANGULAR (VELOCIDAD DE ROTACIÓN).....</i>	29
2.5.10	<i>POTENCIA DE ENTRADA A LA BOMBA.....</i>	29
2.5.11	<i>VALORES MÍNIMOS DE EFICIENCIA.....</i>	29
2.6	BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	30
2.7	MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	31
2.7.1	<i>FRECUENCIA DE MEDICIÓN.....</i>	32
CAPÍTULO III.....		33
ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.....		33
3.1.	BOMBAS SOLARES PARA AGUA.....	33
3.1.1.	<i>SEGÚN LA MANERA EN QUE EL AGUA ES MOVIDA ENTRE LOS DOS NIVELES.....</i>	33
3.1.1.1.	<i>BOMBA SOLAR CENTRÍFUGA.....</i>	33
3.1.1.2.	<i>BOMBA SOLAR VOLUMÉTRICA (O DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO).....</i>	34
3.1.2.	<i>SEGÚN LA UBICACIÓN DE LA BOMBA RESPECTO A LA FUENTE DE AGUA.....</i>	35
3.1.2.1.	<i>BOMBA SOLAR SUPERFICIAL.....</i>	35
3.1.2.2.	<i>BOMBA SOLAR SUMERGIBLE.....</i>	35
3.1.3.	<i>SEGÚN EL TIPO DE MOTOR ELÉCTRICO REQUERIDO.....</i>	36
3.1.3.1	<i>BOMBAS DE CC - CORRIENTE CONTINUA.....</i>	36
3.1.3.2	<i>BOMBAS DE AC - CORRIENTE ALTERNA.....</i>	36
3.2.	CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR.....	36
3.2.1.	<i>SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO POR NIVEL DE POTENCIA.....</i>	37
3.2.1.1.	<i>SISTEMAS DE BAJA POTENCIA (50 A 400 WP).....</i>	37

3.2.1.2.	SISTEMAS DE MEDIA POTENCIA (400 A 1500 WP)	38
3.2.1.3.	SISTEMAS DE ALTA POTENCIA (MAYOR A 1500 WP).....	38
3.2.2.	<i>SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO POR FORMA DE ACOPLA</i>	39
3.2.2.1.	EL EQUIPO MOTOR-BOMBA SUMERGIDO.....	41
3.2.2.2.	LA BOMBA SUMERGIDA CON MOTOR EN LA SUPERFICIE	41
3.2.2.3.	EL MOTOR-BOMBA TIPO FLOTANTE.....	42
3.2.2.4.	EL EQUIPO MOTOR-BOMBA INSTALADAS EN LA SUPERFICIE.....	43
3.3.	SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	44
3.4.	AVANCES DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR.	46
3.4.1.	<i>VISIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.....</i>	<i>47</i>
3.4.2.	<i>ESTUDIOS RELACIONADOS CON SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR.....</i>	<i>48</i>
3.4.2.1.	“DETERMINACIÓN DEL SISTEMA SOLAR OPTIMO PARA BOMBEO DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, RIEGO DE GANADO”.....	48
3.4.2.2.	“ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA OPERACIÓN DE ESTACIONES DE BOMBEO EN LA REGIÓN DELTA DEL NILO, USANDO TÉCNICAS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”	49
3.4.2.3.	“DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEO DE AGUA Y COMPARARLO CON EL BOMBEO ACCIONADO CON DIESEL”	50
CAPÍTULO IV	52	
DESARROLLO EXPERIMENTAL	52	
4.1.	EQUIPOS DE MONITOREO	52
4.1.1.	<i>MEDIDOR DE POTENCIA Y ENERGÍA AEMC PEL 103</i>	<i>52</i>
4.1.2.	<i>AMPERÍMETRO FLUKE 375.....</i>	<i>53</i>
4.1.3.	<i>MULTÍMETRO FLUKE 789.....</i>	<i>54</i>
4.2.	DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DOMÉSTICO TRADICIONAL.	55
4.2.1.	<i>SISTEMA DE BOMBEO DOMÉSTICO TRADICIONAL.....</i>	<i>55</i>
4.2.2.	<i>DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO</i>	<i>60</i>
4.2.2.1.	DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO N° 1	61
4.2.2.2.	CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 1	63
4.2.2.3.	DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO N° 2	69
4.2.2.4.	CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 2.....	71
4.2.3.	<i>INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO EN SISTEMA DE BOMBEO TRADICIONAL.....</i>	<i>77</i>
4.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.....	80
4.3.1.	<i>CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 1</i>	<i>83</i>
4.3.2.	<i>CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 2</i>	<i>86</i>
4.3.3.	<i>SELECCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN HIDRÁULICA.....</i>	<i>90</i>
4.3.4.	<i>DISEÑO FOTOVOLTAICO</i>	<i>94</i>

4.2.4. <i>INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO EN EL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.</i>	103
CAPÍTULO V	107
ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN	107
5.1. ESTADÍSTICAS DE CONSUMO ELÉCTRICO	107
5.2. CALIDAD DE LA ENERGÍA (CONELEC, 2014)	111
5.2.1. <i>CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO (CONELEC, 2014)</i>	111
5.2.2. <i>CALIDAD DEL SERVICIO COMERCIAL (CONELEC, 2014)</i>	111
5.2.3. <i>CALIDAD DEL PRODUCTO (CONELEC, 2014)</i>	112
5.2.3.1. <i>NIVEL DE TENSIÓN (CONELEC, 2014)</i>	112
5.2.3.2. <i>ARMÓNICOS (Fink, 2010)</i>	113
5.2.3.3. <i>DISTORSIÓN ARMÓNICA (CONELEC, 2014)</i>	113
5.2.3.4. <i>FACTOR DE POTENCIA (CONELEC, 2014)</i>	115
5.3. DATOS OBTENIDOS CON EQUIPOS DE MONITOREO	115
5.3.1. <i>DATOS OBTENIDOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO Nº 1</i>	115
5.3.1.1. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 1 – PRIMER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	119
5.3.1.2. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 1 – SEGUNDO REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	126
5.3.1.3. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 1 – TERCER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	133
5.3.2. <i>DATOS OBTENIDOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO Nº 2</i>	141
5.3.2.1. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 2 – PRIMER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	144
5.3.2.2. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 2 – SEGUNDO REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	151
5.3.2.3. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 2 – TERCER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	158
5.3.2.4. <i>SITIO DE ESTUDIO Nº 2 – CUARTO REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA</i>	165
5.4. ANÁLISIS DEL BOMBEO EN DC	173
5.5. ANÁLISIS ENERGÉTICO	179
CAPÍTULO VI	183
ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	183
6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO	183
6.1.1. <i>COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN</i>	183
6.1.2. <i>COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO DE DC</i>	184
6.1.3. <i>COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO MIXTO (AC Y DC)</i>	184
6.1.4. <i>COSTOS ENERGÉTICOS PARA SUSTITUIR UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE AC A DC</i>	184
6.1.5. <i>COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AC POR MULTAS (CONELEC, 2014)</i>	186

6.2.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	187
6.2.1.	<i>ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 1.....</i>	<i>187</i>
6.2.2.	<i>ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 2.....</i>	<i>189</i>
6.2.3.	<i>ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 3.....</i>	<i>191</i>
6.2.4.	<i>ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 4.....</i>	<i>193</i>
6.3.	ANÁLISIS FINANCIERO AMBIENTAL.....	195
	CAPÍTULO VII	197
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	197
7.1.	CONCLUSIONES.....	197
7.2.	RECOMENDACIONES	200
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	201
	ANEXOS	207
	ANEXO A	208
	<i>DIAGRAMA DE MOODY.....</i>	<i>208</i>
	ANEXO B	209
	<i>CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA SUMERGIBLE SDS-T-128.....</i>	<i>209</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proyecto EUROSOLAR	9
Figura 2.2. Proyecto Eólico Baltra Santa Cruz.....	10
Figura 2.3. Proyecto EÓLICO VILLONACO.....	10
Figura 2.4. Proyecto FOTOVOLTAICO - PUERTO AYORA	11
Figura 2.5. Proyecto PIÑÓN – GALÁPAGOS.....	12
Figura 2.6. Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año (TW-año).....	13
Figura 2.7. Insolación Directa Promedio	16
Figura 2.8. Insolación Difusa Promedio	16
Figura 2.9. Insolación Global Promedio	17
Figura 2.10. Célula Fotovoltaica – Efecto Fotoeléctrico.....	18
Figura 2.11. Células de Silicio a) monocristalino y b) policristalino.....	21
Figura 2.12. Curva característica de un panel solar	23
Figura 2.13. Curva Caudal – Eficiencia	30
Figura 2.14. Sistema de Bombeo Solar Directo.....	31
Figura 3.1. Bombas Centrifugas	34
Figura 3.2. Bomba de Desplazamiento Positivo Kyocera serie SD	34
Figura 3.3. Bomba Superficial.....	35
Figura 3.4. Bomba Sumergible	35
Figura 3.5. Sistemas de Baja Potencia (a) Model SDS o (b) Shurflo 9300.....	37
Figura 3.6. a) Inversor DC/AC y bomba centrífuga sumergible (Grundfos SA400) b) Bomba con Motor DC sin Escobillas.....	38
Figura 3.7. Bomba Helicoidal Sumergible con Motor DC sin escobillas de alto rendimiento (Monopumps)	39
Figura 3.8. Configuraciones de Bombeo Fotovoltaico Comúnmente Instaladas por Forma de Acople.....	40
Figura 3.9. El equipo motor–bomba sumergido.....	41
Figura 3.10. La bomba sumergida con motor en superficie	42
Figura 3.11. El motor–bomba tipo flotante	43
Figura 3.12. El equipo motor-bomba instaladas en la superficie	43

Figura 3.13. Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bombas solares..	44
Figura 3.14. Resultados de Estudios de la Universidad Estatal de Washington – a) Paneles solares	46
Figura 3.15. Resultados de Estudios de la Universidad Estatal de Washington – b) Capacidad Instalada	47
Figura 3.16. Comparación de Costos	47
Figura 3.17. Periodo de recuperación de inversión	48
Figura 4.1. Medidor de Energía y Registrador	53
Figura 4.2. Amperímetro Fluke 375	53
Figura 4.3. Amperímetro Fluke 375	54
Figura 4.4. Sistema de Bombeo Tradicional.....	56
Figura 4.5. Sistema de Bombeo Tradicional en Lago Agrio.....	58
Figura 4.6. Lago Agrio Vista Aérea (2008).....	59
Figura 4.7. Lago Agrio – Barrio Simón Bolívar (2014)	59
Figura 4.8. Área Urbana de Lago Agrio – Sitios de Estudio.....	60
Figura 4.9. Área Urbana de Lago Agrio – Sitio de Estudio N° 1	61
Figura 4.10. Área de Almacenamiento Secundario – Sitio de Estudio N° 1.....	62
Figura 4.11. Sistema de Bombeo – Datos de Placa– Sitio de Estudio N° 1	62
Figura 4.12. Sistema de Bombeo – Hojas Características – Sitio de Estudio N° 1.....	63
Figura 4.13. Bomba Pedrollo CPm 620 – Sitio de Estudio N° 1.....	68
Figura 4.14. Área Urbana de Lago Agrio – Sitio de Estudio N° 2	69
Figura 4.15. Área de Almacenamiento Secundario – Sitio de Estudio N° 2.....	70
Figura 4.16. Sistema de Bombeo – Datos de Placa – Sitio de Estudio N° 2	70
Figura 4.17. Sistema de Bombeo – Hojas Características – Sitio de Estudio N° 2.....	71
Figura 4.18. Bomba Pedrollo CPm 620 – Sitio de Estudio N° 2.....	76
Figura 4.19. Instalación de Analizador de Energía Para Sitios de Estudio 1 y 2	77
Figura 4.20. Punto de Bombeo Para Sitio de Estudio 1.....	78
Figura 4.21. Punto de Bombeo Para Sitio de Estudio 2.....	79
Figura 4.22. Punto de Análisis Para Sitio de Estudio 1.....	79
Figura 4.23. Punto de Análisis Para Sitio de Estudio 2.....	80

Figura 4.24. Sistema de Bombeo de DC Solar	81
Figura 4.25. Esquema del Sitio de Bombeo N° 1	83
Figura 4.26. Esquema del Sitio de Bombeo N° 2.....	87
Figura 4.27. Esquema del Sitio de Bombeo N° 1.....	91
Figura 4.28. Curvas Características de Bomba SunPumps SDS-T-128.....	92
Figura 4.29. Fuente regulada de 24 VDC	103
Figura 4.30. Reductor de Tensión (Negative Booster).....	103
Figura 4.31. Linear Current Booster	104
Figura 4.32. Equipos utilizados para las pruebas	104
Figura 4.33. Equipos de Medición utilizados para las pruebas a 24 VDC	105
Figura 4.34. Equipos de Medición utilizados para las pruebas a 12 VDC	105
Figura 4.35. Equipos Instalados para las pruebas necesarias.....	106
Figura 4.36. Bomba de DC instalada para Pruebas	106
Figura 5.1. Número anual de clientes regulados CNEL Sucumbíos.....	108
Figura 5.2. Central de Generación Celso Castellanos - CNEL Sucumbíos	110
Figura 5.3. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 28 días	116
Figura 5.4. Registro de tendencias de “P”, “Q” y “S” durante 28 días.....	117
Figura 5.5. Registro de tendencias de Energía durante 28 días.....	118
Figura 5.6. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 24 horas	119
Figura 5.7. Registro de tendencias de “V”, “I” durante el Primer Registro	120
Figura 5.8. Primer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba	121
Figura 5.9. Primer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba	121
Figura 5.10. Primer Registro – Factor de Potencia.....	122
Figura 5.11. Distorsión Armónica Total THD durante Primer Registro	123
Figura 5.12. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 50).....	124
Figura 5.13. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 15).....	125
Figura 5.14. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Segundo Registro.....	127
Figura 5.15. Segundo Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba.....	128
Figura 5.16. Segundo Registro de fin de funcionamiento de la Bomba	128

Figura 5.17. Segundo Registro – Factor de Potencia	129
Figura 5.18. Distorsión Armónica Total THD durante el Segundo Registro	130
Figura 5.19. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 50)	131
Figura 5.20. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 15)	132
Figura 5.21. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Tercer Registro.....	134
Figura 5.22. Tercer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba.....	135
Figura 5.23. Tercer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba	135
Figura 5.24. Tercer Registro – Factor de Potencia	136
Figura 5.25. Distorsión Armónica Total THD durante el Tercer Registro	137
Figura 5.26. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 50)	138
Figura 5.27. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 15)	139
Figura 5.28. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 30 días	141
Figura 5.29. Registro de tendencias de “P”, “Q” y “S” durante 30 días.....	142
Figura 5.30. Registro de tendencias de Energía durante 30 días.....	143
Figura 5.31. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 24 horas	144
Figura 5.32. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Tercer Registro.....	145
Figura 5.33. Primer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba	146
Figura 5.34. Primer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba.....	146
Figura 5.35. Primer Registro – Factor de Potencia.....	147
Figura 5.36. Distorsión Armónica Total THD durante Primer Registro	148
Figura 5.37. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 50).....	149
Figura 5.38. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 15).....	150
Figura 5.39. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Segundo Registro.....	152
Figura 5.40. Segundo Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba.....	153
Figura 5.41. Segundo Registro de fin de funcionamiento de la Bomba	153
Figura 5.42. Segundo Registro – Factor de Potencia	154
Figura 5.43. Distorsión Armónica Total THD durante el Segundo Registro	155
Figura 5.44. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 50)	156
Figura 5.45. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 15)	157

Figura 5.46. Registro de tendencias de “V” e “I” durante Tercer Registro	159
Figura 5.47. Tercer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba.....	160
Figura 5.48. Tercer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba	160
Figura 5.49. Tercer Registro – Factor de Potencia	161
Figura 5.50. Distorsión Armónica Total THD durante el Tercer Registro	162
Figura 5.51. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 50)	163
Figura 5.52. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 15)	164
Figura 5.53. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Cuarto Registro	166
Figura 5.54. Cuarto Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba	167
Figura 5.55. Cuarto Registro de fin de funcionamiento de la Bomba.....	167
Figura 5.56. Tercer Registro – Factor de Potencia	168
Figura 5.57. Distorsión Armónica Total THD durante el Cuarto Registro	169
Figura 5.58. Armónicos durante el Cuarto Registro (Armónico del 1 al 50).....	170
Figura 5.59. Armónicos durante el Cuarto Registro (Armónico del 1 al 15).....	171
Figura 5.60. Caudal vs Altura a 24 VDC	173
Figura 5.61. Corriente vs Altura a 24 VDC.....	174
Figura 5.62. Potencia vs Altura a 24 VDC	174
Figura 5.63. Corriente, Potencia, Caudal vs Altura a 24 VDC (Datos del Fabricante)	175
Figura 5.64. Caudal vs Altura a 12 VDC	176
Figura 5.65. Corriente vs Altura a 12 VDC.....	177
Figura 5.66. Potencia vs Altura a 12 VDC	177
Figura 5.67. Corriente, Potencia, Caudal vs Altura a 12 VDC (Datos del Fabricante)	178
Figura 6.1. Variación del Costo de los CER's Durante el Tiempo.....	196

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Número de Clientes con Agua Potable en Lago Agrio.....	2
Tabla 2.1.	Radiación global media por zonas.....	15
Tabla 2.2.	Insolación Promedio Anual para Lago Agrio.....	17
Tabla 3.1.	Principales características de las bombas fotovoltaicas	45
Tabla 4.1.	Factores para el cálculo de longitudes equivalentes	57
Tabla 4.2.	Pérdidas por fricción en tubería de PVC.....	65
Tabla 4.3.	Pérdidas por fricción en tubería de PVC.....	73
Tabla 4.4.	Insolación Promedio Anual para Lago Agrio.....	94
Tabla 4.5.	Factores del Rendimiento Global.....	95
Tabla 4.6.	Consumo Energético Teórico	95
Tabla 5.1.	Número anual de clientes regulados CNEL Sucumbíos	107
Tabla 5.2.	Número anual de clientes CNEL Sucumbíos (Lago Agrio)	108
Tabla 5.3.	Consumo promedio en KWh - CNEL Sucumbíos (CNEL Sucumbíos, 2014)	108
Tabla 5.4.	Precios medios a clientes finales (USD c/KWh)- CNEL Sucumbíos	109
Tabla 5.5.	Potencia Nominal y Efectiva de CNEL Sucumbíos.....	109
Tabla 5.6.	Potencia Nominal y Efectiva de Generación Celso Castellanos	110
Tabla 5.7.	Consumo de combustible para Generación Celso Castellanos	111
Tabla 5.8.	Variaciones de tensión admitidas – CONELEC	112
Tabla 5.9.	Tabla de Limites de tolerancia de (Vi') y THD.....	114
Tabla 5.10.	Voltage distortion limits	114
Tabla 5.11.	Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV	115
Tabla 5.12.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Primer Registro	126
Tabla 5.13.	Límites para distorsión de corriente para el Primer Registro	126
Tabla 5.14.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Segundo Registro	133
Tabla 5.15.	Límites para distorsión de corriente para el Segundo Registro	133
Tabla 5.16.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Tercer Registro	139
Tabla 5.17.	Límites para distorsión de corriente para el Tercer Registro	140
Tabla 5.18.	Resumen de encendido y apagado de la bomba.....	140

Tabla 5.19.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Primer Registro	151
Tabla 5.20.	Límites para distorsión de corriente para el Primer Registro	151
Tabla 5.21.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Segundo Registro	158
Tabla 5.22.	Límites para distorsión de corriente para el Segundo Registro	158
Tabla 5.23.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Tercer Registro	165
Tabla 5.24.	Límites para distorsión de corriente para el Tercer Registro	165
Tabla 5.25.	Análisis de la distorsión de Tensión para el Cuarto Registro.....	171
Tabla 5.26.	Límites para distorsión de corriente para el Cuarto Registro	172
Tabla 5.27.	Resumen de encendido y apagado de la bomba.....	172
Tabla 5.28.	Resultados obtenidos de Pruebas de la Bomba con 24 VDC.....	173
Tabla 5.29.	Datos del Fabricante para bomba SunPumps SDS-T-128 (24 VDC)	175
Tabla 5.30.	Resultados obtenidos de Pruebas de la Bomba con 12 VDC.....	176
Tabla 5.31.	Datos del Fabricante para bomba SunPumps SDS-T-128 (12 VDC)	178
Tabla 5.32.	Potencia y Energía registrada.....	179
Tabla 5.33.	Estimación de energía consumida para Lago Agrio	179
Tabla 5.34.	Escenario de despacho de Energía para Lago Agrio	180
Tabla 5.35.	Escenario de despacho de Energía para Lago Agrio	181
Tabla 5.36.	Equivalencias de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP)	181
Tabla 5.37.	Equivalencias de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP).....	181
Tabla 5.38.	Equivalencias de (TEP) y (Ton CO ₂) para la Planta Celso Castellanos	182
Tabla 6.1.	Costo de equipos y materiales para la Investigación.....	183
Tabla 6.2.	Costo de equipos y materiales del sistema de bombeo de DC	184
Tabla 6.3.	Costo de equipos y materiales del sistema de bombeo mixto	184
Tabla 6.4.	Costo Energético para Usuarios Residenciales en Lago Agrio.....	185
Tabla 6.5.	Costo en Dólares por Consumo de Diesel en Celso Castellanos	185
Tabla 6.6.	Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de CO ₂	195

RESUMEN

La situación que enfrenta la ciudad de Lago Agrio por problemas de agua potable, ha obligado a sus habitantes a utilizar bombas eléctricas para abastecerse del líquido vital. La mayoría de domicilios cuenta con tanques o cisternas de almacenamiento y bombas eléctricas para distribución de agua. Otros domicilios cuentan con pozos de agua y mediante bombas eléctricas se proveen del líquido vital. Se ha estimado mediante información local, que en Lago Agrio existen 4733 bombas domésticas tradicionales para agua, que consumen energía eléctrica convencional. La mayor parte de la energía eléctrica de la provincia de Sucumbíos, se obtiene directamente por generadores de combustión a Diésel, que afectan directamente al medio ambiente, por lo que alteran la flora y la fauna existente en la localidad. Ésta investigación permitirá establecer el consumo energético, la eficiencia, y costos de 2 sistemas de bombeo tradicional, para determinar el equipo más apropiado en la implementación de un prototipo fotovoltaico de uso doméstico residencial para la región. Se investigará la incidencia de las bombas de agua residenciales y sus efectos en la red eléctrica, para determinar la calidad de la energía mediante aspectos como factor de potencia, distorsión armónica y otros parámetros eléctricos, que permitirán plantear la mejor opción de bomba con tecnología fotovoltaica para mejorar la calidad de energía de la región. El proyecto estudia la factibilidad de implementar un sistema de bombeo fotovoltaico doméstico residencial, que permita dotar de herramientas a esta región para realizar un ahorro a nivel doméstico, sabiendo que la suma de estos pequeños ahorros de energía permitirá mantener fuera del operación a alguna unidad de generación con tecnología obsoleta, que contaminan el ambiente con costos de operación elevados y además, se podría utilizar energía renovable y limpia que no hace daño al medio ambiente.

PALABRAS CLAVE:

- BOMBEO FOTOVOLTÁICO,
- CALIDAD DE ENERGÍA

ABSTRACT

The situation of potable water currently affecting the city of Lago Agrio has forced the habitants of the city to use electric pumps in order to enjoy the basic necessity of having potable water on tap. The majority of homes make use of tanks or cisterns in conjunction with electric pumps to distribute the water. Other homes count on wells in combination with electric pumps for the basic necessity of water. It has been estimated through local sources that there are approximately 4,733 conventional type electric pumps in Lago Agrio using grid power. The majority of the electrical power on the grid in the Sucumbíos province is generated by Diesel generators that have a direct impact on our environment, while also affecting the flora and fauna in the area. This investigation will establish the electrical consumption, efficiency, and costs of 2 types of traditional pump systems, in order to determine the most appropriate pump for implementation of a solar style prototype for domestic use in the area. It will also investigate the effect the pumps have on the electrical grid to measure factors such as energy factor, harmonic distortion, and other key electrical factors, with these factors it will be clear, which is the best available pump to be used in a solar setup in order to optimize the electricity in the area. The project studies the feasibility of implementing a solar pumping system for domestic and residential use, which allows use of natural resources in order to save on the domestic level, knowing that the sum of these small savings will translate to great savings in electrical use and allowing to take out of operation dated technology for generating electricity. This same dated technology that contaminates the environment and has high operation costs. The project will look to substitute the old technology with new technology that is clean, renewable, and has no ill effect on the environment.

KEY WORDS:

- PHOTOVOLTAIC PUMPING
- POWER QUALITY

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Al considerar el actual problema energético que atraviesa el país, es indispensable suministrar para el consumidor final de planes concretos del ahorro de energía, cuyos beneficios directos se reflejen en menores consumos de energía tradicional, y por lo tanto un mejor uso de los recursos renovables transformándolos en energías limpias, que se encuentran disponibles en la actualidad en los alrededores.

En la provincia de Sucumbíos existe gran cantidad de flora y fauna, su clima tropical (húmedo) con temperaturas que oscilan entre los 37 a 39 grados Celsius. A pesar de ser un área tropical con varias fuentes acuíferas naturales, el servicio de agua potable en la provincia, es aun deficiente y esto se debe a la falta de inversión en esta área.

En la ciudad de Shushufíndi, así como en otros cantones, existe el servicio de agua entubada desde hace algunos años y este servicio consiste en suministrar el agua recolectada desde alguna fuente acuífera natural y distribuirla al área urbana simplemente con pocos criterios de potabilización y algunas veces se distribuye por horarios.

En la ciudad de Lago Agrio, por ser la capital provincial existe el servicio de agua potable continuo y además existen proyectos de mejoramiento de su planta de potabilización de agua. Según el director de Agua Potable y

Alcantarillado del Municipio de Lago Agrio, el número total promedio de predios o domicilios que cuentan con el servicio de agua potable es 4733, es decir aproximadamente 18932 personas cuentan con el suministro de agua potable hasta el año 2014. (Municipio de Lago Agrio, 2014)

Tabla 1.1. Número de Clientes con Agua Potable en Lago Agrio

2014	Usuarios
Clientes con Agua Potable Lago Agrio	4733
Usuarios no legalizados	1533

Fuente: (Municipio de Lago Agrio, 2014)

En toda la provincia de Sucumbíos, este líquido vital llega en poco volumen a todos los domicilios, y los habitantes de estos lugares han tenido que diseñar algunos métodos de almacenamiento y distribución. La mayoría de domicilios cuenta con tanques o cisternas de almacenamiento y bombas eléctricas para distribución de agua. Otros domicilios cuentan con pozos de agua y mediante bombas eléctricas se proveen del líquido vital.

De cualquier manera, casi todos los domicilios de Lago Agrio poseen bombas eléctricas para el bombeo de agua, es decir, que en la ciudad existen aproximadamente 4733 bombas para agua, que consumen la energía eléctrica.

La mayor parte de la energía eléctrica de la provincia de Sucumbíos, se obtiene directamente por generadores de combustión a Diésel, que afectan directamente al medio ambiente, por lo que alteran la flora y la fauna existente en la localidad.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La situación que enfrenta la ciudad de Lago Agrio por problemas de agua potable, ha obligado a sus habitantes a utilizar bombas eléctricas para abastecerse del líquido vital. Estos equipos producen un consumo energético no analizado, ni estudiado para las zonas residenciales (CNEL Sucumbíos, 2014). Se propone el proyecto para estudiar la factibilidad de implementar un sistema de bombeo fotovoltaico doméstico residencial, que

permita dotar de herramientas a esta región para realizar un ahorro a nivel doméstico, sabiendo que la suma de estos “pequeños” ahorros permitirá mantener fuera del despacho económico las centrales de tecnología obsoleta que contaminan el ambiente con costos de operación elevados y además, se podría mejorar la calidad de energía al utilizar energía renovable y limpia que no hace daño al medio ambiente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Realizar una investigación comparativa entre el sistema de bombeo fotovoltaico y el sistema de bombeo eléctrico para implementarse en Lago Agrio.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y estudiar el mapa solar de la zona de interés.
- Estudiar el consumo de energético que se generan con las bombas de agua tradicionales en la ciudad de Lago Agrio.
- Diseñar e implementar un prototipo de bombeo fotovoltaico doméstico, para la región.
- Estudiar el consumo de energético que se generan con las bombas de agua basados en tecnología fotovoltaica.
- Establecer costos de los sistemas de bombeo de agua para la región basados en tecnología fotovoltaica.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La energía, es un sector estratégico para el Gobierno ecuatoriano, y así lo demuestran los diferentes planes y programas que el gobierno ha puesto en marcha (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014). Entre los planes y programas energéticos, se ha hecho mucho énfasis en incrementar el uso de energías alternativas o renovables, con el fin de cambiar la matriz energética.

Bajo esta perspectiva, siendo el Ecuador un país con mucha flora y fauna, poco se ha hecho para mantener el ecosistema y la biodiversidad intacta. La provincia de Sucumbíos a pesar de tener grandes reservas ecológicas como la de Cuyabeno o la de Limoncocha, cuenta con pocos planes o proyectos de energías alternativas que beneficien su ecosistema (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2015).

En Sucumbíos, según datos de CNEL (CONELEC, 2013), la mayor parte de la energía eléctrica se obtiene por generadores de combustión a Diésel. Este tipo de generación afecta directamente al medio ambiente, con la emisión de CO₂ y alteran la flora y la fauna existente en la localidad.

Se ha estimado mediante información local (Municipio de Lago Agrio, 2014), que en Lago Agrio existen 4733 bombas domésticas tradicionales para agua, que consumen energía eléctrica convencional, y si a esto se añade los datos estimados de Shushufíndi que son aproximadamente 3687 bombas domesticas adicionales, se tiene un total de 8420 bombas eléctricas. En conjunto el consumo energético se incrementa drásticamente por la cantidad de usuarios que utilizan estos equipos.

La crítica situación medioambiental que enfrenta la sociedad de estos sectores, requiere de un uso más eficiente de los recursos disponibles, es imperativo dotar a la región de herramientas para realizar un ahorro en cada casa sabiendo que la suma de estos “pequeños” ahorros permitirá mantener fuera del despacho económico las centrales de tecnología obsoleta que contaminan el ambiente y generan elevados costos de operación.

La gran cantidad de equipos de bombeo afectan a la calidad de energía eléctrica y esto se demuestra con el constante calentamiento de equipos y de dispositivos eléctricos, fallas frecuentes, pérdidas de energía, gastos extras de mantenimiento, disminución de la vida media de los equipos, pero con frecuencia significan costos elevados tanto para el proveedor como para el usuario.

1.5 ALCANCE

Se realizará una investigación comparativa entre el comportamiento de dos de bombas de agua de AC domésticas, frente a un tipo de bomba de agua de DC con tecnología fotovoltaica, lo que permitirá definir un modelo matemático que describa el funcionamiento de las bombas de agua en Lago Agrio.

Esta investigación permitirá establecer el consumo energético, la eficiencia, y costos de los sistemas de bombeo, y de esta manera determinar el equipo más apropiado para la implementación de un prototipo fotovoltaico de uso doméstico residencial para la región.

Se investigará la incidencia de las bombas de agua residenciales y sus efectos en la red eléctrica de Lago Agrio, para determinar la calidad de la energía mediante aspectos como factor de potencia, factor de forma, distorsión armónica, y otros parámetros eléctricos, que permitirán plantear la mejor opción de bomba con tecnología fotovoltaica para mejorar la calidad de energía de la región.

En el aspecto mecánico se buscará la configuración de la bomba que mejores prestaciones tenga en cuanto a presión, caudal y consumo energético.

El prototipo a ser implementado tendrá la concepción de mínimo mantenimiento con el fin de facilitar su empleo por la población.

1.6 HIPÓTESIS

El recurso solar existente en la ciudad de Lago Agrio, permitirá accionar una bomba basada en energía fotovoltaica, para sustituir el sistema de bombeo eléctrico tradicional y producir un ahorro energético considerable.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA ALTERNATIVA EN EL ECUADOR

Ecuador ha logrado avances en materia de energías renovables. La política del país se ha fortalecido en materia energética y esto se debe a que el estado en su Constitución Se compromete al buen uso y manejo sostenible de energías alternativas.

“El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.” (Asamblea Nacional, 2008)

“El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.” (Asamblea Nacional, 2008)

El Ecuador es un país cuya principal fuente energética proviene de represas hidroeléctricas (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013). Durante los últimos años, si la lluvia dejaba de caer, la vida de los ecuatorianos comienza a tener problemas de carácter energético. A esto se suma la cantidad de combustible y contaminación que se genera cuando esto acontece al activar fuentes de energía termoeléctrica.

Son estas circunstancias las que obligan a pensar en la aplicación de fuentes de energía alternativas y en especial la generada de los paneles solares. Estos sistemas, forjan un considerable cambio en cuanto al ahorro económico y ecológico.

La política de Estado es incrementar la generación de electricidad para cubrir la demanda actual y la futura, utilizando energía renovable. Con esta premisa, se suscribieron contratos para desarrollar los estudios de factibilidad y diseños que serán detallados a continuación.

2.1.1 PROYECTO EUROSOLAR

EURO-SOLAR promueve mecanismos de ampliación del acceso a la electricidad y el desarrollo de servicios básicos como telecomunicaciones, salud y educación; mediante la entrega de una torre que soporta un grupo de 7 paneles fotovoltaicos con una capacidad total de 1.100 vatios pico y equipamientos para acceso a las telecomunicaciones.

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable entregó a cada comunidad: 5 computadores, 1 proyector, 1 impresora, 1 refrigeradora para medicinas, 1 purificador de agua y todos los elementos para dotar de iluminación (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2015). Con este proyecto se benefician 39.629 habitantes distribuidos en 7 provincias del Ecuador: Guayas, Esmeraldas, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago.

También se realizó la contratación de los Servicios de capacitación a los integrantes de los Comités de Gestión Comunitaria de cada una de las 91 comunidades beneficiarias del Programa Euro-Solar, sobre temas complementarios relacionados con aspectos básicos de informática e internet, aspectos administrativos y comerciales; y aspectos legales e impositivos. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2015)



Figura 2.1. Proyecto EUROSOLAR

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2015)

2.1.2 PROYECTO EÓLICO BALTRA SANTA CRUZ

Dentro de la Iniciativa Gubernamental “Cero Combustibles Fósiles” en Galápagos, bajo el convenio entre el Gobierno del Ecuador, se desarrolla el Proyecto Eólico Baltra – Santa Cruz (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

Este proyecto permitirá reducir el consumo de diésel empleado en la generación térmica en isla Santa Cruz así como en la isla de Baltra. En su primera etapa el parque eólico generará al menos 4.650 MWh/año, lo que permitirá reducir cerca de 450.000 galones diésel/año, lo que representa el 25% del consumo de diésel que actualmente se emplea en la central Térmica de Puerto Ayora.

Para la evacuación de la energía del proyecto eólico, se construirá un sistema de interconexión desde el parque eólico ubicado en isla Baltra hasta la ciudad de Puerto Ayora en la isla Santa Cruz. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)



Figura 2.2. Proyecto Eólico Baltra Santa Cruz

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

2.1.3 PROYECTO EÓLICO VILLONACO

En Loja, Ecuador, el Parque Eólico Villonaco está ubicado a 2720 metros sobre el nivel del mar, entre los cantones de Loja y Catamayo; es uno de los más grandes en su clase en el país.

Los 11 aerogeneradores (100 m de altura), se instalaron en el cerro Villonaco y generarán 16,5 MW de energía y su aporte al país será de 60 millones de kWh/año, es decir, de 0,03% al Sistema Nacional Interconectado, reduciendo en 35 mil toneladas las emisiones de CO₂/año, así como el consumo equivalente de combustibles en 4.5 millones de galones diésel/año, lo que corresponde a un ahorro de 13 millones de dólares anuales para el país. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)



Figura 2.3. Proyecto EÓLICO VILLONACO

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

2.1.4 PROYECTO FOTOVOLTAICO - PUERTO AYORA

Proyecto ubicado en la ciudad de Puerto Ayora-Isla Santa Cruz con una potencia de 1.5 MWp. Durante el año 2012 se desarrollaron las obras preliminares de limpieza, nivelación y compactación del sitio del terreno para la instalación de la planta fotovoltaica. Actualmente la planta fotovoltaica se encuentra en operación, luego de que en la semana del 23 al 27 de mayo de 2014 se realizaron las pruebas de comisionamiento. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)



Figura 2.4. Proyecto FOTOVOLTAICO - PUERTO AYORA
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

2.1.5 PROYECTO PIÑÓN – GALÁPAGOS

El proyecto tiene como objetivo sustituir el diésel por aceite vegetal para la generación eléctrica en la isla Floreana - Archipiélago de Galápagos, a través del desarrollo agroindustrial del piñón existente en el litoral ecuatoriano. Los avances alcanzados en el marco del proyecto son (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014):

- Capacitación a más de 900 personas en 52 organizaciones campesinas de los cantones Chone, Sucre, San Vicente, Tosagua, Rocafuerte, Junín, Calceta, Portoviejo, Santa Ana y Jipijapa.

- Acopio de 4.738 quintales de semilla de piñón, que permitirán la obtención de aproximadamente 15.000 galones de aceite, para el funcionamiento de los grupos electrógenos de la isla Floreana en el año 2013.
- Suscripción de un convenio de cooperación entre el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), con el objeto de tener un apoyo para ejecutar las actividades del componente agroindustrial del proyecto. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012)
- Instalación y puesta en marcha de la planta de extracción de aceite puro de piñón, CompactTropa, equipo donado por la Cooperación Alemana GIZ. En noviembre del 2012 se inició con el procesamiento de la semilla recolectada. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012)
- Con el apoyo de INIAP e IICA se entregaron a las comunidades más de 120.000 plantas de piñón de variedades prometedoras para el fortalecimiento de cerca viva y otros sistemas productivos.



Figura 2.5. Proyecto PIÑÓN – GALÁPAGOS

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

2.2 RECURSO SOLAR

La mayor parte de la energía disponible en el planeta tiene tres fuentes principales: el sol en forma directa o indirecta (combustibles fósiles, biomasa, vientos y rayos solares); el proceso de formación cósmica que precedió a la formación del sistema solar actual (energía nuclear y geotermia) y una pequeña parte de la energía disponible proviene de los movimientos lunares.

El sol es la fuente de casi toda la energía terrestre. Este permite la fotosíntesis que transforma la energía de los rayos solares en energía química, indispensable para la vida vegetal y animal. La fotosíntesis también ha permitido la formación de los combustibles fósiles. El sol está en la génesis de los vientos y es el motor que mueve los ciclos hidrológicos. En forma directa, la energía solar aparece bajo la forma de energía solar propiamente dicha, hidráulica o de energía eólica.

La energía solar que se recibe en la superficie de la tierra se ha calculado equivalente a 178 000 TW-año. Cerca del 30% de esta energía es reflejada en el espacio, 50% es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre; de este 50%, 49 000 TW-año son reenviados como energía calorífica bajo la forma de radiación electromagnética y 40 000 TW-año como energía calorífica propiamente dicha. (CONELEC, 2008)

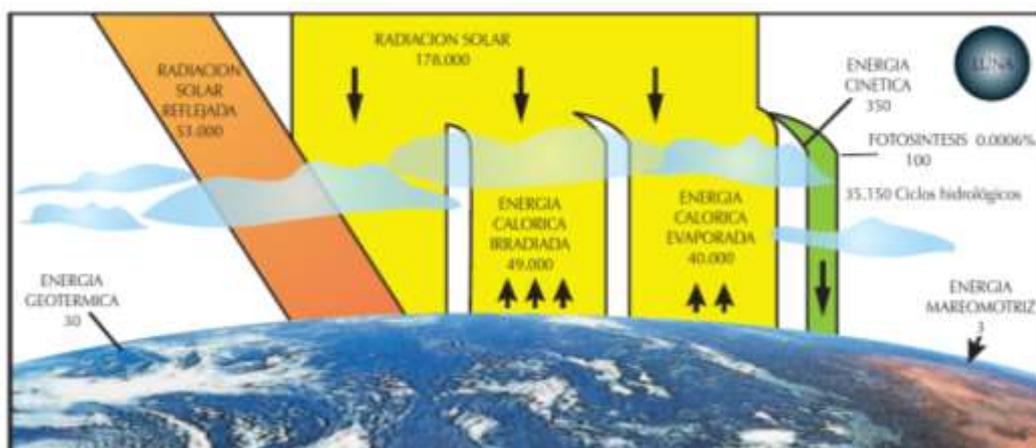


Figura 2.6. Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año (TW-año)

La utilización práctica de la energía solar, un recurso renovable y limpio, para generación eléctrica, permite contribuir a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, la disminución de la generación con energías no renovables con el consecuente ahorro en combustibles fósiles, y la posibilidad de llegar con electricidad a zonas alejadas de las redes de distribución.

La energía solar fotovoltaica es la energía eléctrica que se obtiene directamente de las radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

Es una energía renovable que permite reducir la dependencia de fuentes de combustibles contaminantes y de energías peligrosas tales como la energía nuclear o la térmica, con el consiguiente beneficio medioambiental.

La energía solar directa es la energía del Sol sin transformar (la que calienta e ilumina). Es necesario el uso de sistemas de captación y almacenamiento para que pueda ser aprovechada:

- **Utilización directa:** mediante la incorporación de acristalamientos y elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva.
- **Transformación en calor:** es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del Sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos.
- **Transformación en electricidad:** es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares.

La potencia de la radiación solar varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es superior a los 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación solar es aprovechable en sus componentes directa y difusa o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmosfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

La localización geográfica del Ecuador, permite que el recurso solar sea abundante y con condiciones muy favorables de radiación, tanto para aplicaciones de energía solar fotovoltaica como para energía solar térmica.

Tabla 2.1. Radiación global media por zonas

Región	Radiación media (año)
Interandina	4.5 kWh/m ²
Costa	3.5 kWh/m ²
Amazónica	3.8 kWh/m ²
Galápagos	4.5 kWh/m ²

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2011)

De esta manera la provincia de Sucumbíos, cuenta con un recurso solar ventajoso, el cual, se puede aprovechar de mejor manera, para el mejoramiento de los habitantes de la región.

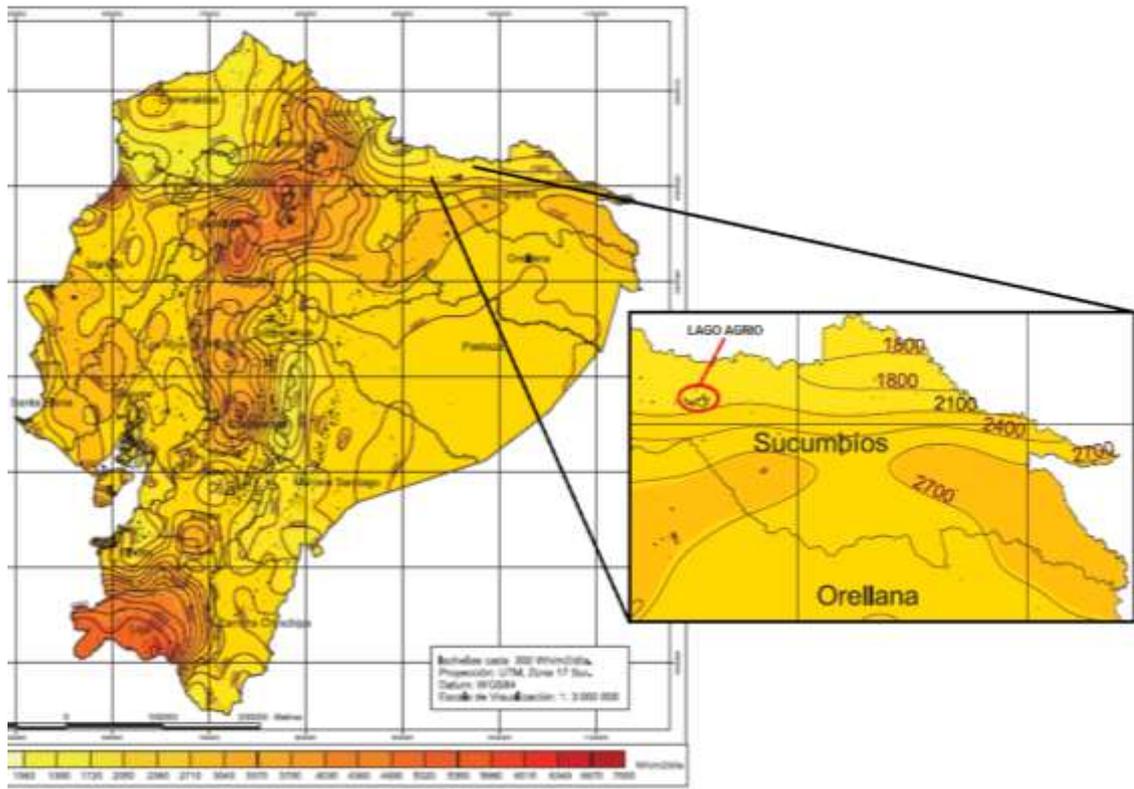


Figura 2.7. Insolación Directa Promedio

Fuente: (CONELEC, 2008)

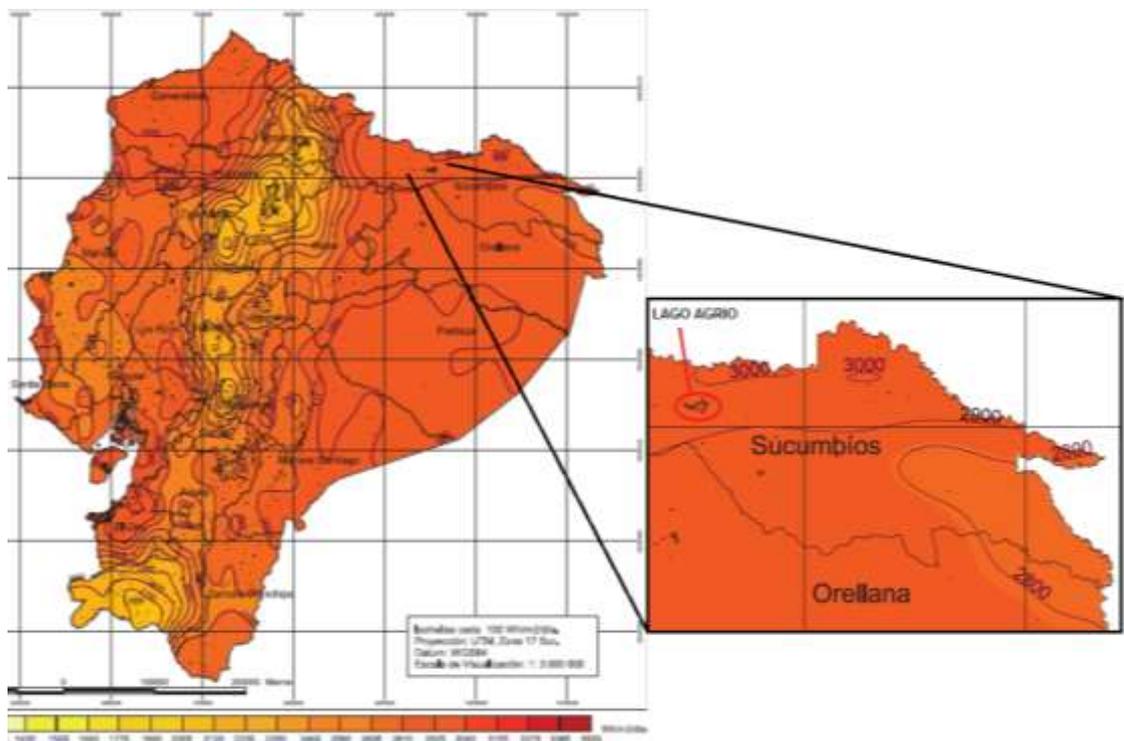


Figura 2.8. Insolación Difusa Promedio

Fuente: (CONELEC, 2008)

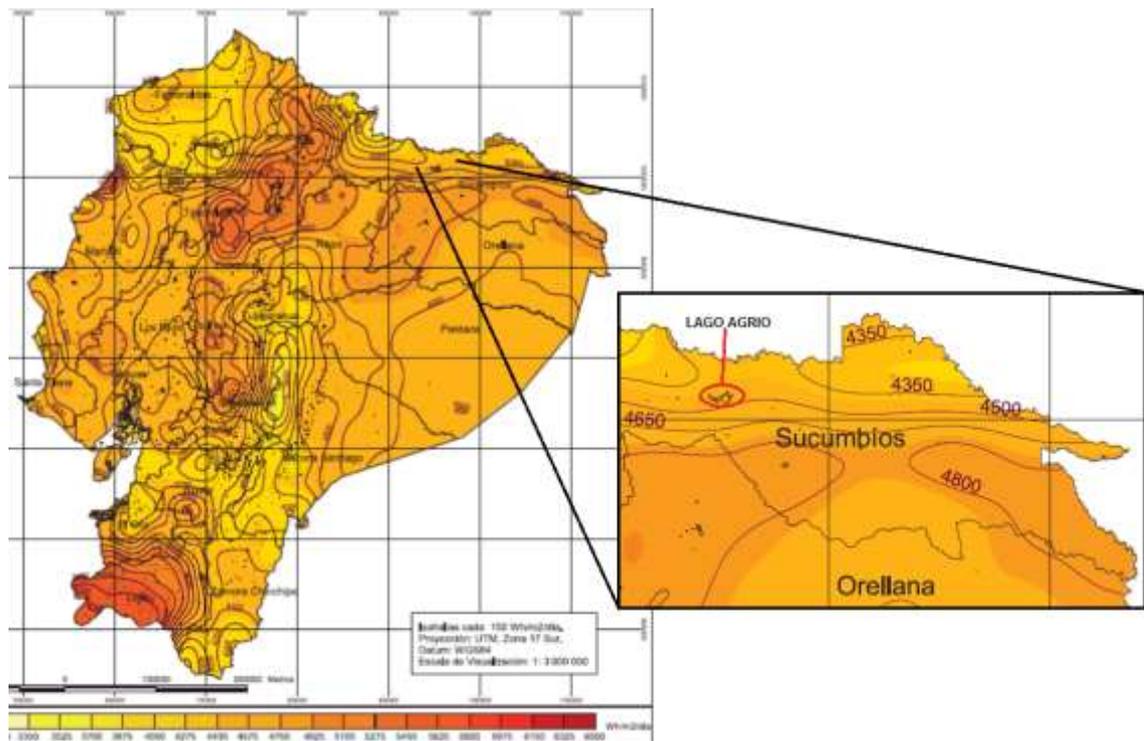


Figura 2.9. Insulación Global Promedio
Fuente: (CONELEC, 2008)

Tabla 2.2. Insulación Promedio Anual para Lago Agrio

Insulación	Valor
Global	4500 Wh/m ² /día
Directa	2100 Wh/m ² /día
Difusa	2900 Wh/m ² /día

Fuente: (CONELEC, 2008)

2.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar permite producir electricidad por la acción directa de las radiaciones solares sobre paneles especiales que convierten estas radiaciones en electricidad.

Estos paneles especiales están compuestos por unas "células fotovoltaicas" que es donde realmente tiene lugar la transformación de la energía luminosa (fotones) en electricidad (electrones en movimiento).

2.3.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (EFECTO FOTOELÉCTRICO)

Las Células Fotovoltaicas son donde tiene lugar la transformación de la energía luminosa del sol en electricidad. En la Figura 2.9 se ve el principio de funcionamiento de esta transformación. (Madrid, 2009)

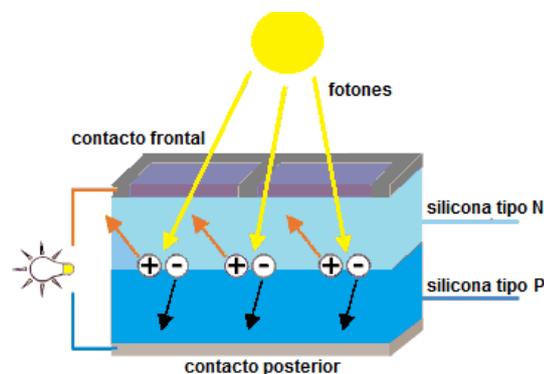


Figura 2.10. Célula Fotovoltaica – Efecto Fotoeléctrico

Fuente: (Madrid, 2009)

Entre ambos extremos hay unos materiales llamados semiconductores. Los más conocidos son el silicio, el germanio y el arseniuro de galio. Estos materiales si están a 0 °K son aislantes, pero si reciben energía (luminosa por ejemplo), se encuentran más cerca de los conductores y pueden producir flujo de electrones. Eso es exactamente lo que ocurre en las células fotovoltaicas (Figura 2.10), que suelen estar hechas de silicio. Como se ve en dicha figura, un material semiconductor (el silicio), es expuesto a los rayos solares, que contienen energía luminosa (fotones). Estos fotones aportan energía a los electrones de Valencia del átomo de silicio. Si la energía que aportan es suficiente para vencer la fuerza que mantiene los electrones unidos al átomo, estos electrones se liberan y llegan a formar una corriente de electrones (electricidad), que en la figura se representa por un circuito que es capaz de encender una lámpara. Este es el esquema de funcionamiento del efecto fotoeléctrico. (Madrid, 2009)

En estado puro, el silicio no es muy fotoconductor, por lo que se le "dopa" con átomos de fósforo, que tienen 5 electrones en su capa externa. Así se obtiene un silicio dopado con fosforo, que tiene un excedente de cargas negativas. Este material es el que aparece en la Figura 2.10, como "tipo n". En esa misma figura, se puede observar el material "tipo p", que es silicio dopado con boro, que tiene 3 electrones en su capa externa, por lo que se produce un excedente de cargas positivas. Efectivamente, ya que el silicio tiene 4 electrones en los niveles de energía y el boro solo tiene tres. Al estar estas dos zonas dopadas en contacto, se produce un diodo, ya que los electrones excedentes de la capa n son atraídos por las cargas positivas de la capa p. Esto da origen a una corriente eléctrica (Figura 2.10). (Madrid, 2009)

La fabricación de células fotovoltaicas aún resulta cara (se precisa un silicio de una gran pureza), pero este es un campo en el que se está investigando mucho, como consecuencia de los problemas energéticos mundiales.

También hay que tener en cuenta que el rendimiento de las células de silicio es bajo (16 al 24 por ciento) (Díaz & Carmona, 2010). El rendimiento es la energía luminosa que realmente se transforma en electricidad.

Existen también células fotovoltaicas de sulfuro de cadmio que son más baratas pero que tienen un rendimiento tres veces menor que las de silicio.

La potencia que proporciona una célula fotovoltaica es muy pequeña (en torno de 1 o 2 W), se agrupan las células para proporcionar la potencia necesaria. La electricidad generada es continua, por ello se verá más adelante que se emplea un aparato (inversor) para pasarla a corriente alterna. Estos conjuntos forman un panel solar fotovoltaico.

2.3.2 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (EL SILICIO)

Como se ha dicho, el material más utilizado para la construcción de células fotovoltaicas es el silicio. Es un elemento muy abundante en la corteza terrestre pero no se encuentra como tal, sino combinado con el oxígeno formando óxido de silicio (SiO_2). (Madrid, 2009)

En la naturaleza se puede encontrar la cuarcita que es un mineral que contiene un 90 por ciento de óxido de silicio. Por ello, para obtener silicio se parte de dicho mineral hasta conseguir silicio de diversos grados de pureza. Así se tiene:

- Silicio de grado metalúrgico. Es un producto con el 99 por ciento de riqueza y se obtiene a partir de la cuarcita. Es adecuado para usos industriales, entrando a formar parte de aleaciones. Esto aún no es suficiente ese grado de pureza para conseguir células fotovoltaicas. Se necesita una pureza mayor.
- Silicio de grado electrónico o solar. En un principio, con el desarrollo de los ordenadores, el silicio de alta pureza que se fabricaba se dedicaba a esta industria y los recortes de silicio se dedicaban a la fabricación de células fotovoltaicas. Pero con el desarrollo que ha adquirido la industria solar ya se fabrica silicio de grado solar. Para hacer silicio de grado solar se parte del metalúrgico. Este silicio de grado metalúrgico se pasa a gas (triclorosilano) por un proceso químico. Después se extrae de dicho gas un silicio de una elevadísima pureza (solo partes por millón de impurezas), al que se le conoce como polisilicio.

Ante la demanda tan fuerte de silicio de grado solar se produjeron fuertes subidas de su precio. En la actualidad, la tecnología de purificación está avanzando mucho y se han reducido los costos de fabricación. A continuación se verá los tipos comerciales de silicio existentes:

- **Silicio monocristalino.** Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se

corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son de un azul uniforme. Su rendimiento (potencia generada / potencia recibida) se encuentra entre el 15% al 18%, aunque su costo es más elevado.

- **Silicio policristalino.** Tiene menor rendimiento que el silicio monocristalino, entre 12% al 14%, pero es más barato, por lo que se está imponiendo su utilización, ya que reduce el coste del kilovatio solar. Se le llama policristalino porque la cristalización es aleatoria.

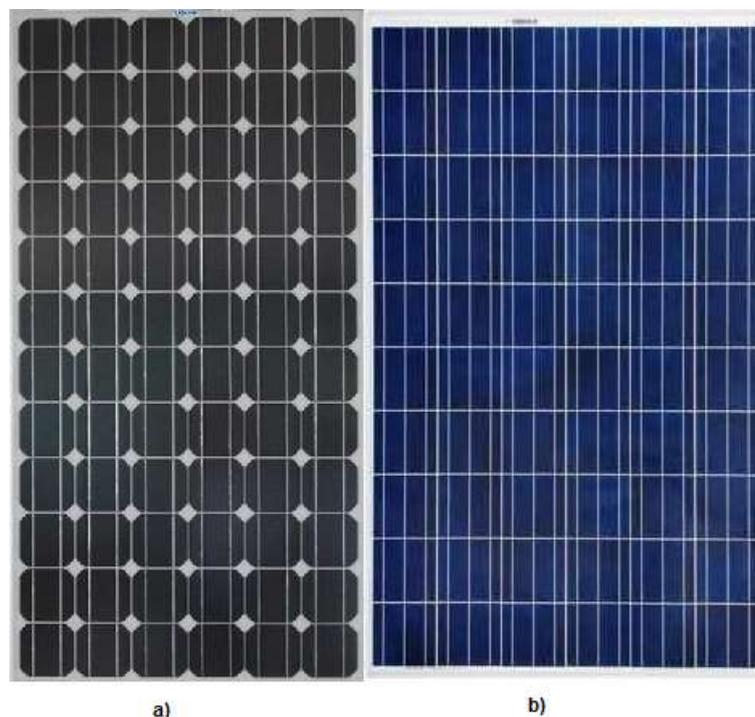


Figura 2.11. Células de Silicio a) monocristalino y b) policristalino

Fuente (Madrid, 2009)

Estos tipos de silicio cristalizado se cortan en espesores de aproximadamente 200 μm . También existen células de película mucho más delgada (aproximadamente 5 μm), que tienen un menor rendimiento, pero son más baratas y fáciles de colocar en tejados.

- **Silicio amorfo.** Es más barato pero tiene menor rendimiento que el silicio cristalino. La célula amorfa consta de: una unión p-i-n, una capa transparente de óxido en la parte superior, una capa de metal de

contacto y reflectora, y un sustrato final flexible como se ve en la Figura 18.3. La capa de silicio amorfo se deposita sobre un sustrato (acero, vidrio, plástico) a una temperatura de 200-300 °C. Estas bajas temperaturas (relativamente hablando) hacen posible la utilización de sustratos de menor coste. Cuando las temperaturas de deposición son muy altas se necesitan sustratos de materiales caros (resistentes a esas altas temperaturas). El silicio amorfo tiene una elevada capacidad de absorción de la luz, por lo que se puede poner en capas extra-delgadas (1 μm), pero la propia intensidad lumínica produce su degradación progresiva, con lo que va bajando su rendimiento. Cuando el silicio amorfo es nuevo tiene un rendimiento menor al 12%, aproximadamente.

2.3.3 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

También llamados módulos o colectores. Una célula fotovoltaica genera una potencia muy baja, por lo que es necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Los paneles solares son la unión de células fotovoltaicas en serie, encapsuladas para protegerlas (en plástico transparente, por ejemplo) y con un marco metálico para su montaje. (Madrid, 2009)

Los paneles (o módulos, como también se les llama) son la unidades básicas de los sistemas de generación de electricidad a partir de la energía solar.

Los módulos solares se pueden conectar:

- En serie. Por ejemplo se tiene un módulo de 12 V y 1,5 A y lo conectamos en serie con otro módulo de las mismas características tendremos un conjunto de 2 módulos de 24 V y 1,5 A (se suman los voltajes y se mantienen las intensidades).

- En paralelo. Si se tiene los dos módulos del ejemplo anterior y los conectamos en paralelo, tendremos un conjunto de 12 V y 3 A (se mantienen los voltajes y se suman las intensidades).

El armazón de los módulos debe ser a la vez resistente y ligero. Se suele hacer de aluminio con resinas para hacerlo hermético.

La cubierta del panel suele ser de cristal templado, resistente a impactos, transparente, dejando pasar las radiaciones solares (en más de un 92%).

La curva característica de un panel solar se indica en la Fig. 3.

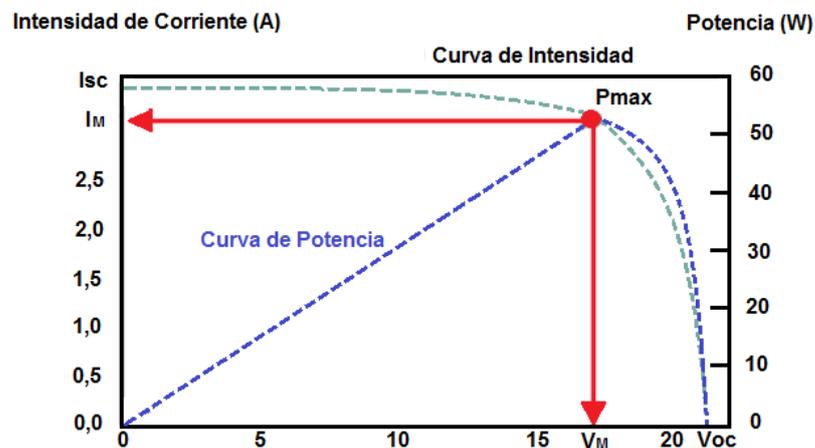


Figura 2.12. Curva característica de un panel solar
Fuente (Madrid, 2009)

Dónde:

- V_{OC} : es el voltaje de circuito abierto, es decir la diferencia de potencial que se genera en el panel cuando no existe ninguna carga conectada a sus terminales. (Benalcázar & Guerra, 2012)
- I_{SC} : corriente de corto circuito, es la máxima corriente que puede entregar el panel, cuando sus terminales están haciendo contacto. Comúnmente está alrededor de 3A.
- P_{MAX} : es la potencia máxima que puede entregar el panel solar cuando tiene una carga conectada.

- V_M e I_M : Son los valores de Tensión y corriente respectivamente a los que se obtiene la potencia máxima. Por lo general son un poco menores que V_{OC} e I_{SC} . Por lo tanto:

$$P_{MAX} = V_M \times I_M \quad (2.1)$$

Además un panel solar tiene los siguientes parámetros característicos (Benalcázar & Guerra, 2012):

- FF: factor de forma o también denominado factor de llenado, por sus siglas en inglés Fill Factor, es la relación entre la potencia máxima del panel y el producto de V_{OC} e I_{SC} . Da una medida de la calidad del panel, pues muestra que tan escalpada es la curva característica.

$$FF = \frac{P_{MAX}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (2.2)$$

- η : Rendimiento o eficiencia, determina la cantidad de energía solar que es aprovechada para generar energía eléctrica, y se define por el cociente entre la potencia máxima que entrega el panel: P_{MAX} y la potencia de la radiación solar que incide sobre la superficie del panel: P_L .

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_L} = \frac{V_M \times I_M}{E \times A_C} \quad (2.3)$$

- E: es la energía solar que llega al panel (Irradiancia) en condiciones estándar, es decir, una temperatura de las celdas de 25 C, a nivel del mar, y con una irradiación solar de 1 kW/m².
- A_C : es el área del panel solar.

Para poder relacionar el factor de forma con el rendimiento, se puede trabajar con las expresiones para llegar a los siguientes resultados (Benalcázar & Guerra, 2012):

$$P_{MAX} = FF \times V_{OC} \times I_{SC} \quad (2.4)$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_L} = \frac{FF \times V_{OC} \times I_{SC}}{E \times A_C} \quad (2.5)$$

$$FF = \frac{\eta \times E \times A_C}{V_C \times I_{SC}} \quad (2.6)$$

2.4 BOMBEO DE AGUA

La elevación e impulsión de líquidos ha sido un problema difícil de resolver satisfactoriamente en tiempos atrás y ocupa un amplio campo en la técnica de la ingeniería actual.

Actualmente, existen diferentes tipos de bombas, para usarse en la elevación del agua, pero son pocos los tipos que puedan utilizarse en forma económica, ya que no todas cumplen con las necesarias condiciones de eficiencia.

Pues bien, una bomba de agua es una máquina hidráulica que es capaz de transmitir energía al fluido que pasa a su través, convirtiendo la energía mecánica que recibe a través de su eje en una energía "hidráulica" para el fluido, aumentando su velocidad, su presión o su altura, o todas las componentes a la vez, según el Principio de Bernoulli.

Aunque este Principio es aplicable a un gran número de problemas, es necesario mencionar ciertas limitaciones con el fin de aplicar correctamente la ecuación.

- Está será válida solo para fluidos incompresibles, dado que el peso específico es el mismo para las dos secciones.
- No pueden haber dispositivos mecánicos entre las dos secciones tomadas en cuenta para el análisis, estos pueden agregar o disminuir energía.
- No puede haber transferencia de calor hacia adentro o fuera del fluido.
- No debe haber pérdidas de energía debido a la fricción.

El Principio de Bernoulli, establece que, en un fluido ideal sin viscosidad, ni rozamiento, e incompresible que se encuentra en circulación por un conducto cerrado, su energía permanece constante en cada punto de su recorrido.

La energía que posee un fluido en movimiento se compone de tres componentes:

- Cinética: es la energía que posee el fluido debido a su velocidad de movimiento.
- De flujo: relacionado con la presión que posee.
- Gravitatoria: debido a la altitud del fluido.

Estas tres componentes de la energía se correlacionan con los mismos términos que definen el Principio de Bernoulli:

$$\frac{v^2 \cdot \rho}{2} + P + \rho \cdot g \cdot h = \text{Constante} \quad (2.7)$$

Siendo,

- v, la velocidad del fluido;
- ρ , la densidad del fluido;
- P, la presión del fluido a lo largo de la línea de corriente;
- g, la aceleración de la gravedad (9,81 m/s²);
- h, es la altura que alcanza el fluido en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

Se ha demostrado que el máximo potencial de ahorro de energía se logra cuando se planean en forma conjunta las actividades para ahorrar agua y energía. Por ejemplo, es probable que cambiar una bomba por otra más eficiente ahorre energía, pero también es viable que un programa de reducción de fugas permita ahorrar agua y reducir las pérdidas de presión dando como resultado algunos ahorros de energía, debido a un menor trabajo de bombeo. Si las dos actividades se coordinan conjuntamente a través de un programa de uso eficiente de agua y energía, la reducción de fugas por control adecuado de la presión en las redes, permitirá que se adquieran bombas más pequeñas y se mantenga el mismo servicio, lo que significará ahorros de energía aún mayores. (Alliance to Save Energy, 2013)

2.5 USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS DE AGUA POTABLE DE USO RESIDENCIAL.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), para precautelar los objetivos relacionados con la seguridad, la salud de la vida humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente y la protección del consumidor contra prácticas engañosas” ha formulado el proyecto de reglamento técnico ecuatoriano NTE INEN 2517:2010 “**Uso Eficiente de Energía en Bombas Centrífugas de Agua Potable de Uso Residencial. Requisitos**”. (INEN, 2010)

Esta norma establece los requisitos para cumplir con los valores mínimos de eficiencia en los conjuntos motor-bomba, que utilizan motores eléctricos estacionarios monofásicos y trifásicos, para manejo de agua de uso residencial.

Para bombeo de agua de uso residencial desde 0,187 kW (1/4 HP) hasta 37 kW (50 HP), comercializadas en el país. (INEN, 2010)

2.5.1 ALTURA DINÁMICA TOTAL (ADT)

Es la suma algebraica de la carga estática y la carga dinámica. Se determina bajo la siguiente fórmula (INEN, 2010):

$$ADT = H_s + H_d + p_f + P_d \quad (2.8)$$

Dónde:

ADT: Altura dinámica total

H_s: Altura de succión, considerada desde el espejo de agua hasta el centro del eje de succión de la bomba.

H_d: Altura de descarga, considerada desde el centro del eje de succión de la bomba hasta el punto más alto de bombeo.

p_f: Pérdidas por fricción (sumatoria de pérdidas en tuberías y accesorios).

Pd: Presión de descarga, presión manométrica adicional requerida para el trabajo operativo.

2.5.2 CONJUNTO MOTOR-BOMBA.

Es una máquina que recibe energía eléctrica y transforma parte de ésta en energía hidráulica; para transportar el agua de un punto a otro. (INEN, 2010)

2.5.3 CONSUMO DE ENERGÍA (KWh).

El consumo de energía se determina a partir de la potencia que demanda el conjunto motor-bomba (kW) y el tiempo de operación del mismo en horas. (INEN, 2010)

2.5.4 EFICIENCIA DE LA BOMBA (η_b).

Es la relación entre la energía que la bomba entrega al agua y la energía a la entrada del eje.

2.5.5 EFICIENCIA DEL CONJUNTO MOTOR-BOMBA (η_T).

Es la razón entre la potencia absorbida y la potencia entregada.

2.5.6 EFICIENCIA DEL MOTOR (η_m).

Es la razón entre la potencia mecánica de salida en el eje y la potencia eléctrica de entrada del motor.

2.5.7 EFICIENCIA EN EL PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN.

Es la eficiencia máxima que se puede obtener de una bomba, de acuerdo con su curva de operación altura-caudal.

2.5.8 FLUJO VOLUMÉTRICO O CAUDAL.

Es el volumen de agua que fluye por unidad de tiempo para cierta condición de altura.

2.5.9 VELOCIDAD ANGULAR (VELOCIDAD DE ROTACIÓN).

Es el número de revoluciones por unidad de tiempo en las que gira el eje del conjunto motor-bomba, expresada en radianes/segundo (revoluciones/minuto).

2.5.10 POTENCIA DE ENTRADA A LA BOMBA.

Potencia suministrada al eje de la bomba. Es el producto de la velocidad angular del eje por el torque.

$$\text{Potencia} = \omega \times T \quad (2.9)$$

Dónde:

ω : es velocidad angular del eje, en rad/s

T: es el torque del eje

2.5.11 VALORES MÍNIMOS DE EFICIENCIA.

Los requisitos mínimos de eficiencia que deben cumplir los conjuntos motor-bomba, objeto de la presente norma, se describen en la siguiente gráfica caudal – eficiencia. (INEN, 2010)

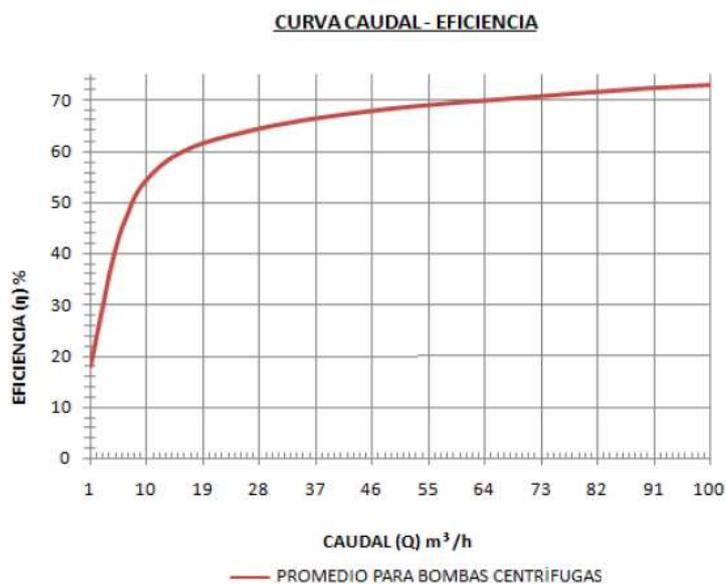


Figura 2.13. Curva Caudal – Eficiencia

Fuente: (INEN, 2010)

2.6 BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO

Los sistemas de bombeo fotovoltaico presentan características que los hacen muy atractivos para varias regiones. Por un lado son relativamente pequeños y extremadamente fiables, y por otro lado tienen una forma de trabajo particular, que consiste en bombear poco caudal durante mucho tiempo. Además, presentan ventajas económicas, al no depender de suministro de combustible para su funcionamiento. (García & Arribas, 1999)

Actualmente, se han desarrollado tecnologías para un sistema de bombeo solar eficiente, seguro, limpio y económico.

Un sistema de bombeo alimentado por energía solar está compuesto de dos componentes básicas Figura. 2.12. La primera, son los paneles fotovoltaicos que proporcionan la potencia. Cada panel está compuesto por varias células solares las que producen corriente directa (DC) cuando se exponen a la luz. Esta corriente DC es recolectada por el cableado en el panel. Posteriormente, es abastecida a una bomba DC que bombea agua mientras el sol brille, o almacenada en baterías para su posterior uso por las bombas. También puede usarse un convertidor de frecuencia DC/AC para

usar una bomba con un motor de inducción de corriente alterna. (Aqueveque, 2009)



Figura 2.14. Sistema de Bombeo Solar Directo

Fuente: (Aqueveque, 2009)

2.7 MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Medición de energía eléctrica es la técnica aplicada para determinar el consumo de energía eléctrica en un servicio eléctrico, circuito eléctrico o dispositivo eléctrico.

Al interior de una vivienda domestica existen varios dispositivos eléctricos individuales cuyo consumo energético muchas veces es desconocido, esto hace que varios dispositivos domésticos sean ineficientes o consuman grandes cantidades de energía, esto es conocido como consumo standby

Un constante monitoreo automático de la red de energía eléctrica mantendrá informado día a día y en tiempo real, además, permitirá conocer el comportamiento de la instalación y como administrar los servicios eléctricos, generar reportes y facturaciones. Esto permite tomar decisiones en cuanto se refiere a la mejor alternativa para sustituir equipos ineficientes con equipos modernos energéticamente eficientes.

2.7.1 FRECUENCIA DE MEDICIÓN

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en su Regulación No. CONELEC 004/01, establece los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación.

Como parte de los procedimientos de evaluación se ha establecido una frecuencia de medición para niveles de voltaje, perturbaciones, armónicos y factor de potencia, se establece que: “Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos”. (CONELEC, 2014)

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

3.1. BOMBAS SOLARES PARA AGUA

Existen múltiples tipos de bombas en función de la técnica de impulsión que utilicen, aunque en general pueden dividirse en dos grandes grupos: centrífugas y volumétricas. También existen otras divisiones como las de bombas sumergibles y no sumergibles (en el agua del pozo) o aquellas que trabajan con corriente continua y con corriente alterna. (Aqueveque, 2009)

Existen tres criterios de clasificación para las bombas de extracción.

1. Según la manera en que el agua es movida entre los dos niveles
2. Según la ubicación de la bomba respecto a la fuente de agua.
3. Según el tipo de motor eléctrico requerido.

3.1.1. SEGÚN LA MANERA EN QUE EL AGUA ES MOVIDA ENTRE LOS DOS NIVELES

3.1.1.1. BOMBA SOLAR CENTRÍFUGA

Tiene un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastra agua por su eje y la expulsa radialmente. Puede ser sumergibles o de superficie y obtiene óptimos rendimientos cuando se

requieren abundantes caudales de agua en pozos de poca profundidad (ríos o cisternas). Se usa frecuentemente para el riego de cultivos. (Aqueveque, 2009)



Figura 3.1. Bombas Centrifugas

Fuente: (Aqueveque, 2009)

3.1.1.2. BOMBA SOLAR VOLUMÉTRICA (O DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO).

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombeada es mayor. (ITACA Asesoramiento Energético, 2009)

Estas bombas pueden ser de inmersión o superficiales y trabajan a profundidades entre 10 m. y 500 m.



Figura 3.2. Bomba de Desplazamiento Positivo Kyocera serie SD

Fuente: (ITACA Asesoramiento Energético, 2009)

3.1.2. SEGÚN LA UBICACIÓN DE LA BOMBA RESPECTO A LA FUENTE DE AGUA

3.1.2.1. BOMBA SOLAR SUPERFICIAL

Una bomba superficial se monta al nivel de agua, ya sea adyacente a la fuente de agua o, en el caso de una bomba flotante, por encima del agua. Las bombas superficiales son menos caras que las bombas sumergibles pero no son aptas para succión ya que no pueden ubicarse a más de 20 pies verticales desde la fuente de agua (ya que podrían generar eventualmente problemas de cavitación). Las bombas superficiales son excelentes para empujar agua grandes distancias horizontales. Estos dispositivos autoaspirantes resultan muy adecuados para uso doméstico o riego por goteo, con un consumo eléctrico muy bajo. (Aqueveque, 2009)



Figura 3.3. Bomba Superficial

Fuente: (Aqueveque, 2009)

3.1.2.2. BOMBA SOLAR SUMERGIBLE

Indicada para pozos profundos, donde permite la elevación de agua de profundidades muy grandes. (Aqueveque, 2009)



Figura 3.4. Bomba Sumergible

Fuente: (Aqueveque, 2009)

3.1.3. SEGÚN EL TIPO DE MOTOR ELÉCTRICO REQUERIDO

Un motor eléctrico es la unidad de impulso para la bomba de agua. El motor está instalado en una base que lo mantiene en su lugar de forma segura. El motor eléctrico puede ser de corriente continua o de corriente alterna. (Aqueveque, 2009)

3.1.3.1 BOMBAS DE CC - CORRIENTE CONTINUA

Su funcionamiento se realiza con alimentación de corriente continua, la cual puede ser de 12 V, 24 V o mayores de 48 V. Una bomba de agua CC está diseñada para bombear usando un mínimo de consumo de la energía eléctrica, pero, desafortunadamente, esto también significa un bajo caudal. Aunque la tasa de flujo puede ser de menos de 5 galones por minuto (GPM) para los tamaños más pequeños de la bomba, este pequeño flujo será bastante constante durante todo el día solar. (Aqueveque, 2009)

3.1.3.2 BOMBAS DE AC - CORRIENTE ALTERNA.

Su funcionamiento se realiza con alimentación de corriente alterna y para su operación necesita de un transformador de corriente o inversor que convierta la energía solar almacenada de Corriente Continua en Corriente Alterna. Habitualmente, suelen incorporar seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) del generador FV y varían la frecuencia de operación del motor con el objeto de operar a niveles de potencia inferiores a la potencia nominal para disminuir el umbral de arranque y maximizar el número de horas de operación a lo largo de un día. (Arija, 2010)

3.2. CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR.

Las diferentes configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico pueden venir determinado por la combinación de distintos tipos de motores y su potencia de accionamiento con distintos tipos de bombas (centrífugas o

de desplazamiento positivo) o por el acople de cada uno de los componentes del sistema de bombeo fotovoltaico (generador, motor, bomba). (Alonso & Chenlo, 2009)

3.2.1. SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO POR NIVEL DE POTENCIA

Por el nivel de potencia que manejan los paneles solares se pueden distinguir tres tipos de sistemas:

- a) Sistemas de Baja potencia (50 a 400 Wp)
- b) Sistemas de Media potencia (400 a 1500 Wp)
- c) Sistemas de Alta potencia (Mayor a 1500 Wp)

3.2.1.1. SISTEMAS DE BAJA POTENCIA (50 A 400 WP)

Estos sistemas utilizan principalmente un motor DC para accionar una bomba de desplazamiento positivo (de membrana). Entre el generador fotovoltaico y el motor se puede instalar un convertidor DC/DC para mejorar su acople. Ejemplos de este tipo lo constituyen los sistemas Solarjack SDS o Shurflo /9300. (Alonso & Chenlo, 2009)



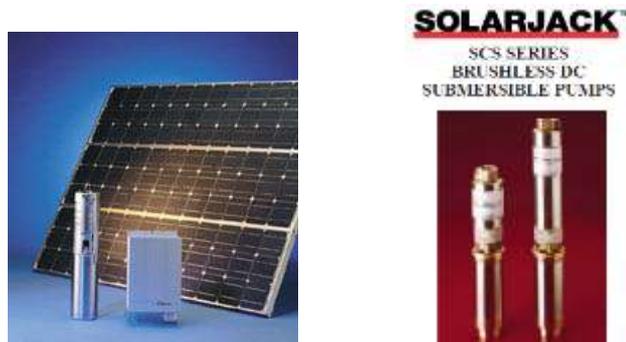
Figura 3.5. Sistemas de Baja Potencia (a) Model SDS o (b) Shurflo 9300

Fuente: (Alonso & Chenlo, 2009)

3.2.1.2. SISTEMAS DE MEDIA POTENCIA (400 A 1500 WP)

En este grupo de sistemas se pueden identificar dos configuraciones diferentes: una bomba centrífuga sumergible multi-estado con motor asíncrono accionado por un inversor de frecuencia variable (como los sistemas Grundfos solares SA400 y SA1500) y los formados por un motor DC sin escobillas (en este rango de potencias pueden tener un rendimiento mayor que los motores de inducción trifásicos convencionales y aún mayor que los motores de inducción monofásicos) operando una bomba de desplazamiento positivo helicoidal. El motor DC sin escobillas está comandado por un controlador externo utilizado tanto para la conmutación electrónica del motor DC como para realizar el seguimiento del punto de máxima potencia. (Alonso & Chenlo, 2009)

Mientras que la utilización de motores AC de inducción es habitual, los motores DC sin escobillas se están utilizando recientemente debido a su mayor rendimiento, incluso con bombas centrífugas, como el caso de los modelos Solarjack SCS.



a) Inversor DC/AC y bomba centrífuga sumergible (Grundfos SA400)
 b) Bomba con Motor DC sin Escobillas

Fuente: (Alonso & Chenlo, 2009)

3.2.1.3. SISTEMAS DE ALTA POTENCIA (MAYOR A 1500 WP)

El tercer tipo de sistemas de bombeo fotovoltaico, está basado en la utilización de convertidores o variadores de frecuencia industriales en aplicaciones de potencia superior al kWp. El número de sistemas de bombeo fotovoltaico, han demostrado un elevado grado de fiabilidad como

un buen rendimiento de operación, no son muy numerosos: muchos tienen diseños muy especiales y resultan caros comparados con el costo del bombeo convencional. Además existe una limitación en cuanto a la potencia disponible (los mayores no superan los 1600 Wp). Las necesidades de volúmenes de agua demandados, especialmente para aplicaciones de riego agrícola, son cada vez mayores lo que implica a su vez un aumento de la potencia instalada de los sistemas. (Alonso & Chenlo, 2009)

Actualmente hay sistemas de potencia superior a los 10 KWp en operación. La utilización de convertidores de frecuencia en aplicaciones de bombeo fotovoltaico ofrece una solución viable, eficiente y económica.

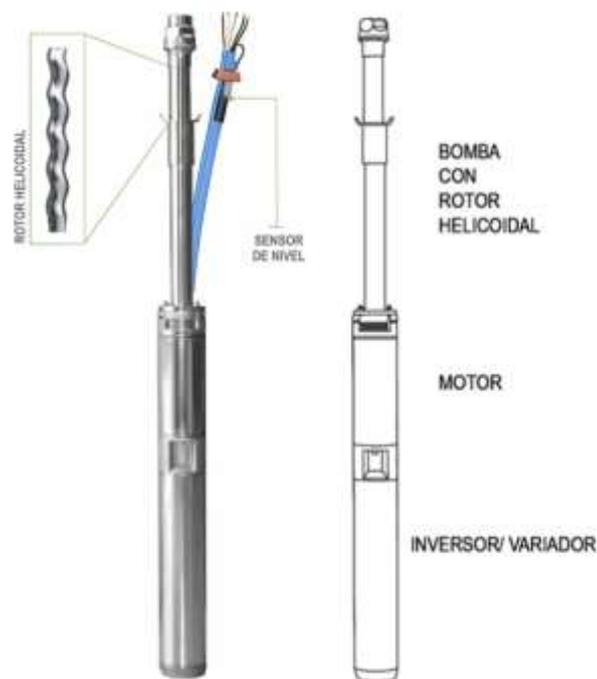


Figura 3.7. Bomba Helicoidal Sumergible con Motor DC sin escobillas de alto rendimiento (Monopumps)

Fuente: (Alonso & Chenlo, 2009)

3.2.2. SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO POR FORMA DE ACOPLÉ

El acople de cada uno de los componentes del sistema de bombeo fotovoltaico generador, motor y bomba, puede adoptar diferentes configuraciones dependientes de la tecnología de los productos disponibles

en el mercado y de las especificaciones y necesidades particulares de cada aplicación. (Alonso Abella, 2005)

Las cuatro configuraciones comúnmente instaladas son:

- a) El equipo motor–bomba sumergido.
- b) La bomba sumergida con motor en la superficie
- c) El motor–bomba tipo flotante
- d) El equipo motor-bomba instaladas en la superficie

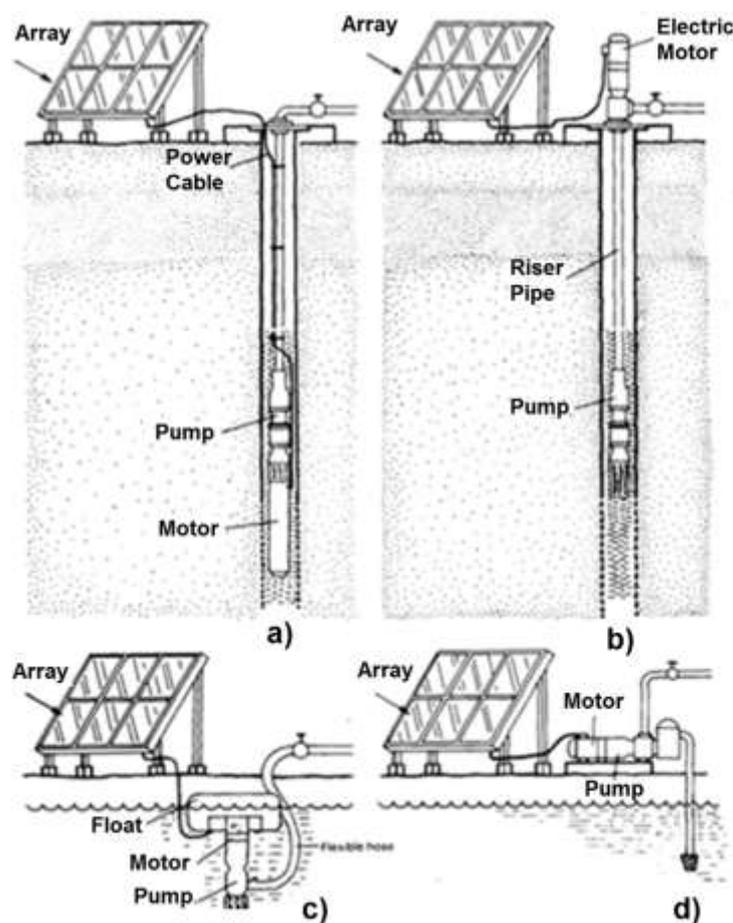


Figura 3.8. Configuraciones de Bombeo Fotovoltaico Comúnmente Instaladas por Forma de Acople

Fuente: (FAO Corporate Document Repository, 2007)

Los sistemas de bombeo con motores AC incluyen un inversor. Las bombas centrífugas con motores DC suelen acoplarse directamente al generador Fotovoltaico, mientras que las bombas de desplazamiento positivo con motores DC suelen acoplarse al generador Fotovoltaico mediante un convertidor DC/DC.

3.2.2.1. EL EQUIPO MOTOR-BOMBA SUMERGIDO.

Este tipo de bomba solar es probablemente el más común utilizado para el suministro de agua de un pueblo o localidad. La ventaja de esta configuración es que es fácil de instalar, a menudo con tuberías flexibles y el equipo de bombeo del motor se sumerge lejos de posibles daños. (Universidad de Stanford, 2009)

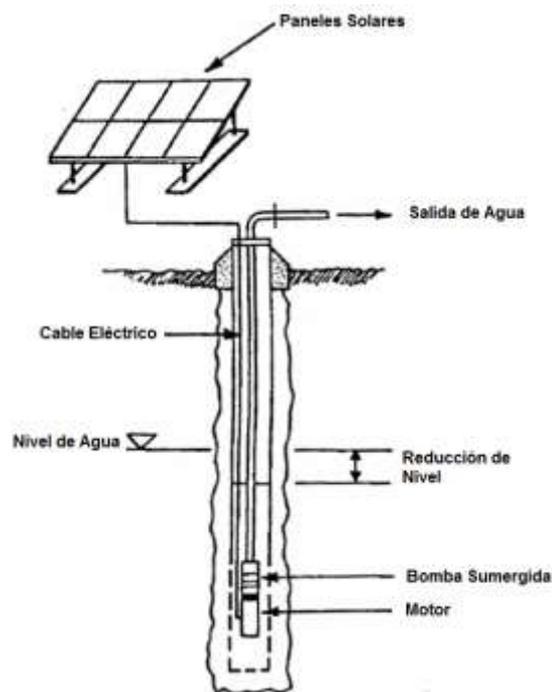


Figura 3.9. El equipo motor-bomba sumergido.

Fuente: (Universidad de Stanford, 2009)

Los motores de corriente alterna o de corriente continua pueden ser incorporados en el equipo de bombeo, aunque sería necesario un inversor para sistemas de corriente alterna.

3.2.2.2. LA BOMBA SUMERGIDA CON MOTOR EN LA SUPERFICIE

Esta configuración fue ampliamente utilizada con bombas de turbina en algunas zonas de África occidental durante la década de 1970. Da fácil acceso al motor para el cambio de escobillas y otras tareas de

mantenimiento. La baja eficiencia como pérdidas de energía en los rodamientos del eje y el alto costo de la instalación han sido algunas desventajas constantes. En general esta configuración en gran medida está siendo reemplazada por equipo motor–bomba sumergido. (Universidad de Stanford, 2009)

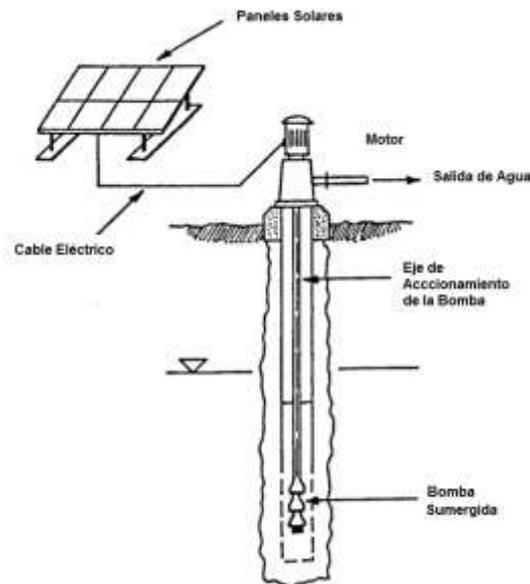


Figura 3.10. La bomba sumergida con motor en superficie

Fuente: (Universidad de Stanford, 2009)

3.2.2.3. EL MOTOR–BOMBA TIPO FLOTANTE

La versatilidad del conjunto de unidad flotante, lo hace ideal para el bombeo de riego por canales y pozos abiertos. El equipo de bombeo es fácil de transportar y hay una posibilidad muy pequeña de que la bomba de funcione en seco.

La mayoría de estos tipos utiliza una bomba centrífuga de una sola etapa sumergida. El tipo más común utiliza un motor de corriente continua sin escobillas con conmutación electrónica. (Universidad de Stanford, 2009)

A menudo, el soporte los paneles solares incorporan una manija o "carretilla de rueda" tipo carro para permitir el transporte.

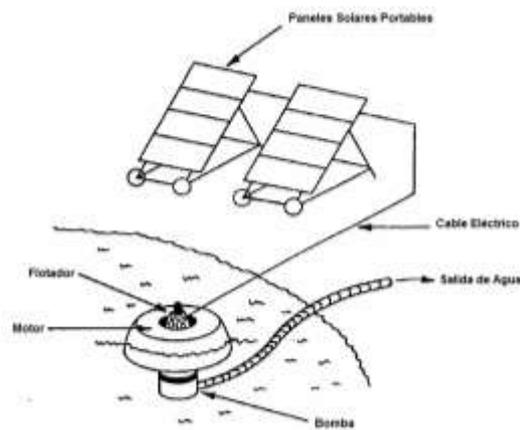


Figura 3.11. El motor-bomba tipo flotante
Fuente: (Universidad de Stanford, 2009)

3.2.2.4. EL EQUIPO MOTOR-BOMBA INSTALADAS EN LA SUPERFICIE

Este tipo de equipo de bombeo no se recomienda, excepto cuando un operador siempre se encuentre presente. Aunque el uso de la cámara primaria y válvulas de no-retorno puede prevenir la pérdida del cebado de la bomba, en la práctica los problemas de auto-arranque y cebado son experimentados. No es práctico tener tuberías de succión de más de 8 metros. (Universidad de Stanford, 2009)

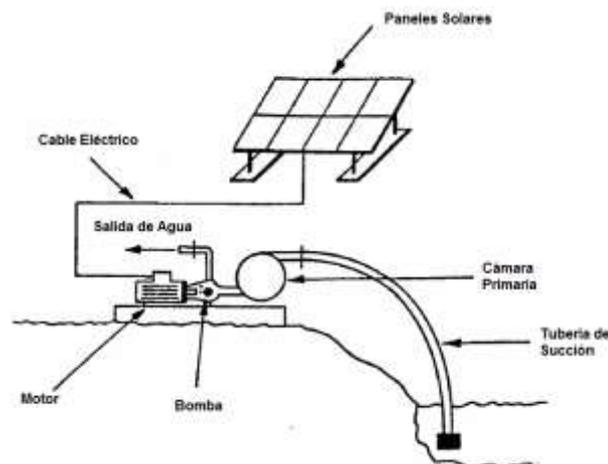


Figura 3.12. El equipo motor-bomba instaladas en la superficie
Fuente: (Universidad de Stanford, 2009)

3.3. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que en un sistema FV, la energía cuesta dinero. En general, el proyectista debe tener una idea clara de qué tipo de bomba es la más adecuada para su proyecto. Este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de cada bomba. Un sólo fabricante puede ofrecer más de 20 modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

Las bombas más eficientes son las de desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total. Por ejemplo, una bomba de palanca puede llegar a tener una eficiencia de más del 40%, mientras que una bomba centrífuga puede tener una eficiencia tan baja como 15%. La Figura 3.13 indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la carga dinámica total del sistema de bombeo. (ITACA Asesoramiento Energético, 2009)

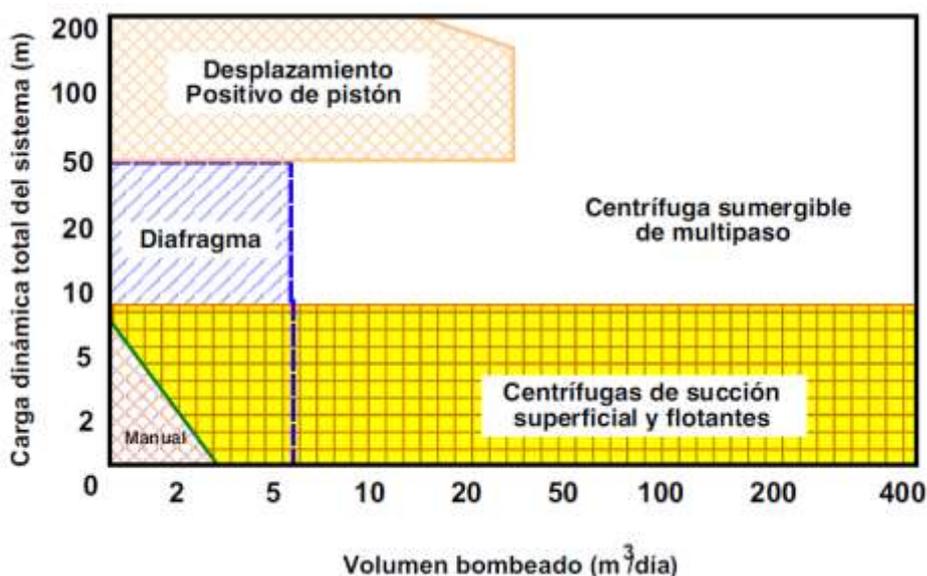


Figura 3.13. Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bombas solares

Fuente: (ITACA Asesoramiento Energético, 2009)

Tabla 3.1. Principales características de las bombas fotovoltaicas

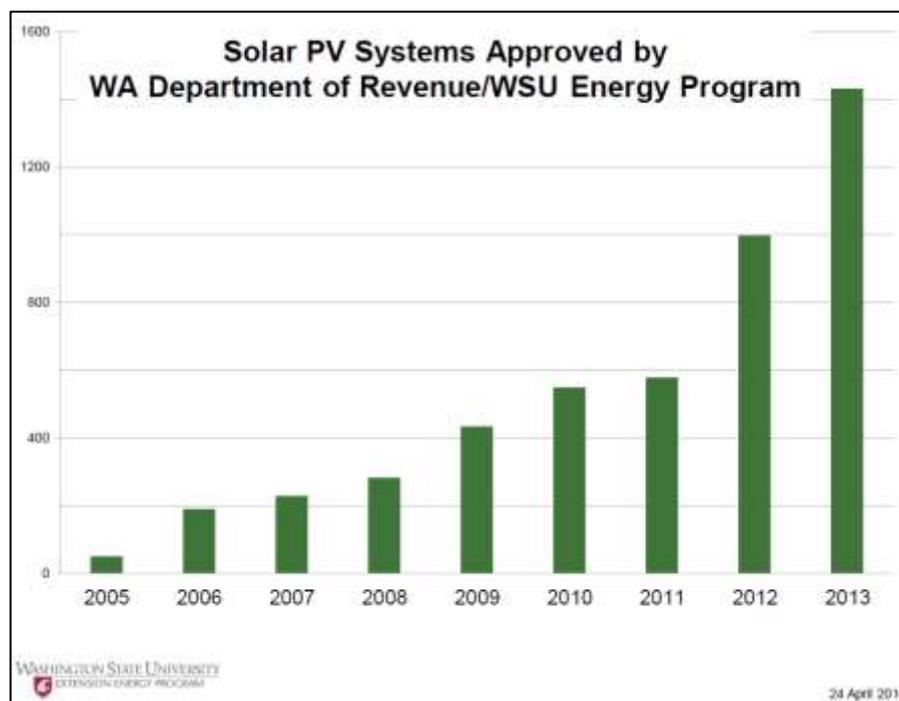
Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	<p>Comúnmente disponibles.</p> <p>Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.</p> <p>Pueden utilizar el agua como lubricante.</p> <p>Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.</p> <p>Manejan flujos altos.</p> <p>Operan a cargas dinámicas grandes.</p> <p>Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos.</p>	<p>Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT (Carga Dinámica Total)</p> <p>Se dañan si trabajan en seco.</p> <p>Deben extraerse para darles mantenimiento.</p> <p>Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.</p>
Centrífugas de succión superficial	<p>Comúnmente disponibles.</p> <p>Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.</p> <p>Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales.</p> <p>Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.</p> <p>Manejan flujos altos.</p> <p>Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.</p>	<p>Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT (Carga Dinámica Total)</p> <p>Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.</p> <p>Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.</p>
Desplazamiento Positivo de pistón	<p>Soportan cargas dinámicas muy grandes.</p> <p>La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.</p>	<p>Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón.</p> <p>No toleran arenas o sedimentos.</p> <p>La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro.</p> <p>Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos.</p> <p>No dan grandes flujos.</p>
Diafragma	<p>Operan a cargas menores de 40 metros.</p> <p>Son muy económicas.</p>	<p>No toleran arenas o sedimentos.</p> <p>No trabajan a cargas dinámicas grandes</p> <p>Bajos flujos.</p>

Fuente: (ITACA Asesoramiento Energético, 2009)

3.4. AVANCES DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR.

Algunos estudios realizados que relacionan el sistema de bombeo con energía solar han permitido tener formas de selección de equipos y dispositivos, para mejorar la eficiencia de los sistemas de bombeo y particularizar su funcionamiento para la zona de influencia. (Arija, 2010)

La Universidad Estatal de Washington ha realizado estudios en donde las zonas rurales desempeñan un papel importante en el desarrollo de los recursos energéticos renovables. Un número creciente de propietarios rurales están utilizando energía solar fotovoltaica para varias aplicaciones, conforme se puede observar en la figura 3.14. (Universidad Estatal de Washington, 2014)



a)

Figura 3.14. Resultados de Estudios de la Universidad Estatal de Washington – a) Paneles solares

Fuente: (Universidad Estatal de Washington, 2014)

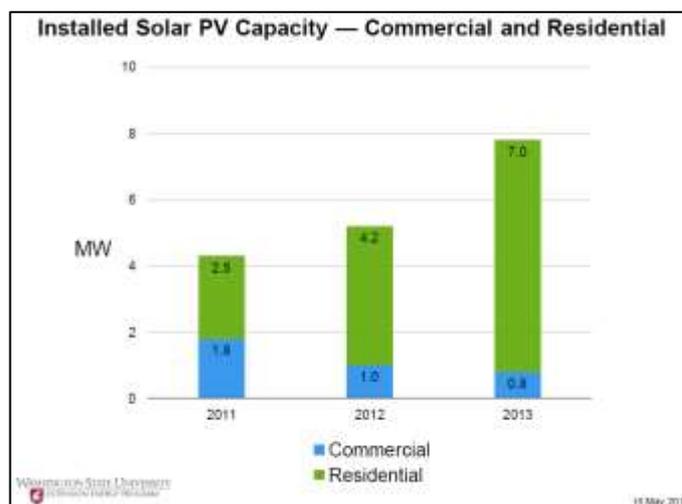


Figura 3.15. Resultados de Estudios de la Universidad Estatal de Washington –b) Capacidad Instalada

Fuente: (Universidad Estatal de Washington, 2014)

3.4.1. VISIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

Uno de los mejores justificantes para instalar un sistema de bombeo fotovoltaico es su costo. En la mayoría de los casos la instalación de estos sistemas responde al beneficio económico que representará para su propietario. Por ejemplo, la Figura 3.16 muestra que no es verdad que un sistema fotovoltaico sea más costoso que su contraparte, un motor de combustión interna. (CENIDET, 2009)

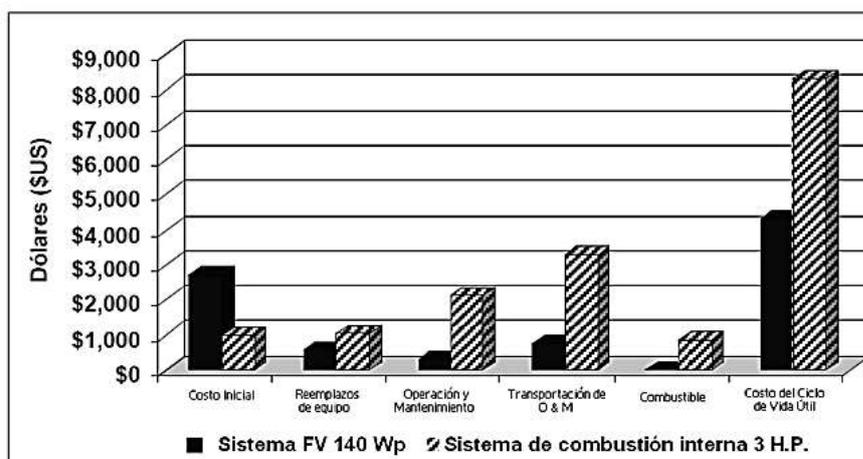


Figura 3.16. Comparación de Costos

Fuente: (CENIDET, 2009)

Cuando se miran a fondo los costos relacionados con otros sistemas de bombeo (bombas impulsadas por motores de combustión interna), surgen aspectos tan explícitos como el costo del combustible, o bien, algunos que difícilmente se visualizan, como los costos de transporte para la Operación y Mantenimiento. La Figura 3.17, por su parte, ilustra la evolución de los gastos asociados con los sistemas de bombeo fotovoltaicos y de combustión interna. La amortización del costo extra pagado por el sistema fotovoltaico es evidente, incluso después de haber pagado casi el triple del costo que en el sistema de combustión interna. (CENIDET, 2009)

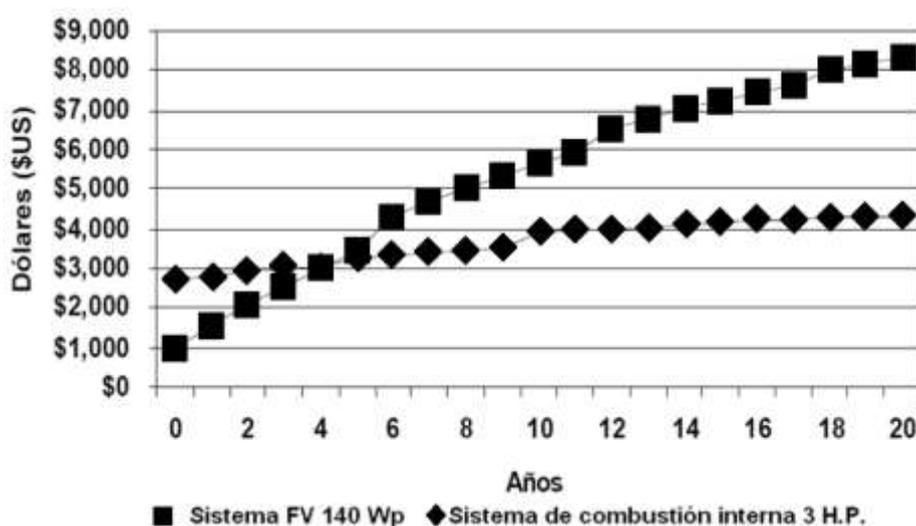


Figura 3.17. Periodo de recuperación de inversión

Fuente: (CENIDET, 2009)

3.4.2. ESTUDIOS RELACIONADOS CON SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR.

3.4.2.1. “DETERMINACIÓN DEL SISTEMA SOLAR OPTIMO PARA BOMBEO DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, RIEGO DE GANADO”

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), ha probado en campo diferentes tipos de sistemas de bombeo de agua con energía solar. Este estudio explica varios pasos para seleccionar un sistema de

bombeo de agua solar fotovoltaica. Los pasos para la selección de un sistema de bombeo de agua autónomo fueron: decidir si el sistema de bombeo de agua solar sería mejor que un sistema de bombeo eólico, determinar el tipo de módulo fotovoltaico, cómo el controlador puede afectar la decisión, la selección del tipo de bomba (diafragma, pistón, helicoidales, o centrífuga), y analizar la demanda mensual de agua. También se incluyen tres casos de estudio para determinar el tamaño del arreglo Fotovoltaico, potencia de operación del motor-bomba y el tipo de bomba. (United States Department of Agriculture, 2009)

Como conclusión de este estudio, se determinó que los sistemas de bombeo de agua solar fotovoltaicos de menos de 1,5 kW tienen más probabilidades de ser utilizados en los Estados Unidos con relación a los sistemas de bombeo de agua eólicos, debido a una mayor adecuación a la demanda de agua, menos requisitos de mantenimiento y una mayor área de terreno con un buen recurso solar que con un buen recurso eólico. Para bombas helicoidales y centrífugas, los módulos fotovoltaicos de silicio policristalino estándar de 24 VDC será la mejor opción. Para las bombas de diafragma, usar un controlador es casi siempre la mejor opción, en lugar de conectar directamente el panel fotovoltaico al motor de la bomba. (United States Department of Agriculture, 2009)

3.4.2.2. “ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA OPERACIÓN DE ESTACIONES DE BOMBEO EN LA REGIÓN DELTA DEL NILO, USANDO TÉCNICAS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”

En el Nilo, el Departamento de Protección Hidráulico, el Instituto de Investigación y el Centro de Investigación del Agua, desarrollaron un estudio para analizar las estaciones de bombeo de agua con combustible diesel y reemplazarlas por estaciones de bombeo de agua solares. Debido a la disminución de los niveles de agua en el río Nilo, se utilizan estaciones de

bombeo de agua a lo largo del río Nilo con canales para el riego de tierras agrícolas. Alrededor de 600 redes de estaciones de bombeo se distribuyen por todo las provincias del Nilo. Se discute el efecto de la operación de la bomba usando el combustible diesel en el medio ambiente y los valores de CO₂, emitidos al medio ambiente. Para el estudio se recopiló mapas de elevaciones digitales y gran cantidad de información de las bombas utilizadas. Los resultados entregan una visión clara, para la toma de decisiones y aplicar la energía solar en todas las estaciones de bombeo distribuidas. (International Conference on Environmental Science and Development, 2013)

Como conclusiones de este estudio, se logró determinar la potencia consumida, el combustible diesel consumido y la cantidad de CO₂ emitida al medio ambiente. Se evaluó el recurso solar, para estudiar la sustitución de las bombas de riego con combustible diesel por bombas fotovoltaicas. Además, se estableció que el impacto del uso de combustible diesel en las bombas de riego causó emisiones de CO₂ que se han estimado en un 11,8 ton / día de CO₂, esto causa un efecto negativo sobre el medio ambiente y el ser humano. Los resultados de modelo de radiación solar se comparan con los datos medidos en la estación metrológica del Cairo y se determinó, que las estaciones de bombeo fotovoltaicas son las más adecuadas, pero necesitan áreas amplias para su implementación, por lo que, las áreas remotas serán las más adecuadas para este nuevo sistema. (International Conference on Environmental Science and Development, 2013)

3.4.2.3. “DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEO DE AGUA Y COMPARARLO CON EL BOMBEO ACCIONADO CON DIESEL”

El Ministerio jordano de Educación Superior e Investigación Científica en sociedad con la Universidad Hachemita, desarrolló esta investigación, para examinar los pasos y los componentes clave necesarios para diseñar y

construir un sistema de bombeo fotovoltaico. Las ventajas de los sistemas de bombeo fotovoltaicos incluyen bajo costo de operación, el funcionamiento sin atención, bajo mantenimiento, fácil instalación y larga vida. (Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2011)

Como conclusión de este estudio, se determinó que la mayoría de los sistemas de bombeo fotovoltaico no utilizan baterías para almacenamiento energético, es decir, los módulos fotovoltaicos se conectan directamente a la bomba. En lugar de almacenar la energía en baterías, el agua se bombea a los depósitos de almacenamiento para su uso cuando el sol no está brillando. La eliminación de las baterías del sistema, reduce aproximadamente un tercio del costo del sistema y la mayor parte del mantenimiento. Sin baterías, el sistema de bombeo fotovoltaico es muy simple. Se compone de sólo tres componentes: los paneles solares, un controlador de la bomba y la bomba. Los módulos solares están garantizados para producir de 20 a 25 años. La expectativa de vida de la mayoría de los controladores es 5-10 años. La vida de la bomba puede variar 5-10 años. A menos que falle la bomba o controlador, el único mantenimiento que requiere es la limpieza de los módulos solares cada 2-4 semanas. Esta tarea, obviamente, puede hacerse de manera barata de mano de obra local no especializada. (Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2011)

CAPÍTULO IV

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. EQUIPOS DE MONITOREO

Para la recolección de datos eléctricos, tensión, corriente, potencias activas, reactivas y aparentes, armónicos, se utilizó un medidor y registrador de parámetros eléctricos de marca “AEMC Instruments” y Modelo “PEL 103”. Para las medidas de Corriente se utilizó una pinza amperimétrica de Marca FLUKE 375 y para las medidas de tensión se utilizó un Voltímetro Fluke 789.

4.1.1. MEDIDOR DE POTENCIA Y ENERGÍA AEMC PEL 103

El medidor de potencia y energía PEL 103 es un medidor de potencia y energía para todas las instalaciones eléctricas. Las medidas se realizan con la ayuda de 3 sensores de corriente y entradas de tensión. Permiten visualizar todos los parámetros eléctricos y explotar las funciones de medida, registro y comunicación. Permite al usuario registrar todas las medidas eléctricas necesarias para llevar a cabo los proyectos de eficiencia energética y garantizar el control de la distribución eléctrica. El medidor de energía, le permite añadir fácilmente puntos de cómputo y de medida en los armarios eléctricos penalizados por restricciones de integración.



Figura 4.1. Medidor de Energía y Registrador

- ✓ Clase de precisión de 0,2%
- ✓ Medidas de los valores de potencia, PF, THD contador horario
- ✓ Medidas de todas las potencias
- ✓ Medidas DC de hasta 400 Hz
- ✓ Medida y valorización de las energías
- ✓ Tensión de hasta 1.000 V
- ✓ Comunicación Ethernet, Bluetooth y mediante tarjeta SD
- ✓ Fácil de instalar sin abrir la red eléctrica
- ✓ Configuración en un tiempo récord Registro en tarjeta SD

4.1.2. AMPERÍMETRO FLUKE 375

El amperímetro Fluke 375 ofrece un rendimiento mejorado e ideal para cualquier situación en las que únicamente hay que medir la corriente. El amperímetro también tiene medidas de corriente y tensión AC y DC. Los estándares de seguridad le garantizan la máxima seguridad.



Figura 4.2. Amperímetro Fluke 375

- ✓ Medición de la tensión 0 - 600 V (AC / DC)
- ✓ Medida de corriente: 0-600 A (AC / DC)
- ✓ Medición de la resistencia: 0-60 k Ω
- ✓ Apertura de la pinza: 32 mm
- ✓ Medida de corriente CA mediante la tecnología iFlex
- ✓ La señal de la medición permanecen estable incluso en entornos con fuertes interferencias electromagnéticas
- ✓ Medida de corriente DC mediante la tecnología iFlex
- ✓ CAT IV 300 V, CAT III 600 V
- ✓ Verdadero valor eficaz Tensión y corriente AC para mediciones precisas
- ✓ Gran pantalla retroiluminada
- ✓ El rango de medición automático

4.1.3. MULTÍMETRO FLUKE 789

El Fluke 789 combina un multímetro digital y un calibrador de corriente de lazo en un solo instrumento, duplicando su funcionalidad. El Fluke 789 tiene la capacidad de alimentar el lazo a 24 V, eliminando la necesidad de disponer de una fuente de alimentación independiente al realizar calibraciones de transmisiones en campo. Incorpora además un resistor Hart de 250 ohmios de manera que no se necesita llevar un resistor independiente.



Figura 4.3. Amperímetro Fluke 375

- ✓ Multímetro digital y calibrador de corriente de lazo en un instrumento
- ✓ Multímetro digital de verdadero valor eficaz con un rango de 1000V, 440mA

- ✓ Fuente de corriente DC y calibrador de corriente de lazo
- ✓ Alimentación de lazo de 24 voltios
- ✓ Modos Min/Max/Medio/Hold/Relativo
- ✓ Comprobación de diodos y avisador acústico de continuidad
- ✓ Incremento manual (100%, 25%, Ajuste grueso, Ajuste fino) además de funciones de incremento y rampa automáticas
- ✓ Presentación simultánea de mA y porcentaje
- ✓ Compatible con lazos HART (incorporando una resistencia de 250 Ohm)
- ✓ Botones 0-100% para verificaciones "Span Check" rápidas
- ✓ Categoría de seguridad CAT III 1000 V

4.2. DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DOMÉSTICO TRADICIONAL.

4.2.1. SISTEMA DE BOMBEO DOMÉSTICO TRADICIONAL

La mayor parte de los habitantes de Lago Agrio cuentan con un sistema de bombeo tradicional, el cual, consta de un sistema de almacenamiento primario (cisterna o tanque) a nivel del suelo, pues es donde la Dirección de Agua Potable de Lago Agrio entrega el suministro. Luego mediante una bomba eléctrica elevan el agua hasta un sistema de almacenamiento secundario, el cual, mediante acción de la gravedad distribuye el agua a toda la vivienda.

Este sistema ha sido implementado por la mayoría de usuarios de la región de estudio y muchas veces sin un estudio adecuado, para el dimensionamiento de sus componentes.

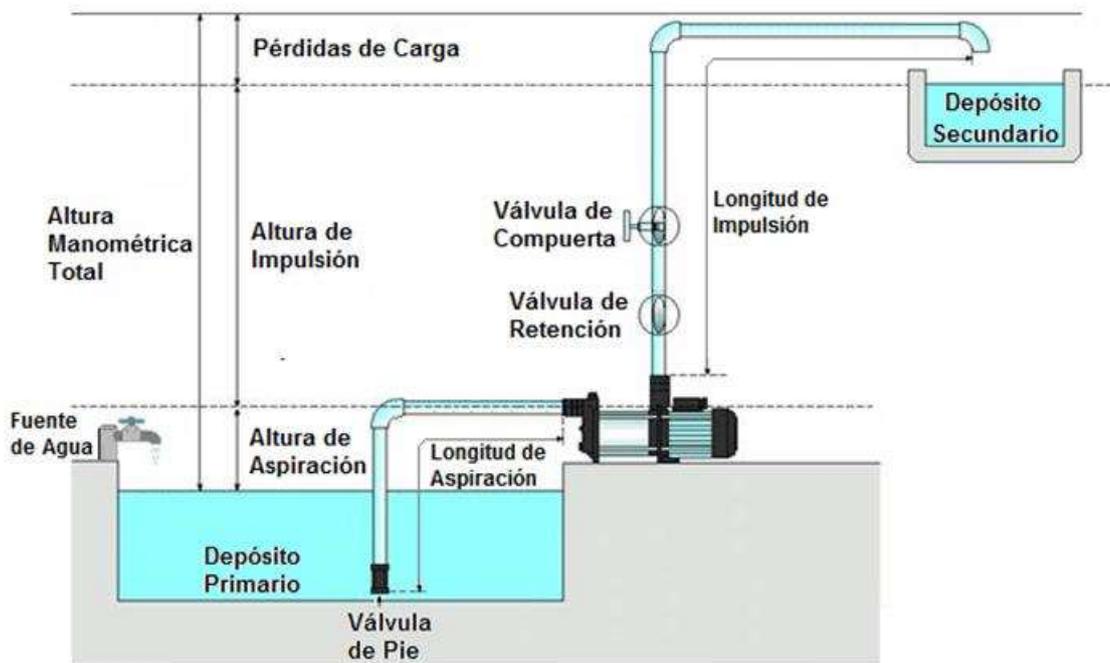


Figura 4.4. Sistema de Bombeo Tradicional

Caudal (Q): se define como la cantidad de líquido que bombea en un tiempo determinado, para satisfacer las necesidades del usuario, viene definido por unidades como (l/min) ó (m³/h). (Gutiérrez, 2008)

Altura manométrica (Hm): es la altura, presión diferencial o resistencia que tiene que vencer la bomba. Su unidad de medida es el metro de columna de agua (mca). (Gutiérrez, 2008)

Desde un punto de vista técnico, se podría definir a la altura manométrica como la suma de la Altura de Aspiración, Altura de Impulsión y Pérdidas de Carga. (Barber Lloret, 2008)

$$Hm = Ha + Hi + Pc \quad (4.1)$$

- ✓ **Altura de aspiración (Ha):** distancia vertical desde el límite superior del agua hasta la entrada de la bomba.
- ✓ **Altura de impulsión (Hi):** distancia desde la bomba hasta el punto de dosificación del líquido.

- ✓ **Pérdidas de carga (Pc):** son las pérdidas de presión del líquido al rozar con las tuberías, codos, válvulas y otros elementos. Este valor se calcula en función de la velocidad del líquido y del tipo de elemento por donde pase.

Las pérdidas de carga se pueden calcular de tres maneras según la normativa NEC 2011 que se aplica en el País (Barber Lloret, 2008). Para lo cual se eligió calcular la longitud equivalente con la ecuación 4.2:

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519} \quad (4.2)$$

Dónde:

L_e = longitud equivalente, en metros

A, B = factores que dependen del tipo de accesorio, según Tabla 4. 1

d = diámetro interno, en milímetros

C = coeficiente según material de tubería (acero: 120, plástico: 150, etc.)

Tabla 4.1. Factores para el cálculo de longitudes equivalentes

Factores para el cálculo de longitudes equivalentes		
Accesorio	Factor A	Factor B
Codo de 45°	0.38	+ 0.02
Codo radio largo 90°	0.52	+ 0.04
Entrada normal	0.46	- 0.08
Reducción	0.15	+ 0.01
Salida de tubería	0.77	+ 0.04
Té paso directo	0.53	+ 0.04
Té paso de lado y té salida bilateral	1.56	+ 0.37
Té con reducción	0.56	+ 0.33
Válvula de compuerta abierta	0.17	+ 0.03
Válvula de globo abierta	8.44	+ 0.50
Válvula de pie con criba	6.38	+ 0.40
Válvula de retención	3.20	+ 0.03

Se ha podido constatar que en casi todos los domicilios de Lago Agrio existe un sistema de Bombeo tradicional y esto se puede evidenciar a simple vista al transitar por las principales calles de la ciudad.



Figura 4.5. Sistema de Bombeo Tradicional en Lago Agrio

Como se puede observar en la figura 4.5, el sistema de bombeo tradicional existente en la mayor parte de la población de Lago Agrio, consta del sistema de almacenamiento primario, un sistema de bombeo y un sistema de almacenamiento secundario.



Figura 4.6. Lago Agrio Vista Aérea (2008)



Figura 4.7. Lago Agrio – Barrio Simón Bolívar (2014)

4.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Para el presente proyecto de estudio se han seleccionado dos sitios de estudio dentro del área urbana de Lago Agrio, debido a que presentan facilidades para la instalación de los equipos de medición.

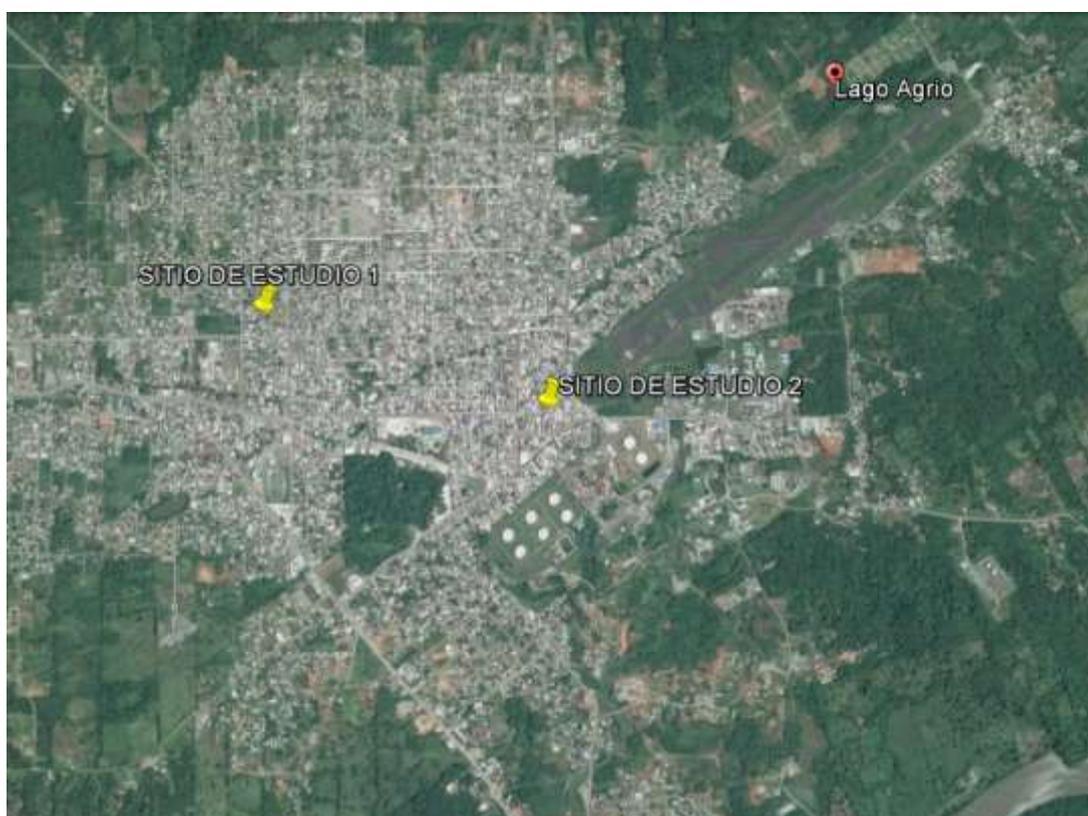
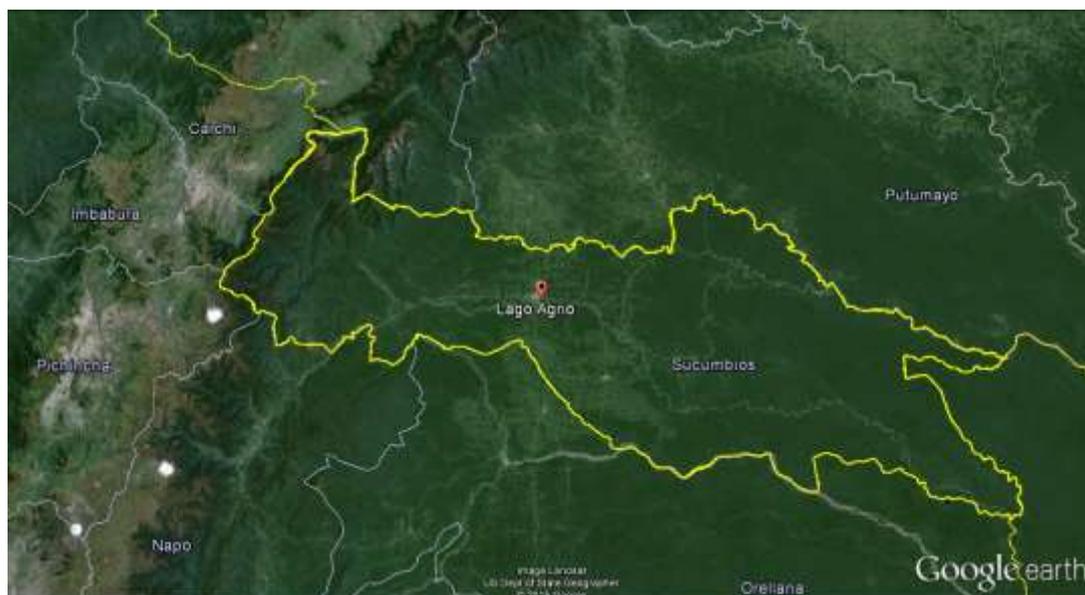


Figura 4.8. Área Urbana de Lago Agrio – Sitios de Estudio

4.2.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO N° 1

El Sitio de estudio N° 1, está ubicado en Ecuador, en la Provincia de Sucumbíos, en el Cantón Lago Agrio, Ciudad Nueva Loja, Barrio Simón Bolívar, calle Leónidas Proaño y Chinchipe Esq. Es una vivienda de tres plantas, en el interior de esta residencia aproximadamente viven 12 familias. Cada familia es conformada por 3 personas en algunos casos y en total de 30 personas.

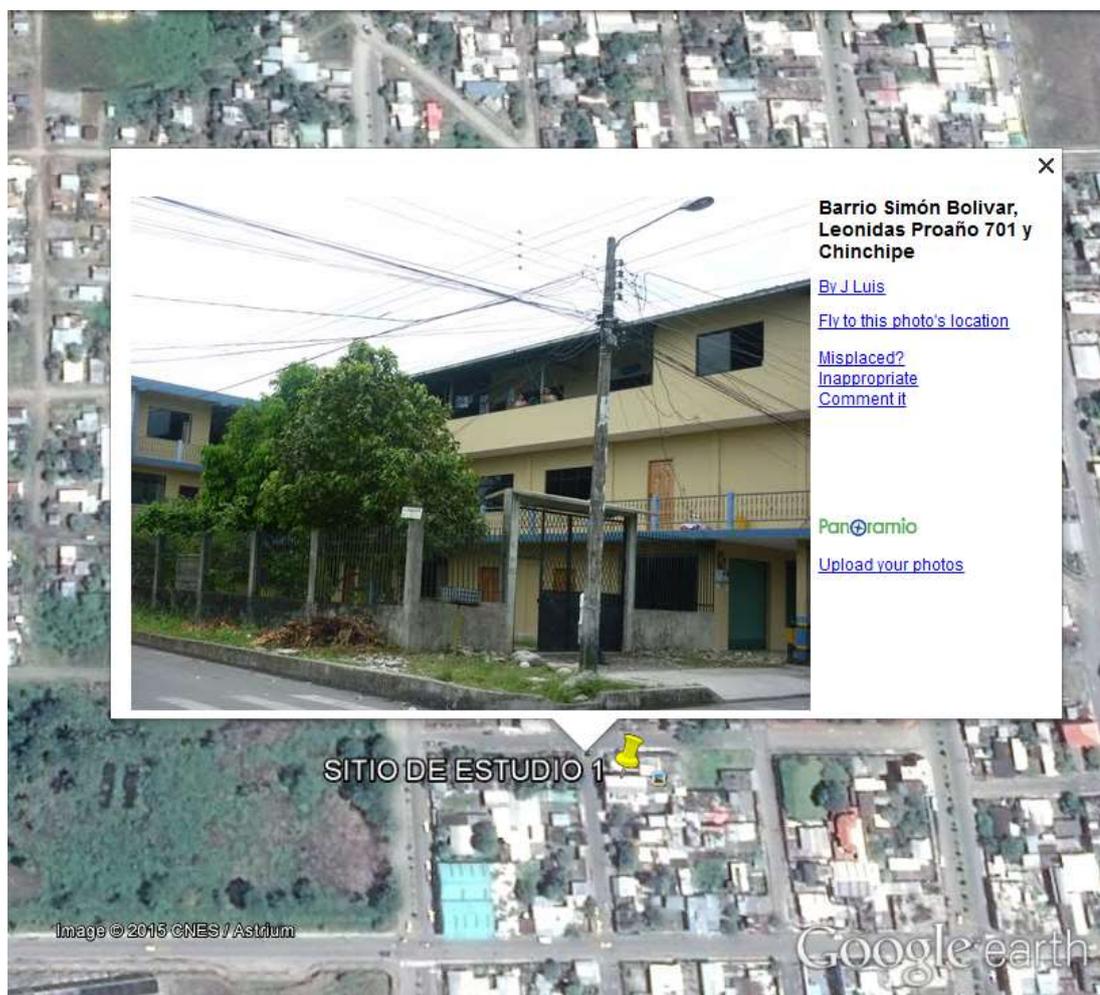


Figura 4.9. Área Urbana de Lago Agrio – Sitio de Estudio N° 1

Para esta vivienda, el sistema de almacenamiento secundario está conformado por cuatro tanques de almacenamiento de 1100 litros cada uno conectados en paralelo y en total pueden almacenar 4400 litros. Los tanques de almacenamiento se ubican a una altura de 11 metros a nivel del suelo.



Figura 4.10. Área de Almacenamiento Secundario – Sitio de Estudio N° 1

Los datos de Placa de la bomba eléctrica para agua demuestran que la conexión es monofásica. Y según el usuario informa que la bomba se enciende una vez al día.



Figura 4.11. Sistema de Bombeo – Datos de Placa– Sitio de Estudio N° 1

DATOS DE FUNCIONAMIENTO A n=3450 1/min

MODELO BOMBA		POTENCIA		Q											
				0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
3		kW	HP	m ³ /h	0	0.167	0.333	0.500	0.667	0.833	1.000	1.167	1.333	1.500	
				l/s	l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
CPm 580	CP 580	0.30	0.40	H m	17.5	15.5	14	12	10	7	4				
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		21.5	20	19	17	15	12.5	9.5	6			
CPm 610X	CP 610X	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21	17.5	14			
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	29.5	27	24	20.5	17	13	
CPm 630	CP 630	1	1.35		45	43	41	39	37	35	32	29	25	21	

H = ALTURA MANOMETRICA TOTAL EN METROS. Q = CAUDAL

Figura 4.12. Sistema de Bombeo – Hojas Características – Sitio de Estudio N° 1

Con estos datos y de manera teórica, se pueden realizar ciertas estimaciones que podrían ser útiles para tener parámetros de referencia de los consumos.

4.2.2.2. CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 1

Tubería de aspiración:

$$Ha(\text{Altura de aspiración}) = 1.5 \text{ metros}$$

$$La(\text{Longitud de Aspiracion}) = 6.5 \text{ metros}$$

$$\text{Válvula a pie de tubería} = 1$$

$$\text{Codos a } 90^\circ = 3$$

Cálculo de la Longitud equivalente del Codo

$$A = 0.52$$

$$B = +0.04$$

$$d = 32 \text{ mm (Codo } 90^\circ \text{ 1" plastigama)}$$

$$C = 150(\text{Plástico})$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(0.52 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.04 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 0.4598 \text{ (mts)}$$

$$L_{e \times 3} = 0.459 \times 3 = 1.3794 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la Longitud equivalente de la Válvula de Pie

$$A = 6.38$$

$$B = +0.4$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$C = 150 \text{ (Plástico)}$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(6.38 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.4 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 5.5816 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la Caudal medio (INEN, 1997)

De las 30 personas que habitan en el domicilio, se ha fijado en 90 litros por habitante por día, ya que se ha considerado las tablas de la norma nacional y además se han evaluado las recomendaciones de la OMS para poblaciones rurales. De esta forma se tiene el siguiente valor:

$$\text{Caudal medio } (Q_m) = f \times \frac{D \times P}{86400} \quad (4.3)$$

Dónde:

D = Dotación (l/hab/día)

f = Factor fugas (1.2 para conexiones domiciliarias)

P = Población futura

$$Q_m = 1.2 \times \frac{90 \text{ (l/hab/día)} \times 30 \text{ (hab)}}{86400 \text{ (seg/día)}}$$

$$Q_m = 1.2 \times \frac{2700 \text{ (l/día)}}{86400 \text{ (seg/día)}}$$

$$Q_m = 0.0375 \text{ (l/seg)}$$

Cálculo de la Caudal Máximo Diario (INEN, 1997)

$$Q_{MD} = 1.25 \times Q_m \quad (4.4)$$

$$Q_{MD} = 1.25 \times 0.0375 \text{ (l/seg)}$$

$$Q_{MD} = 0.046875 \text{ (l/seg)}$$

Cálculo del Caudal de Diseño (INEN, 1997)

$$Q_B = 1.05 \times Q_{MD} \times \frac{24 \text{ horas}}{N^\circ \text{ de horas de bombeo al día}} \quad (4.5)$$

$$Q_B = 1.05 \times 0.046875 \text{ (l/seg)} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ hora al día}}$$

$$Q_B = 1.1812 \text{ (l/seg)}$$

Cálculo de la altura dinámica Total (Ingenecanica, 2013)

Caudal de Diseño $Q_B = 1.1812$ (l/seg),

Diámetro $D = 33.7$ mm (Tubería 1" plastigama)

Tabla 4.2. Pérdidas por fricción en tubería de PVC

l/s	m ³ /s	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
		ID	ID	ID	ID	ID	ID
		0.622"	0.824"	1.049"	1.380"	1.610"	2.067"
0.13	0.45	4.10					
0.19	0.68	8.70	2.20				
0.25	0.91	14.80	3.70				
0.32	1.14	22.20	5.70	1.80			
0.38	1.36	31.20	8.0	2.50			
0.44	1.59	41.50	10.6	3.30			
0.50	1.82	53.0	13.5	4.20			
0.57	2.04	66.0	16.8	5.20			
0.63	2.27	80.50	20.40	6.30	1.70		
0.76	2.73		28.60	8.90	2.30	1.10	
0.88	3.18		38.00	11.80	3.10	1.40	
1.01	3.63		48.60	15.10	4.00	1.90	
1.26	4.54		60.50	22.80	6.00	2.80	
1.58	5.68			38.70	9.10	4.30	1.30
1.89	6.81				12.70	6.00	1.80
2.21	7.95				16.90	8.00	2.40
2.52	9.08				21.60	10.20	3.00
2.84	10.22				28.00	12.50	3.80
3.16	11.36					15.40	4.60
3.79	13.63					21.60	6.40
4.42	15.90					28.70	8.50
5.05	18.17					36.80	10.90
5.68	20.44					45.70	13.60
6.31	22.71					56.60	16.50
7.57	27.25						23.10
8.83	31.79						30.60
10.10	36.34						39.30
Pérdidas por fricción en metros de carga por cada 100 m de tubería							

Fuente: (Centro de Ecotecnologías y Desarrollo Sustentable, 2007)

Interpolando en la tabla anterior resulta una pérdida de carga de: 22,8 metros por cada 100 metros de tubería.

Cálculo de la longitud equivalente de aspiración

$$L_{eq-a} = L_a + L_{e_1} + L_{e_2} + \dots + L_{e_n} \quad (4.5)$$

$$L_{eq-a} = 6.5 + 1.3794 + 5.5816 \text{ (mts)}$$

$$L_{eq-a} = 13.4610 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la pérdida de carga de aspiración

Como en este caso tenemos una $L_{e_a}=13.4610$ metros, resulta una pérdida de carga en la aspiración

$$Pc_a = L_{eq-a} \times \frac{N^\circ \text{ de metros}}{100} \quad (4.6)$$

$$Pc_a = 13.4610 \times \frac{22.8}{100} = 3.0691 \text{ metros.}$$

Cálculo de la altura manométrica total en aspiración

Por lo tanto, la altura manométrica total en la aspiración ($H_{\text{aspiración}}$) resulta de:

$$H_{\text{aspiración}} = H_a + Pc_a \quad (4.7)$$

$$H_{\text{aspiración}} = 1.5 + 3.0691 = 4.5691 \text{ m.}$$

Tubería de impulsión:

H_i (Altura de impulsión) = 11 metros

L_i (Longitud de Impulsión) = 15 metros

Válvula de retención = 1

Codos a 90° = 7

Cálculo de la Longitud equivalente del Codo

$$L_e = 0.4598 \text{ (mts)}$$

$$L_{e \times 7} = 0.4598 \times 7 = 3.2186 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la Longitud equivalente de la Válvula de Retención

$$A = 3.20$$

$$d=32 \text{ mm}$$

$$B = +0.03$$

$$C=150$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(3.20 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.03 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 2.6866 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la longitud equivalente de impulsión

$$L_{eq-i} = L_i + L_{e_1} + L_{e_2} + \dots + L_{e_n} \quad (4.8)$$

$$L_{eq-i} = 15 + 3.2186 + 2.6866 \text{ (mts)}$$

$$L_{eq-i} = 20.9052 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la pérdida de carga de impulsión

Como en este caso se tiene una $L_{eq_i}=20.9052$ metros, resulta una pérdida de carga en la impulsión. Interpolando en la tabla 4.2, resulta una pérdida de carga de: 22,8 metros/100 metros de tubería.

$$Pc_i = L_{eq_i} \times \frac{N^\circ \text{ de metros}}{100} \quad (4.9)$$

$$Pc_i = 20.9052 \times \frac{22.8}{100} = 4.7663 \text{ metros}$$

Cálculo de la altura manométrica total en impulsión

Por lo tanto, la altura manométrica total en impulsión ($H_{impulsión}$) resulta de:

$$H_{impulsión} = H_i + P_{c_i} \quad (4.10)$$

$$H_{impulsión} = 11 + 4.7663 = 15.7663 \text{ m.}$$

Cálculo de la altura manométrica total

Por lo tanto, la altura manométrica total (H) que debe proporcionar la bomba será:

$$H = H_{aspiración} + H_{impulsión} \quad (4.11)$$

$$H = 4.5691 + 15.7663 = 24.2905 \text{ m.}$$

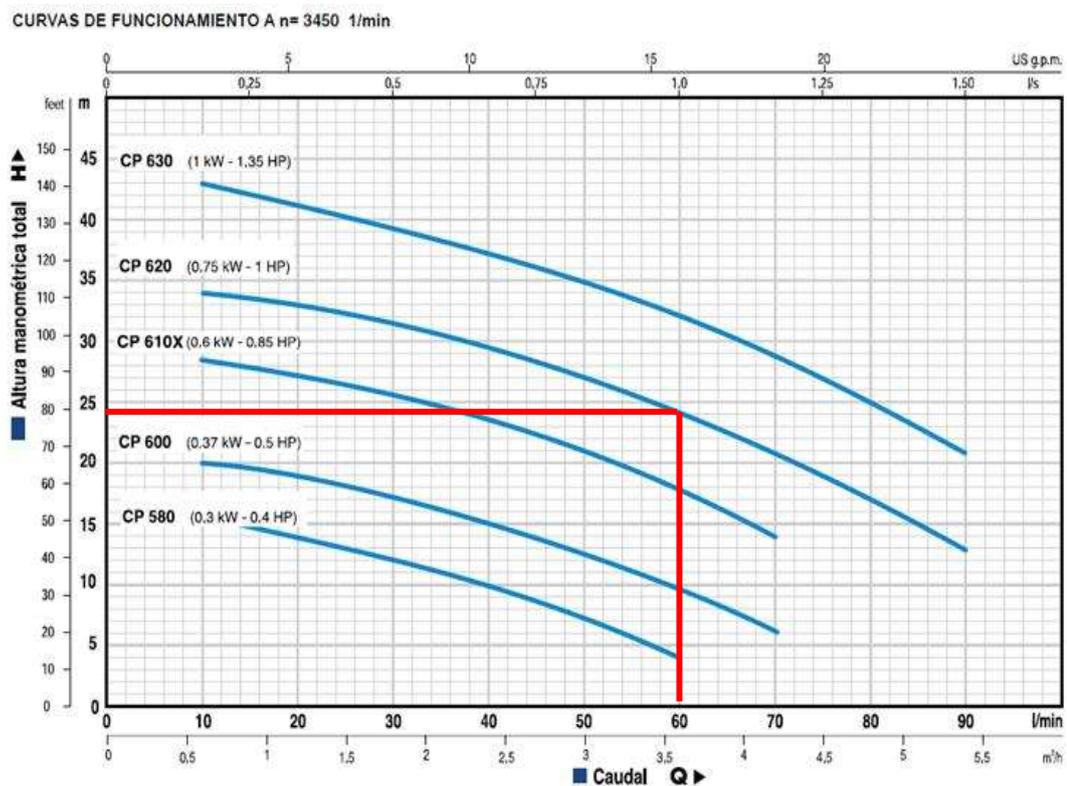


Figura 4.13. Bomba Pedrollo CPM 620 – Sitio de Estudio N° 1

Fuente: (Hojas Características – Pedrollo)

$$Q (\text{Caudal}) \approx 60 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

$$\text{Tiempo de llenado} = \frac{4400 \text{ litros}}{60 \frac{\text{litros}}{\text{min}}}$$

$$\text{Tiempo de llenado} = 73.33 \text{ min (aprox.)}$$

Debido a que el total de personas que viven en el domicilio del sitio de estudio N° 1 son 30, se ha estimado que cada una de ellas consume 90 litros al día, en total 2700 litros/día. Se puede estimar que los 4400 litros totales sirven para dar a la vivienda una autonomía de 1.6296 días.

4.2.2.3. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO N° 2

El Sitio de estudio N° 2, está ubicado en Ecuador, en la Provincia de Sucumbíos, en el Cantón Lago Agrio, Ciudad Nueva Loja, Barrio Central, calle Jorge Añascó y Manabí Esq. Es una vivienda de tres plantas, en el interior de esta residencia aproximadamente vive 1 familia y cuentan con un negocio de Alimentos preparados (Cevichería). La familia está conformada por dos personas y en el local comercial se alimentan a diario a varias personas.

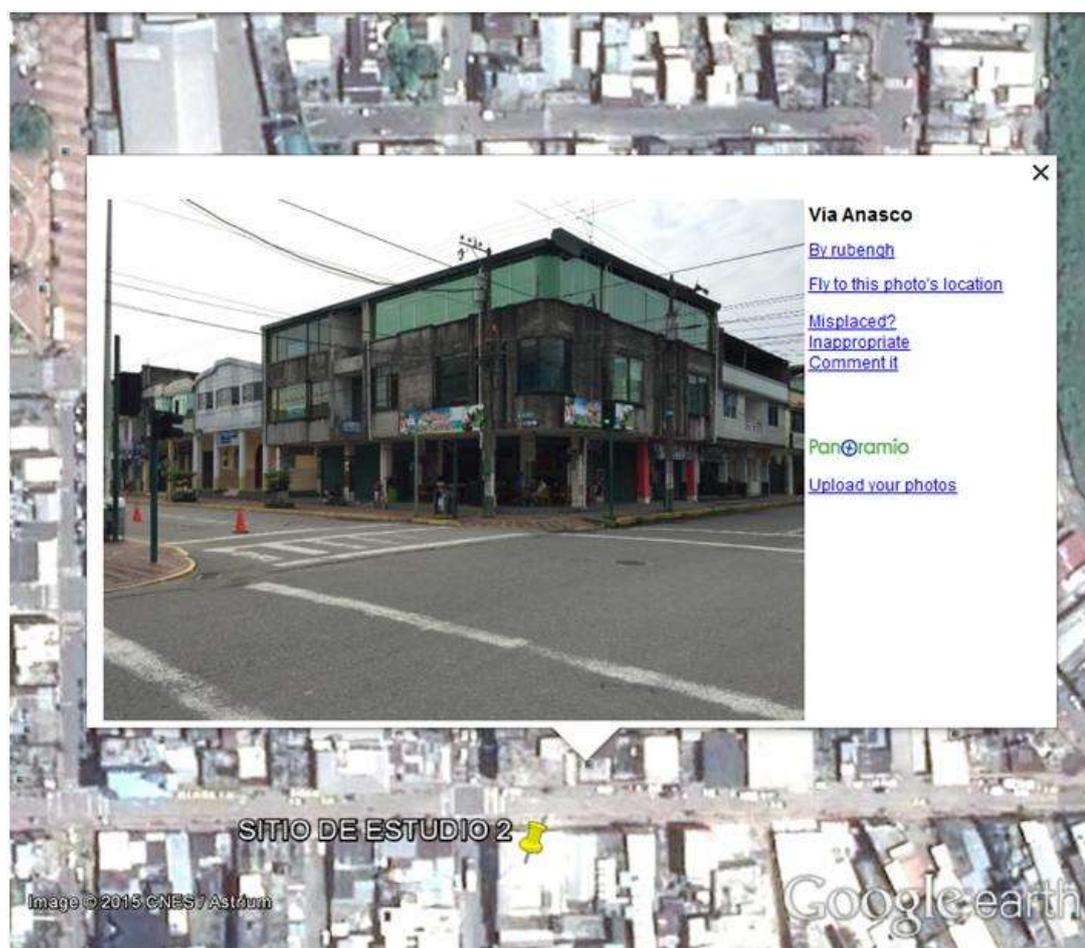


Figura 4.14. Área Urbana de Lago Agrio – Sitio de Estudio N° 2

Para esta vivienda, el sistema de almacenamiento secundario está conformado por un tanque de almacenamiento de 600 litros. El tanque de almacenamiento se ubica a una altura de 11 metros a nivel del suelo.



Figura 4.15. Área de Almacenamiento Secundario – Sitio de Estudio N° 2

Los datos de Placa de la bomba eléctrica para agua demuestran que la conexión es monofásica. Y según el usuario informa que la bomba se enciende tres veces al día.

PEDROLLO		www.pedrollo.com	
... the spring of life		MADE IN ITALY	
PUMP	Cpm 620	Rel.	D
Q	10÷100 l/min	H	34÷19 m
H máx	35 m	H min	19 m
V ~	110	Hz	60
min ⁻¹	3450	Wmax	1200
kW	0.75	HP	1
l/n	12	A	12
C _p F	60	-VL	250
		I.C.L.F	IP X4
CE	Thermally protected	San Bonifacio (Verona) ITALY	
4018-A	Continuous duty	Tel. 045 6136311 · Fax 045 7614663	

Figura 4.16. Sistema de Bombeo – Datos de Placa – Sitio de Estudio N° 2

MODELO		POTENCIA		Q	H																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6	
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
CPm 610	CP 610	0.60	0.85	H metros	22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 620	CP 620	0.75	1		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19	16	12										
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
CPm 660	CP 660	1.5	2		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
CPm 670	CP 670	2.2	3		48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28					
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33				
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18		
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23		
					51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Figura 4.17. Sistema de Bombeo – Hojas Características – Sitio de Estudio N° 2

Con estos datos y de manera teórica, se pueden realizar ciertas estimaciones que podrían ser útiles para tener parámetros de referencia de los consumos.

4.2.2.4. CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 2

Tubería de aspiración:

$H_a(\text{Altura de aspiración}) = 2 \text{ metros}$

$L_a(\text{Longitud de Aspiracion}) = 6.5 \text{ metros}$

$Válvula a pie de tubería = 1$

$Codos a 90^\circ = 6$

Cálculo de la Longitud equivalente del Codo

$A = 0.52$

$B = +0.04$

$d = 32 \text{ mm}$ (Codo 90° 1" plastigama)

$C = 150$ (Plástico)

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(0.52 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.04 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 0.4598 \text{ (mts)}$$

$$L_{e \times 6} = 0.4598 \times 6 = 2.7588 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la Longitud equivalente de la Válvula de Pie

$$A = 6.38$$

$$B = +0.4$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$C = 150 \text{ (Plástico)}$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(6.38 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.4 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 5.5816 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la Longitud equivalente de la Válvula de Retención

$$A = 3.28$$

$$B = +0.03$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$C = 120 \text{ (Acero)}$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(3.20 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.03 \right) \times \left(\frac{120}{120} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 4.0614 \text{ (mts)}$$

Cálculo del Caudal medio

Debido a que el total de personas que viven en el domicilio del sitio de estudio N° 2, son 2 personas y se ha estimado que cada una de ellas consume 90 litros al día. Además, se puede estimar que para el negocio la dotación de agua es de 40 a 60 [litros/m² área_útil/día] para restaurants (Normativa Electrica de la Construcción NEC, 2011), es decir, que para un área útil de 25 [m²], se utilizan 1420 lit/día y en total al día se requieren 1600 lit/día.

$$\text{Caudal medio (Qm)} = f \times \frac{D \times P}{86400}$$

$$Qm = 1.2 \times \frac{[90 \text{ (l/hab/día)} \times 2 \text{ (hab)}] + 1600 \text{ (l/día)}}{86400 \text{ (seg/día)}}$$

$$Qm = 1.2 \times \frac{1780 \text{ (l/día)}}{86400 \text{ (seg/día)}}$$

$$Qm = 0.0247 \text{ (l/seg)}$$

Cálculo de la Caudal Máximo Diario

$$Q_{MD} = 1.25 \times Q_m$$

$$Q_{MD} = 1.25 \times 0.0247 \text{ (l/seg)}$$

$$Q_{MD} = 0.0308 \text{ (l/seg)}$$

Cálculo del Caudal de Diseño

$$Q_B = 1.05 \times Q_{MD} \times \frac{24 \text{ horas}}{N^\circ \text{ de horas de bombeo al día}}$$

$$Q_B = 1.05 \times 0.0308 \text{ (l/seg)} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ hora al día}}$$

$$Q_B = 0.7761 \text{ (l/seg)}$$

Cálculo de la Pérdida por fricción

Caudal de Diseño $Q_B = 0.7761 \text{ (l/seg)}$,

Diámetro $D = 33.7 \text{ mm}$ (Tubería 1" plastigama)

Tabla 4.3. Pérdidas por fricción en tubería de PVC

l/s	m ³ /s	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
		ID	ID	ID	ID	ID	ID
		0.622"	0.824"	1.049"	1.380"	1.610"	2.067"
0.13	0.45	4.10					
0.19	0.68	8.70	2.20				
0.25	0.91	14.80	3.70				
0.32	1.14	22.20	5.70	1.80			
0.38	1.36	31.20	8.0	2.50			
0.44	1.59	41.50	10.6	3.30			
0.50	1.82	53.0	13.5	4.20			
0.57	2.04	66.0	16.8	5.20			
0.63	2.27	80.50	20.40	6.30	1.70		
0.76	2.73		28.60	8.90	2.30	1.10	
0.88	3.18		38.00	11.80	3.10	1.40	
1.01	3.63		48.60	15.10	4.00	1.90	
1.26	4.54		60.50	22.80	6.00	2.80	
1.58	5.68			38.70	9.10	4.30	1.30
1.89	6.81				12.70	6.00	1.80
2.21	7.95				16.90	8.00	2.40
2.52	9.08				21.60	10.20	3.00
2.84	10.22				28.00	12.50	3.80
3.16	11.36					15.40	4.60

Pérdidas por fricción en metros de carga por cada 100 m de tubería

Fuente: (Centro de Ecotecnologías y Desarrollo Sustentable, 2007)

Interpolando en la tabla anterior resulta una pérdida de carga de: 8.90 metros por cada 100 metros de tubería.

Cálculo de la longitud equivalente de aspiración

$$L_{eq-a} = 6.5 + 2.7588 + 5.5816 + 4.0614 \text{ (mts)}$$

$$L_{eq-a} = 18.9018 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la pérdida de carga de aspiración

Como en este caso tenemos una $L_{eq,a}=18.9018$ metros, resulta una pérdida de carga en la aspiración

$$Pc_a = 18.9018 \times \frac{8.90}{100} = 1.6822 \text{ metros}$$

Cálculo de la altura manométrica total en aspiración

Por lo tanto, la altura manométrica total en la aspiración ($H_{aspiración}$) resulta de:

$$H_{aspiración} = H_a + Pc_a = 2 + 1.6822 = 3.6822 \text{ m.}$$

Tubería de impulsión:

$$H_i(\text{Altura de impulsión}) = 11 \text{ metros}$$

$$L_i(\text{Longitud de Impulsión}) = 13 \text{ metros}$$

$$\text{Válvula de retención} = 1$$

$$\text{Codos a } 90^\circ = 3$$

Cálculo de la longitud equivalente del Codo

$$L_e = 0.4598 \text{ (mts)}$$

$$L_{e \times 3} = 0.4598 \times 3 = 1.3794 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la longitud equivalente de la Válvula de Retención

$$A = 3.20$$

$$B = +0.03$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$C = 150$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(3.20 \times \left(\frac{32}{25.4} \right) + 0.03 \right) \times \left(\frac{120}{120} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 4.0614 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la longitud equivalente de impulsión

$$L_{eq-i} = 13 + 1.3794 + 4.0614 \text{ (mts)}$$

$$L_{eq-i} = 18.4408 \text{ (mts)}$$

Cálculo de la pérdida de carga de impulsión

Como en este caso tenemos una $L_{eq_i}=18.4408$ metros, resulta una pérdida de carga en la aspiración. Interpolando en la tabla 2, resulta una pérdida de carga de: 8.90 metros/100 metros de tubería.

$$Pc_i = 18.4408 \times \frac{8.90}{100} = 1,6412 \text{ metros}$$

Cálculo de la altura manométrica total en impulsión

Por lo tanto, la altura manométrica total en impulsión ($H_{impulsión}$) resulta de:

$$H_{impulsión} = H_i + Pc_i = 11 + 1,6412 = 12,6412 \text{ m.}$$

Cálculo de la altura manométrica total

Por lo tanto, la altura manométrica total (H) que debe proporcionar la bomba será:

$$H = H_{aspiración} + H_{impulsión} = 3.6822 + 12,6412 = 16.3234 \text{ m.}$$

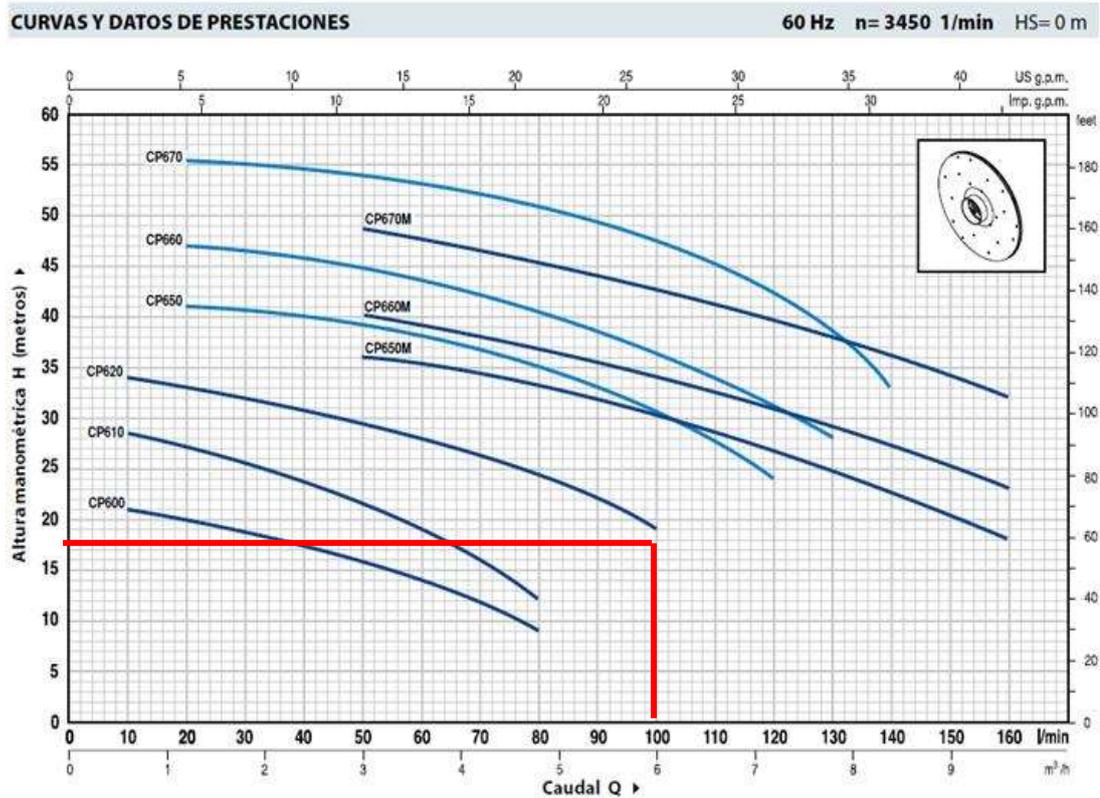


Figura 4.18. Bomba Pedrollo CPM 620 – Sitio de Estudio N° 2

Fuente: (Hojas Características – Pedrollo)

$$Q (\text{Caudal}) \approx 100 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

$$\text{Tiempo de llenado} = \frac{600 \text{ litros}}{100 \frac{\text{litros}}{\text{min}}}$$

$$\text{Tiempo de llenado} = 6.0 \text{ min (aprox.)}$$

Debido a que el total de personas que viven en el domicilio del sitio de estudio N° 2, son 2, se ha estimado que cada una de ellas consume 90 litros al día, en total 180 litros/día. Además, se ha estimado que para el negocio la dotación de agua es de 1420 litros/día y en total al día se requieren 1600 litros/día y no se cuenta con un tiempo de autonomía adicional.

4.2.3. INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO EN SISTEMA DE BOMBEO TRADICIONAL

El sistema de bombeo de agua doméstico de Lago Agrio por lo general utiliza la red eléctrica monofásica existente de 110 V AC, estas instalaciones eléctricas son muy simples y no cuentan con demasiados dispositivos de seguridad eléctrica. Las Bombas instaladas se encuentran a nivel del suelo y elevan el agua desde reservorios diseñados a nivel del suelo, hasta la tercera planta de cada vivienda (Sitios de Estudio 1 y 2).

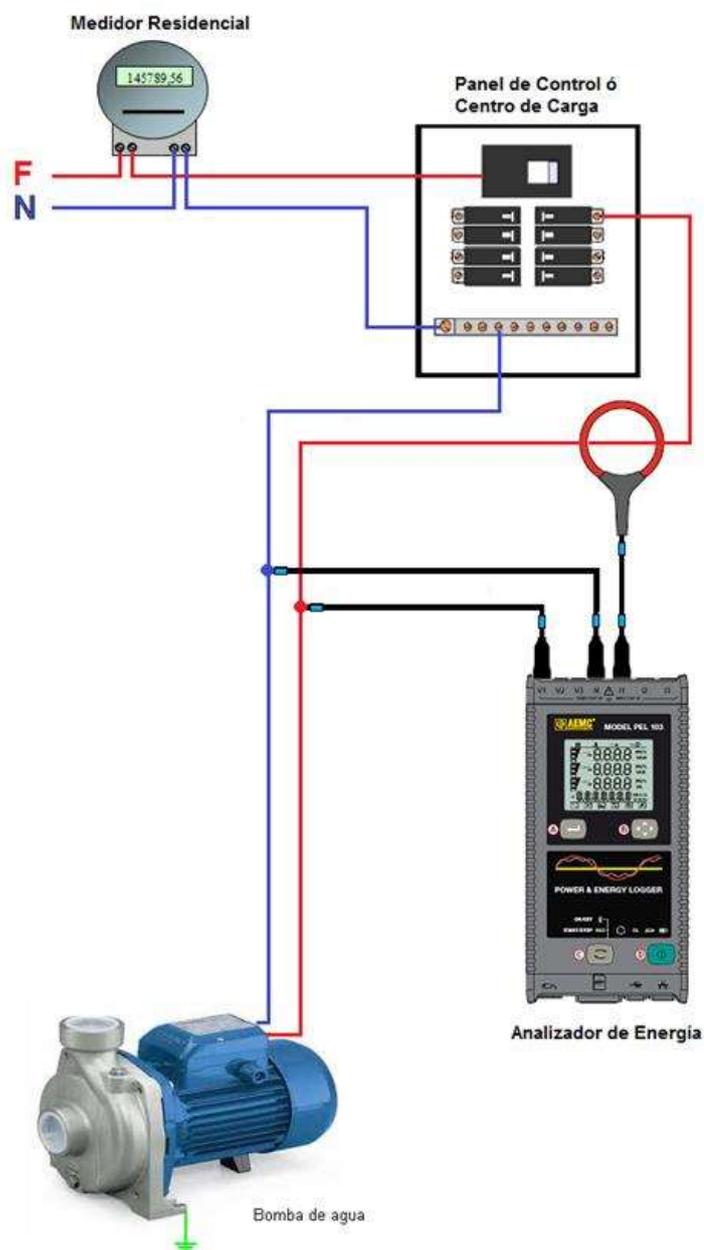


Figura 4.19. Instalación de Analizador de Energía Para Sitios de Estudio 1 y 2

La instalación del analizador de Potencia y Energía se lo realiza en la línea eléctrica que alimenta a la bomba para agua (Fig. 4.14) y esta calibrado para una red eléctrica monofásica, de acuerdo a las características de las Bombas de Agua mostrados en los datos de placa.

Para los sitios de estudios 1 y 2, el analizador de energía se lo instaló junto a la Bomba para Agua tal como se muestran las Fig. 4.17 y Fig. 4.18 correspondientemente. El tiempo de recolección de datos fue de aproximadamente un mes por cada sitio de estudio.



Figura 4.20. Punto de Bombeo Para Sitio de Estudio 1



Figura 4.21. Punto de Bombeo Para Sitio de Estudio 2



Figura 4.22. Punto de Análisis Para Sitio de Estudio 1

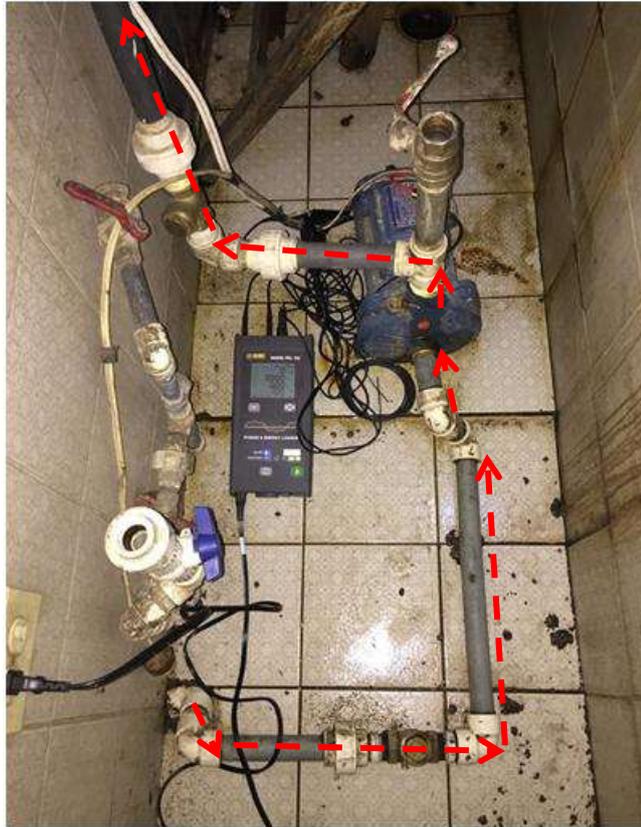


Figura 4.23. Punto de Análisis Para Sitio de Estudio 2

4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.

Para un adecuado dimensionamiento del sistema de Bombeo, es necesario que se consideren las diversas alturas y distancias entre el lugar de extracción del agua (Almacenamiento Primario) hasta el reservorio o cisterna (Almacenamiento Secundario). El gráfico de la Fig. 4.19, detalla de forma esquemática el trayecto que recorrerá el agua, además, se especifican los nombres de las alturas y las distancias que interfieren en el diseño.

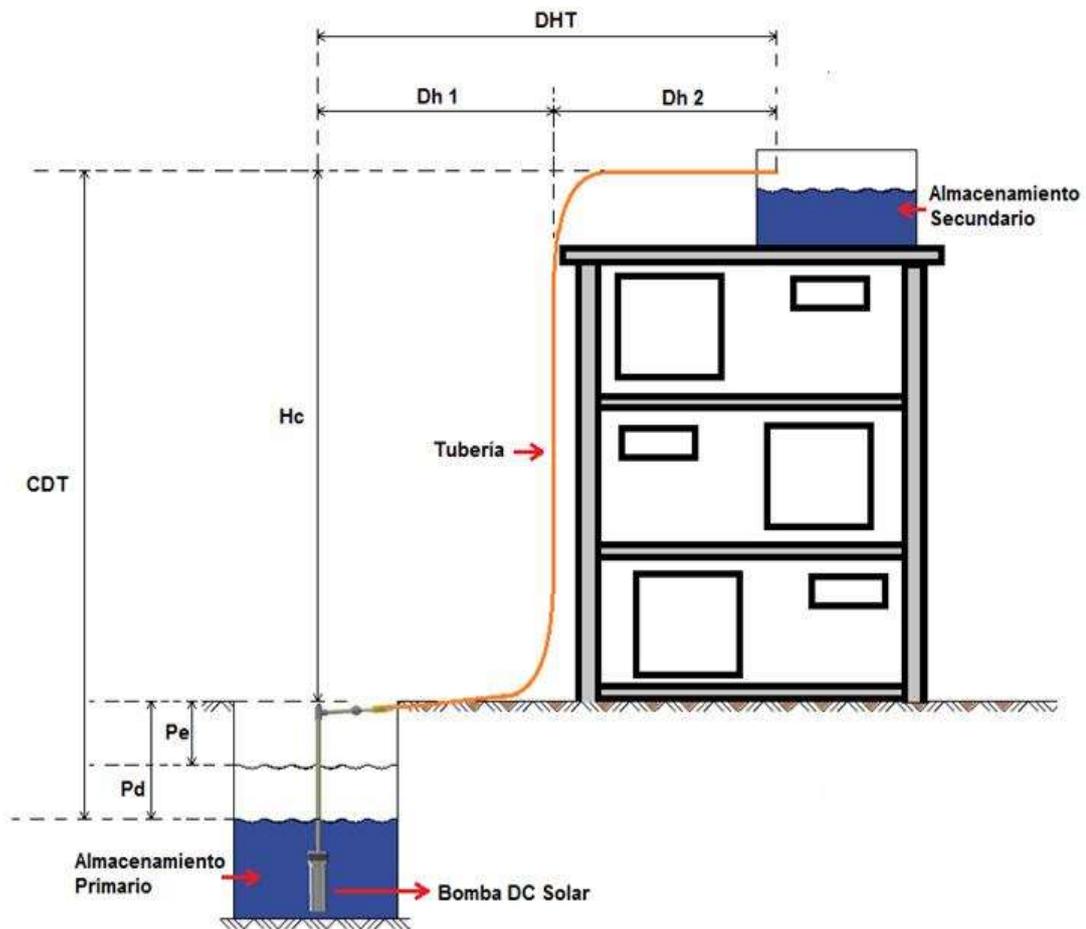


Figura 4.24. Sistema de Bombeo de DC Solar

Distancia Horizontal Total (DHT) (Repositorio Digital PUCE, 2010): Es la distancia medida de forma horizontal desde el lugar de bombeo (Almacenamiento Primario) hasta el sitio donde se encuentra el tanque reservorio (Almacenamiento Secundario). Esta distancia permitirá obtener el valor de las pérdidas por fricción en la tubería. Se puede obtener este valor sumando las distancias horizontales 1 y 2 para facilitar las mediciones.

$$DTH = Dh1 + Dh2 \quad (4.12)$$

Altura de la Columna (Hc) (Repositorio Digital PUCE, 2010): Es la altura vertical que debe recorrer el agua desde el inicio de almacenamiento primario hasta la descarga en el tanque elevado (Almacenamiento Secundario).

Profundidad estática (Pe) (Repositorio Digital PUCE, 2010): Es la profundidad medida desde el borde del sistema de almacenamiento primario hasta donde se encuentra el nivel de agua en condiciones normales sin bombeo (Nivel de agua estática).

Profundidad Dinámica (Pd) (Repositorio Digital PUCE, 2010): Es la profundidad medida desde el borde del sistema de almacenamiento primario hasta donde se encuentra el nivel de agua que se puede bombear (Nivel de agua dinámico).

Perdidas por Fricción (hf) (Repositorio Digital PUCE, 2010): pérdidas de carga en las tuberías y conductos debido a la fricción del líquido y la tubería. Las pérdidas en la tubería podrán ser calculadas de acuerdo a la fórmula de Darcy –Weisbach

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (4.13)$$

Dónde:

- ✓ D= diámetro interno de la tubería (m)
- ✓ f= factor de fricción del material (adimensional). El factor de fricción del PVC es de 0,02
- ✓ L = longitud de la tubería (m)
- ✓ V = velocidad del flujo (m/s)
- ✓ g = Gravedad (9.8 m/s²)

Carga Dinámica Total (CDT): Es igual a la suma de la altura de columna, más la profundidad dinámica y más la perdidas por fricción (Repositorio Digital PUCE, 2010).

$$CDT = Hc + Pd + hf \quad (4.14)$$

4.3.1. CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 1

Datos del Fluido:

Caudal Máx. Diario : $Q_{MD} = 0.046875 \text{ (l/seg)} = 4.6875 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]$

Temperatura (AME, 2014) : $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ promedio

Densidad (Aldabe & Aramendia, 2013) : $\rho = 997 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

Viscosidad (Giles, 2003) : $\eta = 0.897 \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \cdot \text{s)}$

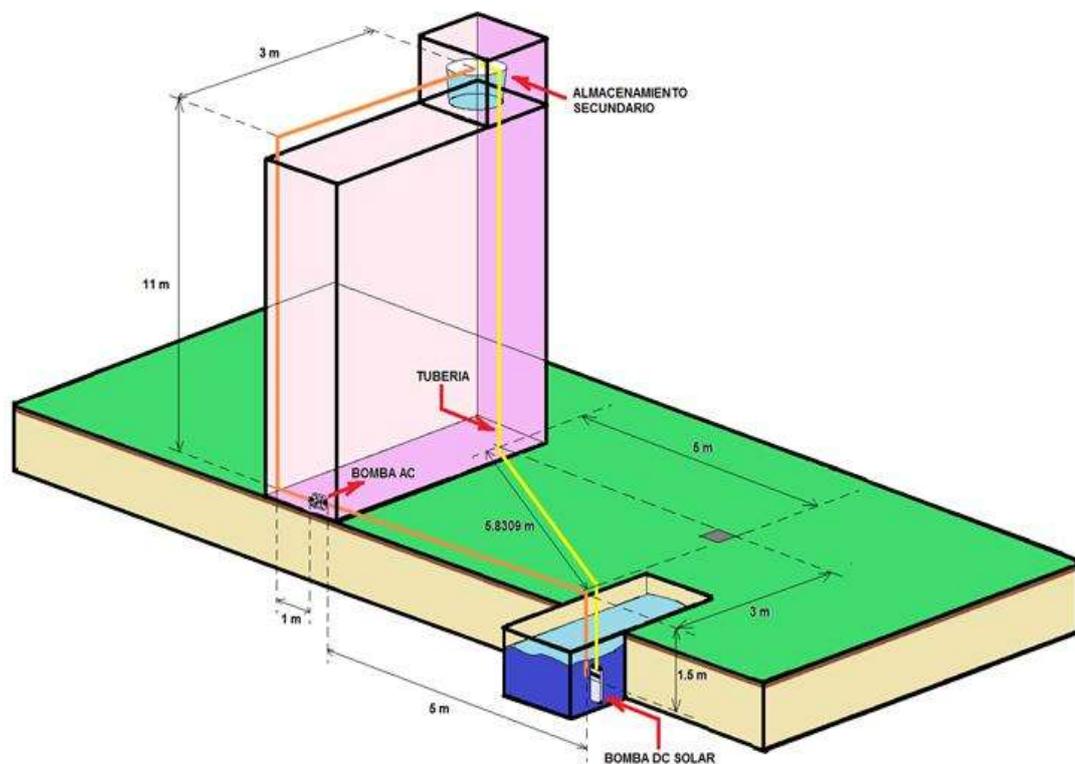


Figura 4.25. Esquema del Sitio de Bombeo N° 1

Datos de la Tubería de 1/2" PVC:

Diámetro Interno (INEN, 2009) : $\varphi_i = 13.88 [\text{mm}] = 13.88 \times 10^{-3} [\text{m}]$

Longitud : $L = 11 + 5.8309 + 1.5 = 18.3309 [\text{m}]$

Rugosidad (Soriano & Pancorbo, 2012) : $\epsilon = 0.007 (\text{mm}) = 0.7 \times 10^{-5} [\text{m}]$

Cálculo del Caudal de Diseño (INEN, 1997)

Horas Solar Pico en Ecuador (**HSP**) (Berru & Uteras, 2009) = 4.68 [h]

$$Q_B = 1.05 \times Q_{MD} \times \frac{24 \text{ horas}}{N^\circ \text{ de horas de bombeo al día}} \quad (4.15)$$

$$Q_B = 1.05 \times 4.6875 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}] \times \frac{24 \text{ horas}}{4.68 \text{ horas al día}}$$

$$Q_B = 25.24 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]$$

Cálculo de la Velocidad Media del flujo (Giles, 2003)

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4.16)$$

Dónde:

- ✓ Q = Caudal
- ✓ A = Área de la sección transversal

$$v = \frac{25.24 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]}{\pi \times \left(\frac{13.88 \times 10^{-3}}{2} \right)^2 [\text{m}^2]}$$

$$v = \frac{25.24 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]}{15.131 \times 10^{-5} [\text{m}^2]}$$

$$v = 1.6681 [\text{m/s}]$$

Cálculo del Número de Reynolds (Giles, 2003)

$$Re = \frac{v \times \varphi_i \times \rho}{\mu} = \frac{v \times \varphi_i}{\eta} \quad (4.17)$$

Dónde:

- ✓ v = velocidad media
- ✓ φ_i = diámetro de la tubería
- ✓ ρ = densidad del fluido
- ✓ η = viscosidad cinemática
- ✓ μ = viscosidad absoluta

$$Re = \frac{1.6681 [m/s] \times 0.01388[m]}{0.897 \times 10^{-6} (m^2 \cdot s)}$$

$$Re = 25811.84$$

Con lo cual se tiene un flujo turbulento, dado que el valor de Re es mayor a 3000. Para calcular el factor de fricción f, se requiere conocer el Número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto.

Cálculo de la Rugosidad Relativa y Factor de fricción (Giles, 2003)

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{\epsilon}{\phi_i} \quad (4.17)$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.7 \times 10^{-5}[m]}{0.01388 [m]}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.000504 \approx 0.0006$$

Al ingresar al Diagrama de Moody (Ver Anexo A) con los valores de Re y rugosidad relativa ya calculados se observa un factor de fricción igual a:

$$f=0.025$$

Cálculo de la Longitud equivalente del Codo

$$A = 0.52$$

$$B = +0.04$$

$$d = 20 \text{ mm (Codo } 90^\circ \text{ } \frac{1}{2}'' \text{ plastigama)}$$

$$C = 150 \text{ (Plástico)}$$

$$\text{Cantidad de Codos} = 4$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(0.52 \times \left(\frac{20}{25.4} \right) + 0.04 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 0.2973 [mts]$$

$$L_{e \times 4} = 0.2973 \times 4 = 1.1892 [mts]$$

Cálculo de la Longitud equivalente Total

$$L_T = L + L_{e \times 4}$$

$$L_T = 18.3309 [m] + 1.1892 [mts] = 19.5201 [m]$$

Cálculos de las Pérdidas por Fricción (hf):

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$hf = 0.025 \times \frac{19.5201 [m]}{13.88 \times 10^{-3} [m]} \times \frac{(1.6681 [m/s])^2}{2 \times 9.8 [m/s^2]}$$

$$hf = 4.991 [m]$$

Cálculo de la Carga Dinámica Total (CDT)

$$CDT = Hc + Pd + hf$$

$$CDT = 11[m] + 1.5[m] + 4.991 [m]$$

$$CDT = 17.4911[m]$$

Cálculo de la Potencia Requerida por la Bomba (Giles, 2003)

$$P = \gamma \times H \times Q = \rho \times g \times H \times Q \quad (4.18)$$

Dónde:

- ✓ γ = peso específico del fluido
- ✓ H = Altura dinámica (carga de trabajo de la bomba)
- ✓ Q = Caudal
- ✓ ρ = densidad del fluido
- ✓ g = gravedad

$$P = 997 [kg/m^3] \times 9.8 [m/s^2] \times 17.4911[m] \times 30.1538 \times 10^{-5} [m^3/seg]$$

$$P = 51.5324 [watts]$$

4.3.2. CÁLCULOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 2

Datos del Fluido:

Caudal Máx. Diario : $Q_{MD} = 0.0308 [l/seg] = 3.08 \times 10^{-5} [m^3/seg]$

Temperatura (AME, 2014) : $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ promedio

Densidad (Aldabe & Aramendia, 2013) : $\rho = 997 [kg/m^3]$

Viscosidad (Giles, 2003)

$$: \eta = 0.897 \times 10^{-6} [m^2 \cdot s]$$

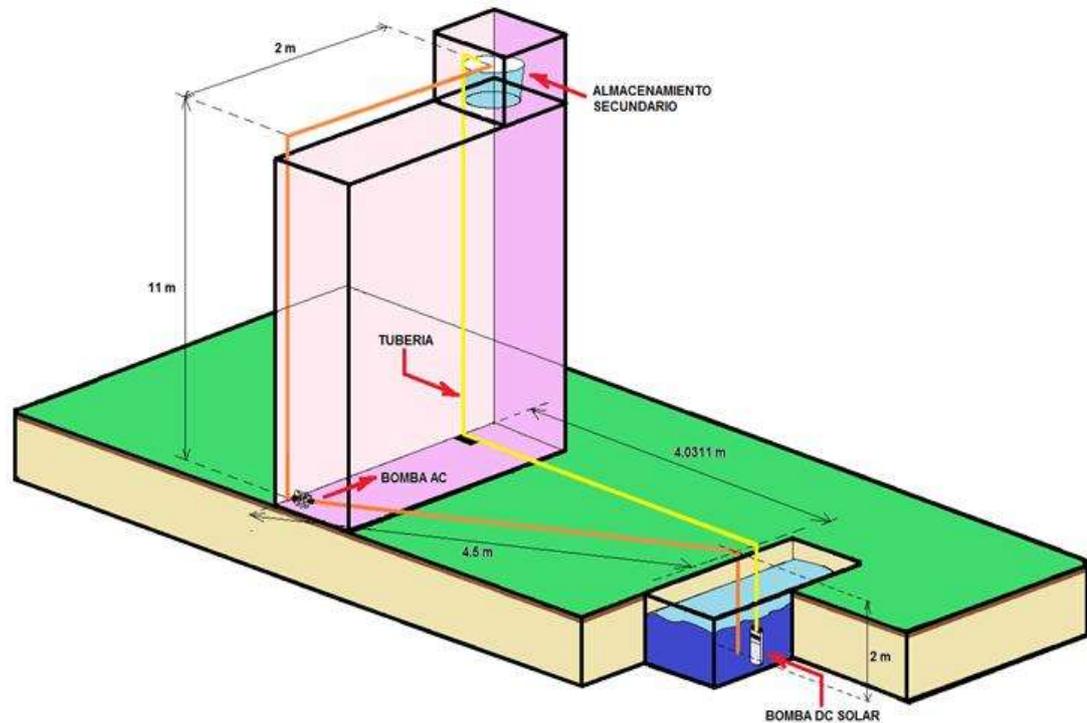


Figura 4.26. Esquema del Sitio de Bombeo N° 2

Datos de la Tubería de 1/2" PVC:

Diámetro Interno (INEN, 2009) : $\varphi_i = 13.88 [\text{mm}] = 13.88 \times 10^{-3} [m]$

Longitud : $L = 11 + 4.0311 = 15.0311 [m]$

Rugosidad (Soriano & Pancorbo, 2012) : $\epsilon = 0.007 (mm) = 0.7 \times 10^{-5} [m]$

Cálculo del Caudal de Diseño (INEN, 1997)

Horas Solar Pico en Ecuador (HSP) = 4.68 [h]

$$Q_B = 1.05 \times Q_{MD} \times \frac{24 \text{ horas}}{N^\circ \text{ de horas de bombeo al día}}$$

$$Q_B = 1.05 \times 3.08 \times 10^{-5} [m^3/\text{seg}] \times \frac{24 \text{ horas}}{4.68 \text{ horas al día}}$$

$$Q_B = 16.5846 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]$$

Cálculo de la Velocidad Media del flujo (Giles, 2003)

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- ✓ Q = Caudal
- ✓ A = Área de la sección transversal

$$v = \frac{16.5846 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]}{\pi \times \left(\frac{13.88 \times 10^{-3}}{2} \right)^2 [\text{m}^2]}$$

$$v = \frac{16.5846 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{seg}]}{15.131 \times 10^{-5} [\text{m}^2]}$$

$$v = 1.0960 [\text{m/s}]$$

Cálculo del Número de Reynolds (Giles, 2003)

$$Re = \frac{v \times \varphi_i \times \rho}{\mu} = \frac{v \times \varphi_i}{\eta}$$

Dónde:

- ✓ v = velocidad media
- ✓ φ_i = diámetro de la tubería
- ✓ ρ = densidad del fluido
- ✓ η = viscosidad cinemática
- ✓ μ = viscosidad absoluta

$$Re = \frac{1.0960 [\text{m/s}] \times 0.01388 [\text{m}]}{0.897 \times 10^{-6} (\text{m}^2 \cdot \text{s})}$$

$$Re = 16959.2865$$

Con lo cual se tiene un flujo turbulento. Para calcular el factor de fricción f , se requiere conocer el Número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto

Cálculo de la Rugosidad Relativa y Factor de fricción (Giles, 2003)

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{\epsilon}{\phi_i}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.7 \times 10^{-5} [m]}{0.01388 [m]}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.000504 \approx 0.0006$$

Al ingresar al Diagrama de Moody (Ver Anexo A) con los valores de Re y rugosidad relativa ya calculados se observa un factor de fricción igual a:

$$f=0.029$$

Cálculo de la Longitud equivalente del Codo

$$A = 0.52$$

$$B = +0.04$$

$$d = 20 \text{ mm (Codo } 90^\circ \text{ } \frac{1}{2}'' \text{ plastigama)}$$

$$C = 150 \text{ (Plástico)}$$

$$\text{Cantidad de Codos} = 4$$

$$L_e = \left(A \times \left(\frac{d}{25.4} \right) \pm B \right) \times \left(\frac{120}{C} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = \left(0.52 \times \left(\frac{20}{25.4} \right) + 0.04 \right) \times \left(\frac{120}{150} \right)^{1.8519}$$

$$L_e = 0.2973 \text{ [mts]}$$

$$L_{e \times 4} = 0.2973 \times 4 = 1.1892 \text{ [mts]}$$

Cálculo de la Longitud equivalente Total

$$L_T = L + L_{e \times 4}$$

$$L_T = 15.0311 [m] + 1.1892 [mts] = 16.2203 [m]$$

Cálculos de las Pérdidas por Fricción (hf):

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$hf = 0.029 \times \frac{16.2203 [m]}{13.88 \times 10^{-3} [m]} \times \frac{(1.0960 [m/s])^2}{2 \times 9.8 [m/s^2]}$$

$$hf = 2.0767 [m]$$

Cálculo de la Carga Dinámica Total (CDT)

$$CDT = H_c + P_d + hf$$

$$CDT = 11[m] + 2[m] + 2.0767 [m]$$

$$CDT = 15.0767 [m]$$

Cálculo de la Potencia Requerida por la Bomba (Giles, 2003)

$$P = \gamma \times H \times Q = \rho \times g \times CDT \times Q$$

$$P = 997 [kg/m^3] \times 9.8 [m/s^2] \times 15.0767 [m] \times 16.5846 \times 10^{-5} [m^3/seg]$$

$$P = 24.4305 [W]$$

4.3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN HIDRÁULICA

Se requiere de una bomba de bajo caudal para los sitios de estudio 1 y 2, además, de bajo consumo y de precio razonable.

$$Q_{MD_1} = 0.0468 [l/seg] = 3.36 [l/min]$$

$$P_1 = 51.5324 [W]$$

$$Q_{MD_2} = 0.0308 \text{ [l/seg]} = 1.848 \text{ [l/min]} \quad P_2 = 24.4305 \text{ [W]}$$

Se buscaron alternativas en el mercado internacional, especialmente en Estados Unidos. Dentro de las posibilidades más apegadas a los requerimientos se encontró la siguiente bomba: Sun Pumps SDS-T-128 (Fig. 4.22), cuyas características se presentan a continuación:



Figura 4.27. Esquema del Sitio de Bombeo N° 1

Marca :	Sun Pumps
Modelo:	SDS-T-128 (Solar Submersible Pump)
Peso:	13.00 lbs
Rango de profundidad:	230 pies (70 metros)
Rango de Flujo:	0,6-2 GPM (2.3 a 7.6 LPM)
Corriente máximo:	4,2 Amperios
Potencia máxima:	126 Watts
Rango de Tensión DC:	12-30

Para efectos de cálculos se determinó una tensión de operación de 25 VDC

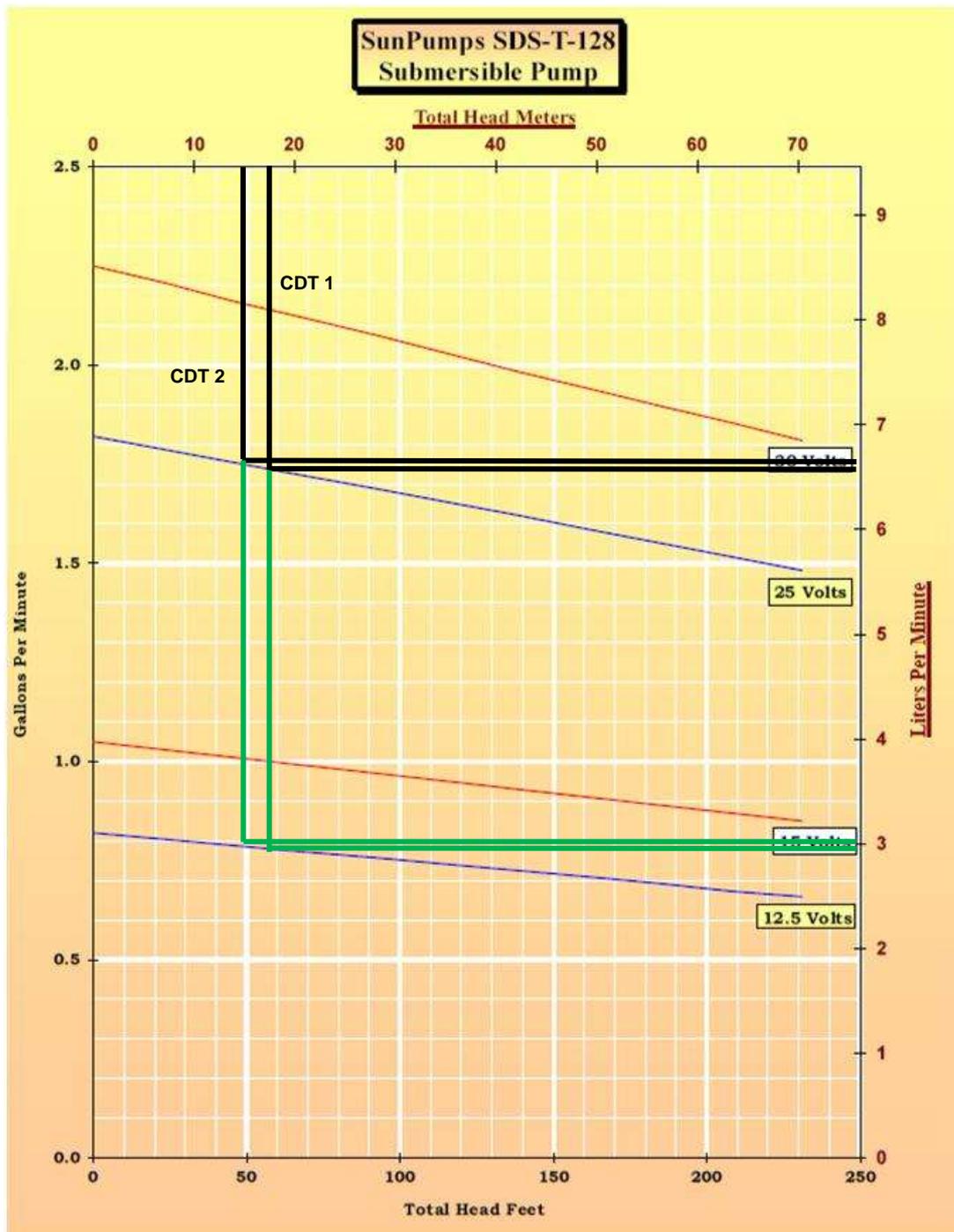


Figura 4.28. Curvas Características de Bomba SunPumps SDS-T-128
 Fuente: (Hojas Características – SunPumps)

Para 25 VDC

$$CDT\ 1 = 17.4911[m] \quad Q_1 = 6.6 [l/min] \quad Q_{Req1} = 2700 [l]$$

$$CDT\ 2 = 15.0767[m] \quad Q_1 = 6.7 [l/min] \quad Q_{Req2} = 1600 [l]$$

$$CDT\ 1 = 17.4911[m] \quad Q_1 = 6.6 [l/min] \quad Q_{Req1} = 2700 [l]$$

$$Q_1 = 6.6 \left[\frac{l}{min} \right] \times \frac{60[min]}{1[h]} = 396 \left[\frac{l}{h} \right]$$

$$\text{Tiempo de llenado 1} = \frac{2700[l]}{396 \left[\frac{l}{h} \right]}$$

$$\text{Tiempo de llenado 1} = 6.818 [h](aprox.)$$

$$CDT\ 1 = 15.0767[m] \quad Q_1 = 6.7 [l/min] \quad Q_{Req1} = 1600 [l]$$

$$Q_1 = 6.7 \left[\frac{l}{min} \right] \times \frac{60[min]}{1[h]} = 402 \left[\frac{l}{h} \right]$$

$$\text{Tiempo de llenado 2} = \frac{1600[l]}{402 \left[\frac{l}{h} \right]}$$

$$\text{Tiempo de llenado 2} = 3.98 [h](aprox.)$$

Para 12.5 VDC

$$CDT\ 1 = 17.4911[m] \quad Q_1 = 2.95 [l/min] \quad Q_{Req1} = 2700 [l]$$

$$CDT\ 2 = 15.0767[m] \quad Q_1 = 3.02 [l/min] \quad Q_{Req2} = 1600 [l]$$

$$CDT\ 1 = 17.4911[m] \quad Q_1 = 2.95 [l/min] \quad Q_{Req1} = 2700 [l]$$

$$Q_1 = 2.95 \left[\frac{l}{min} \right] \times \frac{60[min]}{1[h]} = 177 \left[\frac{l}{h} \right]$$

$$\text{Tiempo de llenado 1} = \frac{2700[l]}{177 \left[\frac{l}{h} \right]}$$

$$\text{Tiempo de llenado 1} = 15.254 [h](aprox.)$$

$$CDT 1 = 15.0767[m] \quad Q_1 3.02 [l/min] \quad Q_{Req1} = 1600 [l]$$

$$Q_1 = 3.02 \left[\frac{l}{min} \right] \times \frac{60[min]}{1[h]} = 181.2 \left[\frac{l}{h} \right]$$

$$\text{Tiempo de llenado 2} = \frac{1600[l]}{181.2 \left[\frac{l}{h} \right]}$$

$$\text{Tiempo de llenado 2} = 8.83 [h] (\text{aprox.})$$

4.3.4. DISEÑO FOTOVOLTAICO

Tomando en cuenta el atlas solar publicado en el CONELEC, se pudo elaborar la siguiente tabla resumen (Tabla 4.4)

Tabla 4.4. Insolación Promedio Anual para Lago Agrio

Insolación	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	Valor
Global [Wh/m ² /día]	4350	4650	4650	4350	4050	3900	4050	4500	4950	4950	4800	4800	4500
Directa [Wh/m ² /día]	2400	1800	1800	1800	1500	1800	1800	2100	2700	3000	2700	3300	2100
Difusa [Wh/m ² /día]	3100	3400	3200	3100	2800	2700	2700	2900	2800	2800	2900	2700	2900

Para los cálculos posteriores, se ha seleccionado el mes del año más desfavorable, en este caso mayo.

Horas de Sol promedio máximas (HSP_M) (Benavides & Rosario, 2010): Es el número de horas de Sol promedio máximas por día (a 1000W/m²) en el lugar de la instalación del sistema fotovoltaico, y se calcula mediante la división de la radiación solar promedio en Wh/m² por día del lugar de implementación para la máxima radiación solar de 1000 W/m² según las STC (Condiciones Estándar de Prueba) que define el fabricante del módulo fotovoltaico.

$$HSP_M = \frac{\text{Radiacion solar promedio en KWh/m}^2/\text{día}}{1000 W/m^2} \quad (4.19)$$

$$HSP_M = \frac{4050 Wh/m^2/día}{1000 W/m^2}$$

$$HSP_M = 4.05 \text{ horas al día}$$

Consumo energético Real (E) (Berru & Uteras, 2009): se calcula a partir del consumo energético teórico ET [Wh] y necesario para hacer frente a los múltiples factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica, del siguiente modo:

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (4.20)$$

Donde **R** es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \times \left(1 - \frac{k_a \times N}{P_d}\right) \quad (4.21)$$

Tabla 4.5. Factores del Rendimiento Global

Factor	Significado	Valor	Condición
k_b	Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador	0,05	Sistemas que no demanden descargas intensas
		0,1	Sistemas con descargas profundas
k_c	Coeficiente de pérdidas en el Convertidor	0,05	Convertidores sinusoidales (régimen óptimo)
		0,1	Otras condiciones de trabajo (lejos del óptimo)
		0	Sin convertidor
k_v	Coeficiente de perdidas varias	0,05 -0,15	Agrupar otras pérdidas como: rendimiento de red, Efecto Joule, etc.
k_a	Coeficiente de autodescarga diario	0,002	Baterías de baja autodescarga, Ni-Cd
		0,005	Baterías estacionarias de Pb-ácido (más comunes)
		0,012	Baterías de alta autodescarga (arranque automóviles)
N	Número de días de Autonomía	4-10	Días de autonomía referenciales
		0	Utilizada solo cuando hay suficiente radiación
P_d	Profundidad de descarga	< 80%	Con relación a la capacidad nominal del acumulador

$$R = (1 - 0.05 - 0 - 0.15) \times \left(1 - \frac{0.05 \times 2}{0.5}\right)$$

$$R = 0.784$$

Tabla 4.6. Consumo Energético Teórico

Elemento	Cant.	Tensión [VDC]	Potencia [W]	Horas [h]	Energía [Wh]
Bomba	1	25	51.5324	6.818	351.3479
			24,4305	3.98	97.2333
Bomba	1	12.5	51.5324	15.254	786.0752
			24,4305	8.83	215.7213

Por lo tanto el consumo energético real E, para 25 VDC es:

$$E_1 = \frac{351.3479}{0.784} = 448.148 [Wh]$$

$$E_2 = \frac{97.2333}{0.784} = 124.022 [Wh]$$

El consumo energético real E, para 12.5 VDC es:

$$E_1 = \frac{786.0752}{0.784} = 1002.647 [Wh]$$

$$E_2 = \frac{215.7213}{0.784} = 275.155 [Wh]$$

Cálculos de la Batería (Lillo Bravo, 2010):

Tensión de carga de 24 VDC

Se estima un número de días de autonomía de $N = 2$, una profundidad de descarga de $Pfd = 0,75$ y un tensión de carga de 24 VDC

$$C_t = \frac{E_d \times N}{V_b \times \eta_i \times \eta_{ab} \times Pfd} \quad (4.22)$$

Sitio N° 1

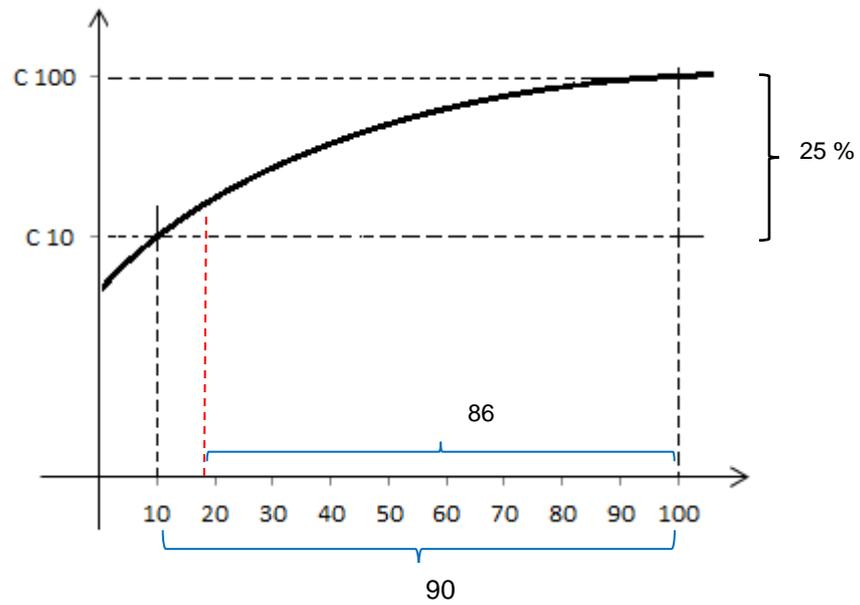
$$C_t = \frac{448.148 (Wh/día) \times 2 (días)}{24 \times 1 \times 0.8 \times 0.75}$$

$$C_t = 62.280 [Ah]$$

t → en 6.818 horas y por 2 días

$$t = 13.636 [h] \approx 14 [h]$$

$$\rightarrow C_{14} = 62.280 [Ah]$$



$$\begin{aligned}
 90 \text{ h} &\rightarrow 25 \% \\
 86 \text{ h} &\rightarrow x \\
 x &= \frac{86 \times 25}{90} = 23.88 \%
 \end{aligned}$$

$$C_{100} = C_{14} + 23.88 \% C_{14}$$

$$C_{100} = C_{14} + 0.2388 C_{14}$$

$$C_{100} = 1.2388 C_{14}$$

$$C_{100} = 1.2388 \times 62.280 \text{ [Ah]}$$

$$C_{100} = 77.153 \text{ [Ah]}$$

$$C_{100} = 1.25 C_{10}$$

$$C_{10} = \frac{77.153 \text{ [Ah]}}{1.25}$$

$$C_{10} = 61.722 \text{ [Ah]}$$

Sitio N° 2

$$C_t = \frac{124.022 \text{ (Wh/día)} \times 2 \text{ (días)}}{24 \times 1 \times 0.8 \times 0.75}$$

$$C_t = 17.225 \text{ [Ah]}$$

t → en 3.98 horas y por 2 días

$$t = 7.96 \text{ [h]} \approx 8 \text{ [h]}$$

$$\rightarrow C_8 = 17.225 \text{ [Ah]}$$

$$\begin{aligned}
 90 \text{ h} &\rightarrow 25 \% \\
 92 \text{ h} &\rightarrow x \\
 x &= \frac{86 \times 25}{90} = 25.555 \%
 \end{aligned}$$

$$C_{100} = C_8 + 25.555 \% C_8$$

$$C_{100} = C_8 + 0.2555 C_8$$

$$C_{100} = 1.2555 C_8$$

$$C_{100} = 1.2555 \times 17.225 [Ah]$$

$$C_{100} = 21,627 [Ah]$$

$$C_{100} = 1.25 C_{10}$$

$$C_{10} = \frac{21,627 [Ah]}{1.25}$$

$$C_{10} = 17.302 [Ah]$$

Cálculo del Panel Solar:

Características técnicas de un generador fotovoltaico:

Marca :	Simax
Modelo:	SM572-190
Potencia Máxima Pico (P_{mpp}) [W _p]	190 [W]
Eficiencia del Módulo (%)	15.1 %
Tensión en Circuito Abierto (V_{cc})	44.5 [V]
Tensión a Máxima Potencia (V_{mpp})	36.5 [V]
Corriente a Máxima Potencia (I_{mpp})	5.21 [A]
Corriente de Corto Circuito (I_{sc})	5.52 [A]

Número de Paneles en Serie (Lillo Bravo, 2010):

$$N_{PS} = \left\lceil \frac{V_b}{V_m - 3} \right\rceil \therefore \rightarrow \text{se escoge el máximo superior} \quad (4.23)$$

$$N_{PS} = \left\lceil \frac{24}{36.5 - 3} \right\rceil$$

$$N_{PS} = 0.7164 \approx 1 \text{ panel}$$

Número de Paneles en Paralelo (Lillo Bravo, 2010):

$$N_{TP} = \frac{E_{CS}}{HSP \times Ep} \quad (4.24)$$

$$E_{CS} = \frac{E_d}{\eta_i \times \eta_{cd} \times \eta_{db}} \quad (4.25)$$

Dónde:

η_i : Eficiencia del inversor (0.7). Sin inversor (1)

η_{cd} : Eficiencia de la carga de la batería (0.8)

η_{db} : Eficiencia de la descarga de la batería (0.8)

Sitio N° 1

$$E_{CS} = \frac{448.148 \text{ (Wh/día)}}{1 \times 0.8 \times 0.8}$$

$$E_{CS} = 700.231 \text{ (Wh/día)}$$

$$N_{TP} = \frac{700.231}{4.05 \times 190}$$

$$N_{TP} = 0.910 \approx 1 \text{ panel}$$

Sitio N° 2

$$E_{CS} = \frac{124.022 \text{ (Wh/día)}}{1 \times 0.8 \times 0.8}$$

$$E_{CS} = 193.784 \text{ (Wh/día)}$$

$$N_{TP} = \frac{193.784}{4.05 \times 190}$$

$$N_{TP} = 0.2518 \approx 1 \text{ panel}$$

Tensión de carga de 12 VDC

Se estima un número de días de autonomía de $N = 2$, una profundidad de descarga de $Pfd = 0,75$ y un Tensión de carga de 12 VDC

$$C_t = \frac{E_d \times N}{V_b \times \eta_i \times \eta_{db} \times Pfd}$$

Sitio N° 1

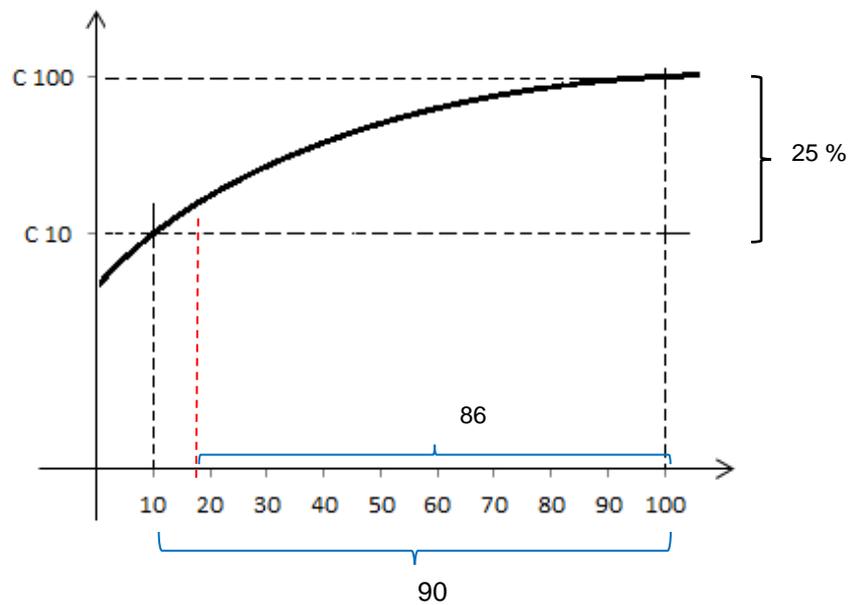
$$C_t = \frac{1002.647 \text{ (Wh/día)} \times 2 \text{ (días)}}{12 \times 1 \times 0.8 \times 0.75}$$

$$C_t = 278.513 \text{ [Ah]}$$

t → en 6.818 horas y por 2 días

t = 13.636 [h] ≈ 14 [h]

$$\rightarrow C_{14} = 278.513 \text{ [Ah]}$$



$$90 \text{ h} \rightarrow 25 \%$$

$$86 \text{ h} \rightarrow x$$

$$x = \frac{86 \times 25}{90} = 23.88 \%$$

$$C_{100} = C_{14} + 23.88 \% C_{14}$$

$$C_{100} = C_{14} + 0.2388 C_{14}$$

$$C_{100} = 1.2388 C_{14}$$

$$C_{100} = 1.2388 \times 278.513 \text{ [Ah]}$$

$$C_{100} = 345.022 \text{ [Ah]}$$

$$C_{100} = 1.25 C_{10}$$

$$C_{10} = \frac{345.022 \text{ [Ah]}}{1.25}$$

$$C_{10} = 276.018 \text{ [Ah]}$$

Sitio N° 2

$$C_t = \frac{275.155 \text{ (Wh/día)} \times 2 \text{ (días)}}{12 \times 1 \times 0.8 \times 0.75}$$

$$C_t = 76.432 \text{ [Ah]}$$

$t \rightarrow$ en 3.98 horas y por 2 días

$$t = 7.96 \text{ [h]} \approx 8 \text{ [h]}$$

$$\rightarrow C_8 = 76.432 \text{ [Ah]}$$

$$90 \text{ h} \rightarrow 25 \%$$

$$92 \text{ h} \rightarrow x$$

$$x = \frac{86 \times 25}{90} = 25.555 \%$$

$$C_{100} = C_8 + 25.555 \% C_8$$

$$C_{100} = C_8 + 0.2555 C_8$$

$$C_{100} = 1.2555 C_8$$

$$C_{100} = 1.2555 \times 76.432 \text{ [Ah]}$$

$$C_{100} = 95.9603 \text{ [Ah]}$$

$$C_{100} = 1.25 C_{10}$$

$$C_{10} = \frac{95.9603 \text{ [Ah]}}{1.25}$$

$$C_{10} = 76.768 \text{ [Ah]}$$

Cálculo del Panel Solar:

Características técnicas de un generador fotovoltaico:

Marca:	Simax
Modelo:	SM636-150
Potencia Máxima Pico (P_{mpp}) [W _p]	150 [W]
Tensión en Circuito Abierto (V_{cc})	22.6 [V]
Tensión a Máxima Potencia (V_{mpp})	18.1 [V]
Corriente a Máxima Potencia (I_{mpp})	8.42 [A]
Corriente de Corto Circuito (I_{sc})	8.88 [A]

Número de Paneles en Serie:

$$N_{PS} = \left[\frac{V_b}{V_m - 3} \right] \therefore \rightarrow \text{se escoge el máximo superior}$$

$$N_{PS} = \left[\frac{12}{18.1 - 3} \right]$$

$$N_{PS} = 0.7947 \approx 1 \text{ panel}$$

Número de Paneles en Paralelo:

$$N_{TP} = \frac{E_{CS}}{HSP \times Ep}$$

$$E_{CS} = \frac{E_d}{\eta_i \times \eta_{cd} \times \eta_{db}}$$

Dónde:

η_i : Eficiencia del inversor (0.7)

η_{cd} : Eficiencia de la carga de la batería (0.8)

η_{db} : Eficiencia de la descarga de la batería (0.8)

$$E_1 = \frac{881.8657}{0.784} = 1124,828 [Wh]$$

$$E_2 = \frac{211.6259}{0.784} = 269.930 [Wh]$$

Sitio N° 1

$$E_{CS} = \frac{1002.647 (Wh/día)}{1 \times 0.8 \times 0.8}$$

$$E_{CS} = 1566.636 (Wh/día)$$

$$N_{TP} = \frac{1566.636}{4.05 \times 150}$$

$$N_{TP} = 2.579 \approx 3 \text{ panel}$$

Sitio N° 2

$$E_{CS} = \frac{275.155 (Wh/día)}{1 \times 0.8 \times 0.8}$$

$$E_{CS} = 429.930 (Wh/día)$$

$$N_{TP} = \frac{429.930}{4.05 \times 150}$$

$$N_{TP} = 0.707 \approx 1 \text{ panel}$$

4.2.4. INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO EN EL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.

El sistema de bombeo fotovoltaico para Lago Agrio podría operar con 12 VDC o 24 VDC, aunque el sistema más adecuado es a 24 VDC, según los cálculos realizados. La bomba utilizada permitió realizar pruebas de funcionamiento y verificar la operatividad en el sitio de interés.

Para las pruebas de operatividad se utilizó una fuente regulada de 24 VDC para garantizar un Tensión constante durante todo el proceso (Fig. 4.24).



Figura 4.29. Fuente regulada de 24 VDC

Para la tensión de 12 VDC se utilizó un reductor de Tensión (Negative Booster - Fig. 4.25) en serie con la fuente de 24 VDC.

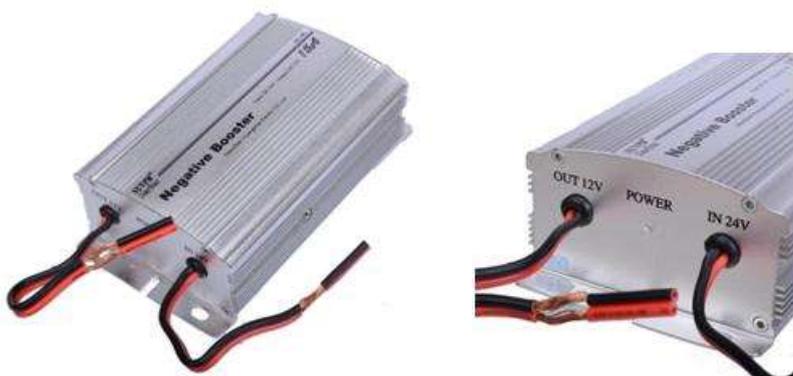


Figura 4.30. Reductor de Tensión (Negative Booster)

Como parte de las pruebas de funcionamiento de la instalación de bombeo fotovoltaico se realizó la verificación de un regulador de corriente lineal LCB (linear current booster), el cual regula el Tensión a 24 VDC.

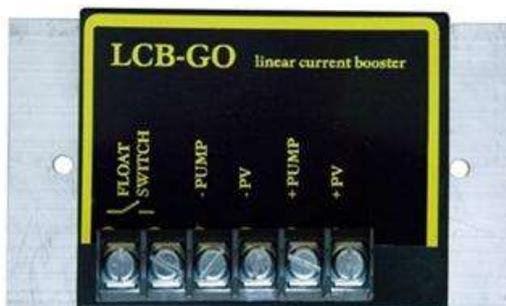


Figura 4.31. Linear Current Booster



Figura 4.32. Equipos utilizados para las pruebas



Figura 4.33. Equipos de Medición utilizados para las pruebas a 24 VDC



Figura 4.34. Equipos de Medición utilizados para las pruebas a 12 VDC

Para las pruebas se utilizó tubería PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada, cortada desde 1 a 12 metros para realizar pruebas de funcionamiento con distintas alturas y un medidor de agua para medición residencial Fig. 4.30



Figura 4.35. Equipos Instalados para las pruebas necesarias



Figura 4.36. Bomba de DC instalada para Pruebas

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. ESTADÍSTICAS DE CONSUMO ELÉCTRICO

El sector residencial de Lago Agrio es un sector clave en el contexto energético actual, debido a que el uso de bombas de agua para un sistema doméstico es frecuente. La suma de los consumos eléctricos individuales produce un valor que se considera significativo para estudios de eficiencia energética.

Tabla 5.1. Número anual de clientes regulados CNEL Sucumbíos

Año	Comercial	Industrial	Otros	Residencial
2011	9315	658	2462	55302
2012	10310	640	2353	60539
2013	11029	650	2361	67604
2014	11582	645	2442	72536

Fuente: (CONELEC, 2014)

Se puede Observar en la Tabla 5.1, que cada año se incrementa el número de clientes en la provincia de Sucumbíos, esto demuestra una constante demanda de energía eléctrica para la provincia y sus ciudades. En la Fig. 5.1 se puede apreciar que el mayor número de clientes es el residencial y por esta razón se analizó este tipo de clientes en Lago Agrio.

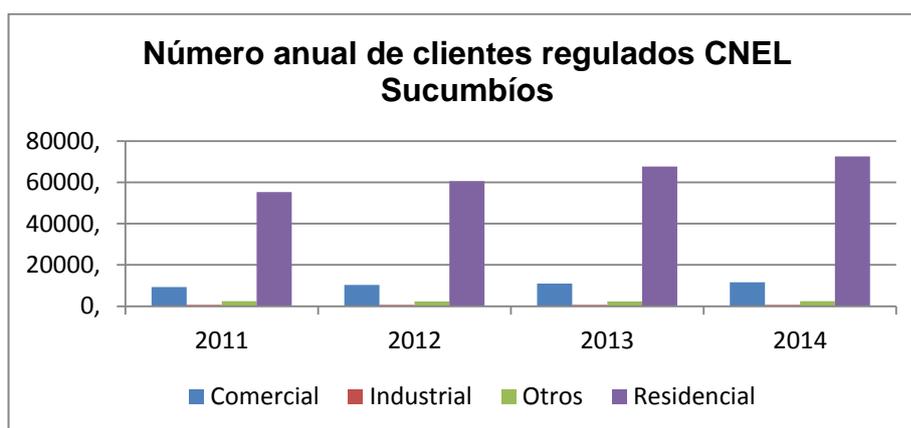


Figura 5.1. Número anual de clientes regulados CNEL Sucumbíos

Fuente: (CONELEC, 2014)

Según datos de CNEL – Sucumbíos, para Lago Agrio (Tabla 5.2) se observa que el porcentaje de cobertura para el 2012 fue de 83.33% con 18578 clientes residenciales, mientras que en el 2014 fue de 92.19% con 22006 clientes residenciales, es decir, se tiene un amplio porcentaje de cobertura, pero aún se puede mejorar.

Tabla 5.2. Número anual de clientes CNEL Sucumbíos (Lago Agrio)

Año	Lugar	CLIENTES					Población	Hogares	% de Cobertura
		Residencial	Comercial	Industrial	Otros	TOTAL			
2012	Lago Agrio	18578	4556	258	659	24051	101013	28861	83,33
2013	Lago Agrio	20239	4728	246	637	25850	103586	29596	87,34
2014	Lago Agrio	22006	5029	243	688	27966	106177	30336	92,19

Fuente: (CNEL Sucumbíos, 2014)

Se ha estimado que el consumo promedio anual para lago Agrio (Tabla 5.3) en el sector residencial es de 115 KWh.

Tabla 5.3. Consumo promedio en KWh - CNEL Sucumbíos (CNEL Sucumbíos, 2014)

Año	Lugar	Residencial	Comercial	Industrial	Otros
2012	Lago Agrio	114	384	2308	922
2013	Lago Agrio	120	413	2291	556
2014	Lago Agrio	110	473	2867	799
Promedio Total		115	423	2488	759

Fuente: (CNEL Sucumbíos, 2014)

También se ha determinado que el costo del KWh para Sucumbíos (Tabla 5.4) en el sector residencial para el 2014 fue de 11.02 centavos de dólar por KWh

Tabla 5.4. Precios medios a clientes finales (USD c/KWh)- CNEL Sucumbíos

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Otros
2012	10,16	8,15	7,69	6,36
2013	10,22	7,95	7,48	6,19
2014	11,02	9,25	9,01	6,47

Fuente: (CONELEC, 2014)

Los datos del Geoportal del CONELEC, muestran los valores de potencia nominal y efectiva de las centrales de generación ubicadas en la provincia de Sucumbíos (Tabla 5.5). (CONELEC, 2014)

Tabla 5.5. Potencia Nominal y Efectiva de CNEL Sucumbíos

CNEL- Sucumbíos	Térmica MCI		Hidráulica		Térmica MCI		Hidráulica	
	Potencia	Potencia	Potencia	Potencia	Energía	Energía	Energía	Energía
	Nominal	Efectiva	Nominal	Efectiva	Nominal	Efectiva	Nominal	Efectiva
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
Celso Castellanos	10	7,6			87600	66576	0	0
Jivino I	5	3,8			43800	33288	0	0
Jivino II	11	10			96360	87600	0	0
Jivino III	44	40			385440	350400	0	0
Lumbaqui			0,2	0,1	0	0	1752	876
Nvo. Rocafuerte	0,45	0,37			3942	3241,2	0	0
Payamino	2,5	1,6			21900	14016	0	0
Pto. El Carmen	0,65	0,45			5694	3942	0	0
Tiputini	0,16	0,12			1401,6	1051,2	0	0
TOTAL	73,76	60,14	0,2	0,1	646137,6	560114,4	1752	876

Fuente: (CNEL Sucumbíos, 2014)

Al analizar los datos directamente en el Geoportal del CONELEC, se observa que la central más cercana a Lago Agrio es la Central de Generación Celso Castellanos (Fig. 5.2)



Figura 5.2. Central de Generación Celso Castellanos - CNEL Sucumbíos

Fuente: (CONELEC, 2014)

La central de generación Celso Castellanos cuenta con 4 unidades de generación como se observa en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Potencia Nominal y Efectiva de Generación Celso Castellanos

Nombre	Potencia Efectiva (kW)	Potencia Nominal (kW)	Sincronismo	Sistema	Voltaje nominal (V)	Tipo de unidad
U1	1.900	2.500	SI	S.N.I.	4,16	MCI
U2	1.900	2.500	SI	S.N.I.	4,16	MCI
U3	1.900	2.500	SI	S.N.I.	4,16	MCI
U4	1.900	2.500	SI	S.N.I.	4,16	MCI

Fuente: (CONELEC, 2014)

Durante el año 2014 la central Celso Castellano utiliza Diesel como combustible para su funcionamiento (Tabla 5.6.)

Tabla 5.7. Consumo de combustible para Generación Celso Castellanos

Año	Diesel ² (gal)	Energía Bruta (MWh)	Energía Neta (MWh)
2012	456.146,21	5.802,69	5.506,14
2013	1.190.881,67	15.181,23	14.886,32
2014	346.792,15	4.553,32	4.503,23

Fuente: (CONELEC, 2014)

5.2. CALIDAD DE LA ENERGÍA (CONELEC, 2014)

En el Ecuador como en la mayoría de los países a nivel mundial ha visto en la necesidad de reglamentar los parámetros y los niveles que deberían cumplir para tener una buena calidad en la energía. El CONELEC en su reglamento de regulación No. 004/01, ha reglamentado la calidad de energía en los aspectos de servicio técnico, de servicio comercial y la calidad del producto.

5.2.1. CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO (CONELEC, 2014)

Se evalúa sobre la base de dos aspectos: la frecuencia de interrupciones en el fluido eléctrico y la duración de las mismas. El período de control será anual, por tanto, los Distribuidores presentarán informes anuales al CONELEC, especificando las interrupciones y los índices de control resultantes. La información relacionada con cada una de las interrupciones que ocurran en la red eléctrica se identificará y registrara (fecha y hora de ocurrencia, origen, causas, consumidores afectados).

5.2.2. CALIDAD DEL SERVICIO COMERCIAL (CONELEC, 2014)

Tiene relación con lo que respecta a la comercialización de la energía. Está comprendido: la atención de solicitudes, atención de reclamos y errores de medición. Ya que existe un tiempo límite, dependiendo del área geográfica, en la atención de solicitudes para la instalación del servicio. La facturación tiene que ser directa en las zonas urbanas y de densidad demográfica media y alta, las estimaciones están permitidas para áreas

rurales que no dispongan de medidores. Los reclamos deberán ser atendidos en un máximo de cuatro días. En los casos de errores de medición y facturación no debe exceder el 2% de clientes.

5.2.3. CALIDAD DEL PRODUCTO (CONELEC, 2014)

En este punto se analiza las cualidades del nivel de tensión, las perturbaciones mínimas de tensión (amónicos) y alto factor de potencia para un mínimo consumo de reactivos y por consiguiente evitar penalizaciones.

5.2.3.1. NIVEL DE TENSIÓN (CONELEC, 2014)

Se determina el índice de calidad para garantizar la calidad de tensión, esta calidad se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles.

$$\Delta V_k(\%) = \left(\frac{V_k - V_n}{V_n} \right) \times 100 \quad (5.1)$$

Dónde:

ΔV_k : variación de tensión, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k : tensión eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : tensión nominal en el punto de medición.

Las variaciones de tensión admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan en la Tabla 5.8:

Tabla 5.8. Variaciones de tensión admitidas – CONELEC

	Subetapa 1	Subetapa 2
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

Fuente: (CONELEC, 2014)

5.2.3.2. ARMÓNICOS (Fink, 2010)

Son ondas sinusoidales de frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de 60 Hz.

5.2.3.3. DISTORSIÓN ARMÓNICA (CONELEC, 2014)

La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico. Es la sobreposición de señales en múltiplos de la frecuencia fundamental de la potencia sobre la onda sinodal de la misma.

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) \times 100 \quad (5.2)$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) \times 100 \quad (5.3)$$

Dónde:

V_i' : Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD : Distorsión Armónica Total o factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

V_i : Valor eficaz (rms) de la tensión armónica "i" (para i = 2... 40) expresado en voltios.

V_n : tensión nominal del punto de medición expresado en voltios.

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i') y los THD, expresados como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD) (Tabla 5.9)

Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

La normativa IEEE 591-2014 establece los siguientes límites de tensión armónicas (Tabla 5.10)

Tabla 5.9. Tabla de Límites de tolerancia de (Vi') y THD

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o THD (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Fuente: (CONELEC, 2014)

Tabla 5.10. Voltage distortion limits

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV < $V \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV < $V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV < V	1.0	1.5

Fuente: (IEEE STANDARDS ASSOCIATION, 2014)

La normativa IEEE 591-2014 también establece los siguientes límites de corrientes armónicas (Tabla 5.11)

Tabla 5.11. Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: (IEEE STANDARDS ASSOCIATION, 2014)

5.2.3.4. FACTOR DE POTENCIA (CONELEC, 2014)

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad. El valor mínimo es de 0,92.

5.3. DATOS OBTENIDOS CON EQUIPOS DE MONITOREO

Para la recolección de datos eléctricos del sector residencial se utilizó un medidor y registrador de parámetros eléctricos de distribuido por “AEMC Instruments” y Modelo “PEL 103”. Se realizó el registro de datos durante 28 días.

5.3.1. DATOS OBTENIDOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 1

Para el sitio de estudio N° 1, se realizó el registro de datos durante 28 días. En la Fig. 5.3 se puede observar los niveles de tensión (V) y corriente (I) almacenados durante los 28 días que duró las mediciones.

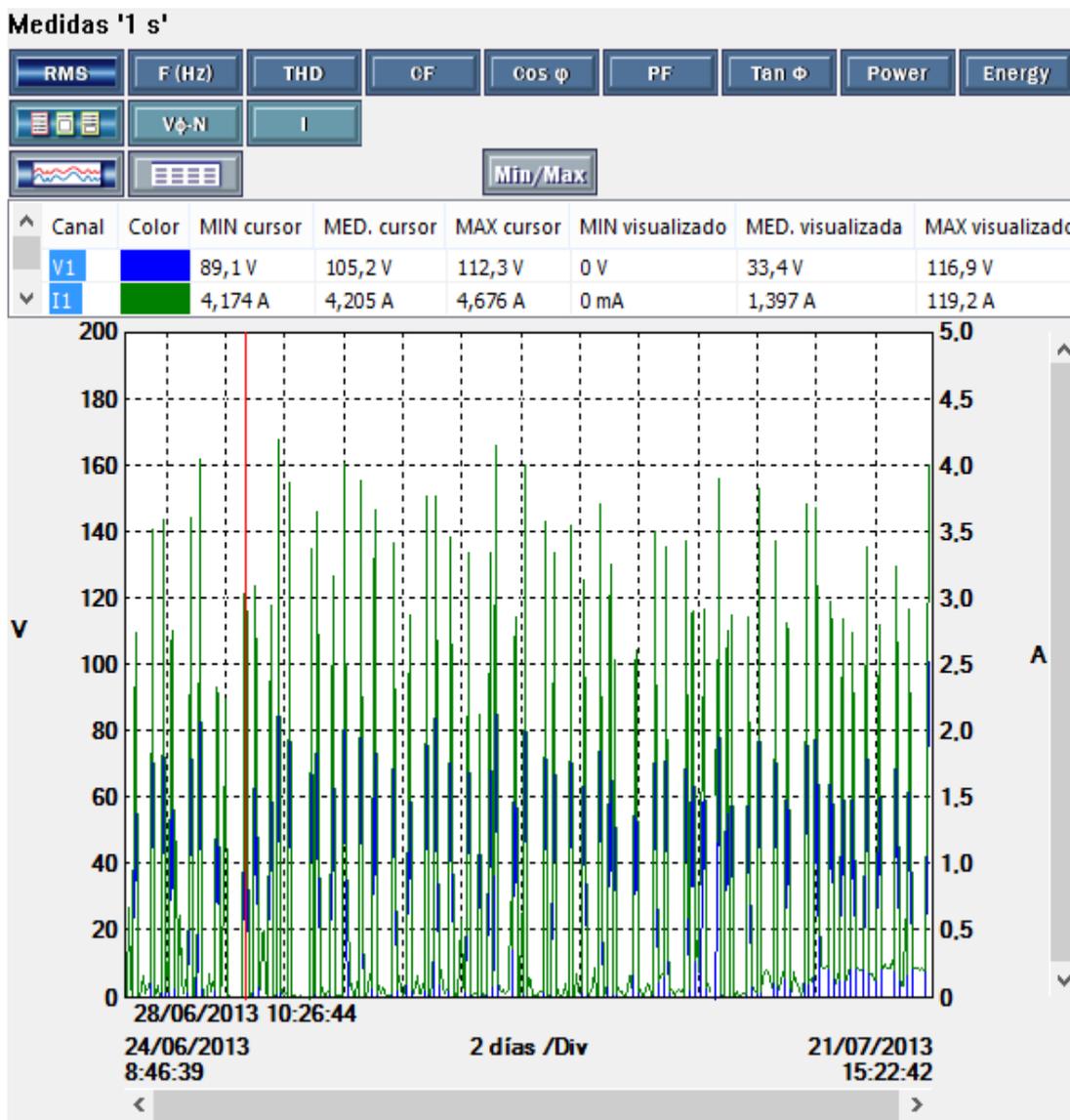


Figura 5.3. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 28 días

En la Fig. 5.4 se puede observar los datos de potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y potencia aparente (S) almacenados durante los 28 días que duró las mediciones.

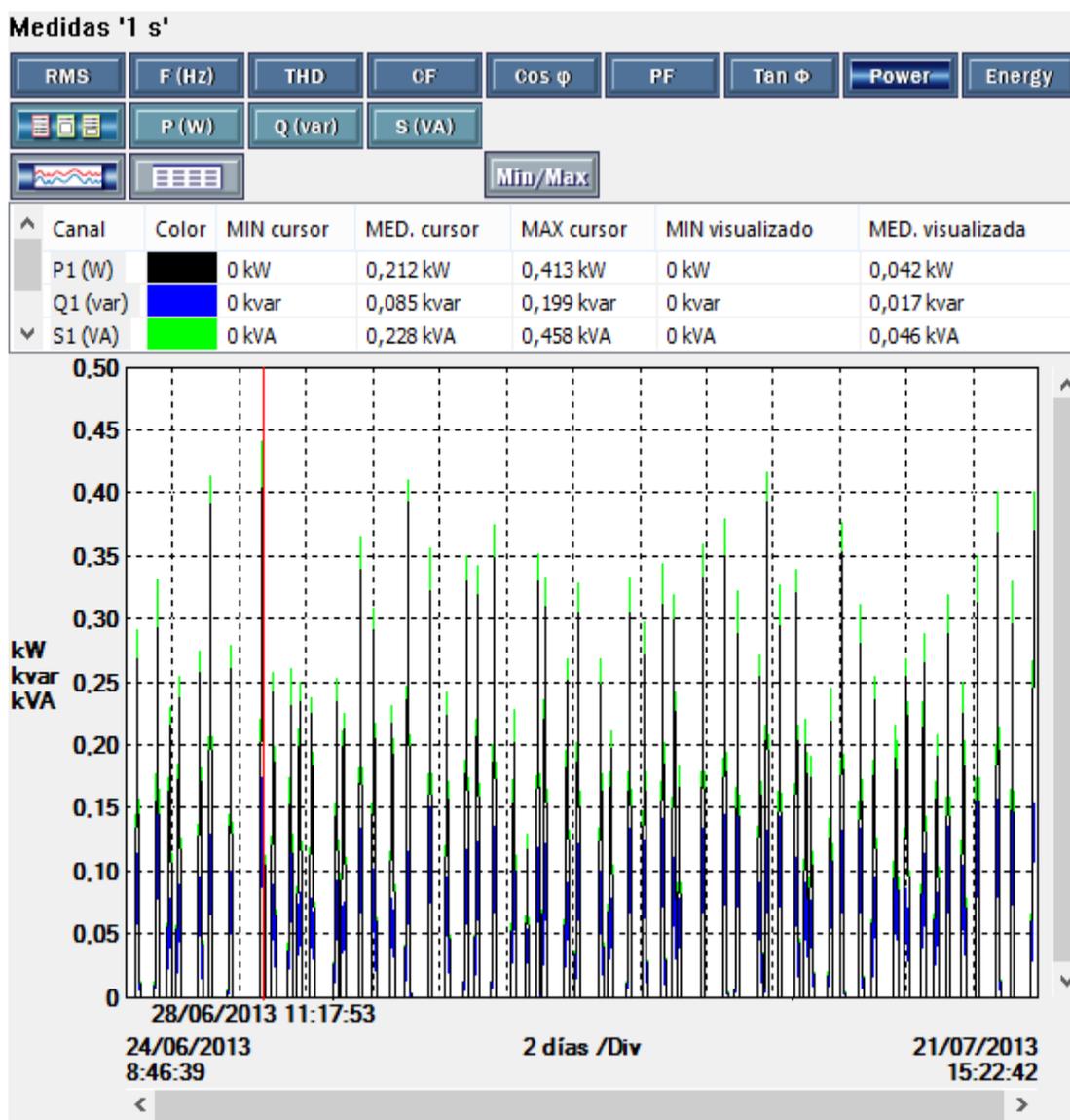


Figura 5.4. Registro de tendencias de “P”, “Q” y “S” durante 28 días

En la Fig. 5.5 se registraron las tendencias de Energía durante 28 días y se puede apreciar que el consumo de energía eléctrica es de 27.13 KWh.



Figura 5.5. Registro de tendencias de Energía durante 28 días

Se puede observar en la Fig. 5.5, que el incremento de potencia es lineal, debido a que se encuentra conectada una carga inductiva (bomba de agua) y en promedio, consume a diario una cantidad similar de energía.

Se puede analizar los niveles de tensión y corriente en la Fig. 5.6 durante 24 horas, donde se observa que se han producido 3 encendidos de las bombas tradicionales de AC.

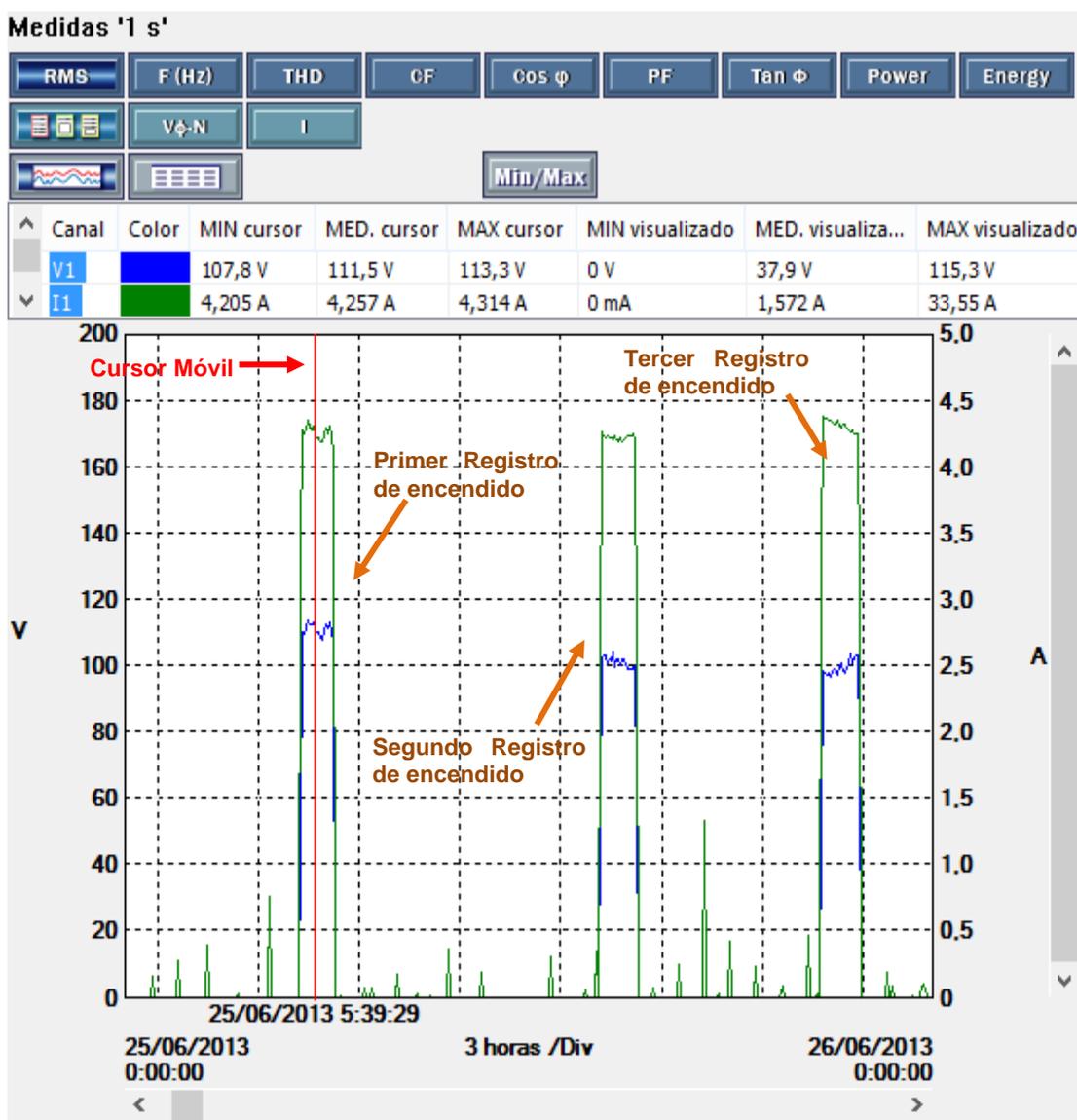


Figura 5.6. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 24 horas

5.3.1.1. SITIO DE ESTUDIO Nº 1 – PRIMER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.7, que corresponde al primer encendido de la bomba, es decir, el primer registro de funcionamiento de la bomba es a las 5:12 de la mañana.

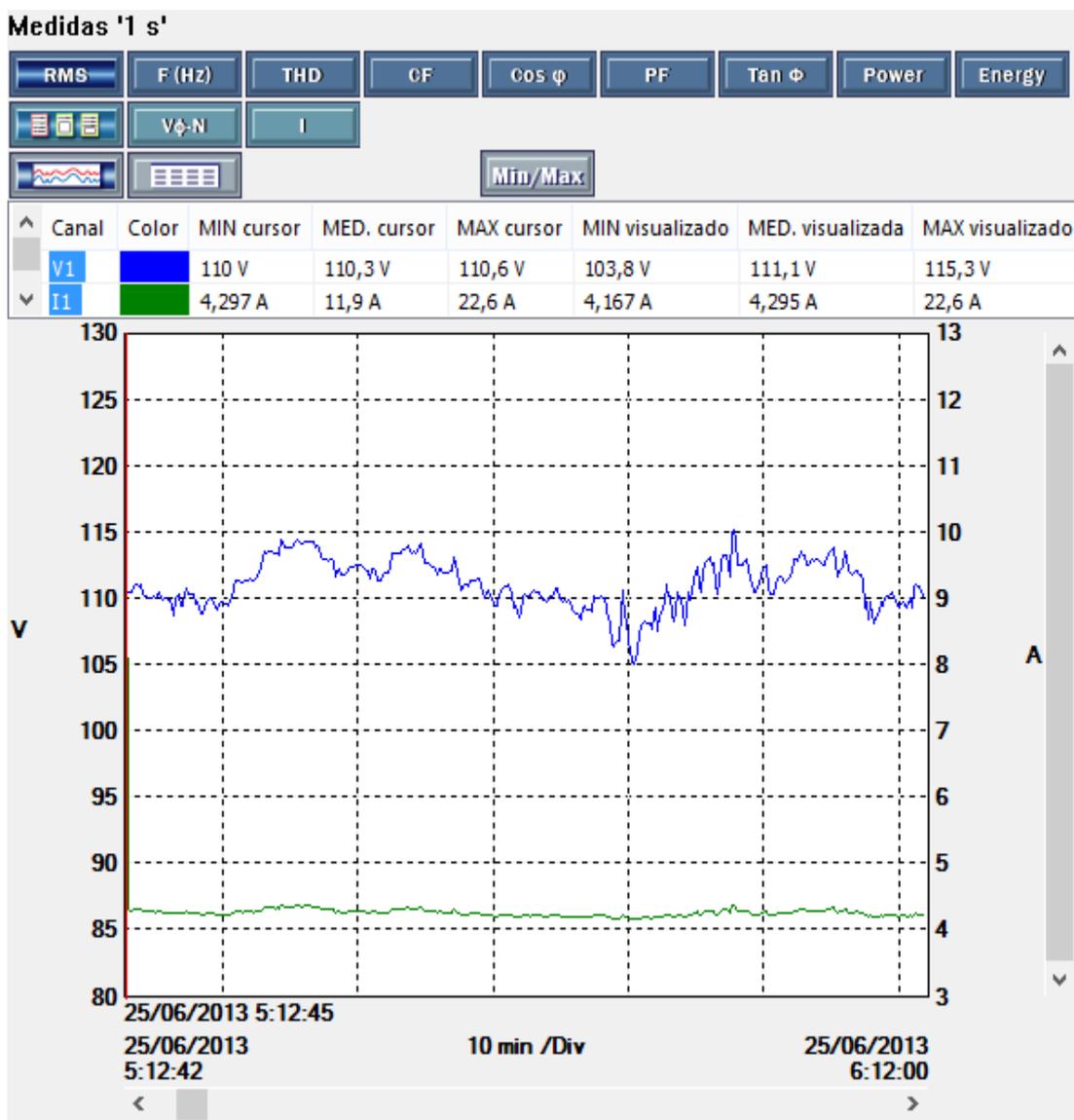


Figura 5.7. Registro de tendencias de “V”, “I” durante el Primer Registro

Durante las lecturas del primer registro, se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 5:12:41 (Fig. 5.8) y finaliza a las 6:12:06 (Fig. 5.9), es decir, la duración total del primer registro es de 0:59:25.

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						
Fecha	Hora	V1	I1					
25/06/2013	5:12:39	0 V	0 mA					
25/06/2013	5:12:40	0 V	1,36 A					
25/06/2013	5:12:41	106,3 V	33,55 A					
25/06/2013	5:12:42	110 V	22,6 A					
25/06/2013	5:12:43	110 V	4,297 A					
25/06/2013	5:12:44	110,6 V	4,311 A					

Figura 5.8. Primer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						
Fecha	Hora	V1	I1					
25/06/2013	6:12:03	110,4 V	4,232 A					
25/06/2013	6:12:04	110,2 V	4,228 A					
25/06/2013	6:12:05	110,3 V	4,227 A					
25/06/2013	6:12:06	25,7 V	806,1 mA					
25/06/2013	6:12:07	0 V	0 mA					
25/06/2013	6:12:08	0 V	0 mA					
25/06/2013	6:12:09	0 V	0 mA					

Figura 5.9. Primer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el primer registro, se observa un nivel de tensión de 106,3 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -3,36 %. Además, los niveles de tensión varían entre 110 VAC y 110,6 VAC, lo que permite obtener un índice de calidad que varía entre 0% y 0.54%. Todos los índices de calidad, están dentro del límite el permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

La tensión media visualizada 111.1 VAC durante el primer registro, permite calcular el índice de calidad de 1%, es decir, está dentro del límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el primer registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,882 (Fig. 5.10), es decir, se encuentra bajo del límite permitido de 0,92.



Figura 5.10. Primer Registro – Factor de Potencia

También existen algunos registros del Factor de potencia que se encuentran sobre el límite permitido, el máximo visualizado es de 0,928.

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba durante su primer registro (Fig. 5.11), se pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es 2,11% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 14,82% (fuera del límite establecido)

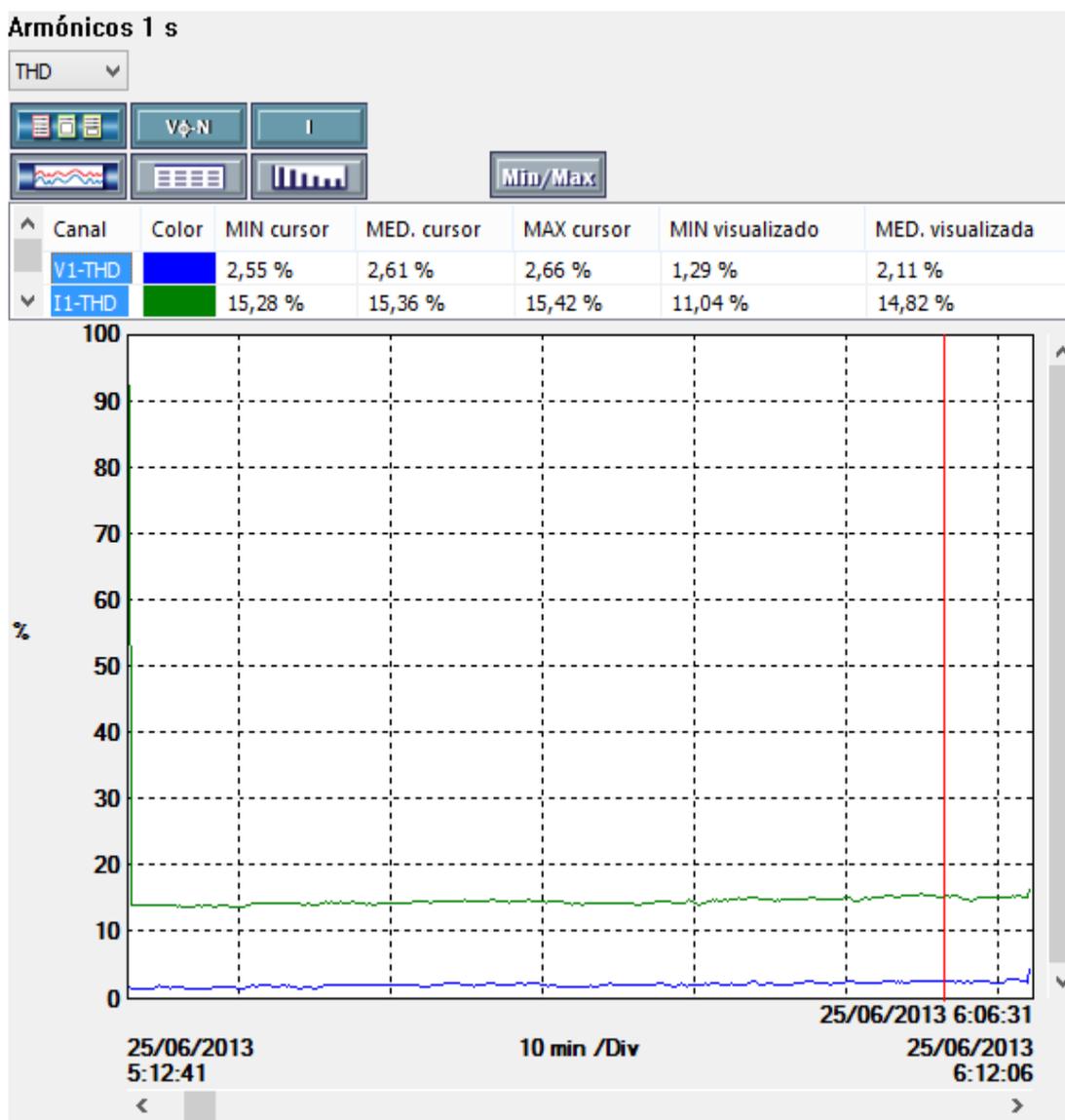


Figura 5.11. Distorsión Armónica Total THD durante Primer Registro

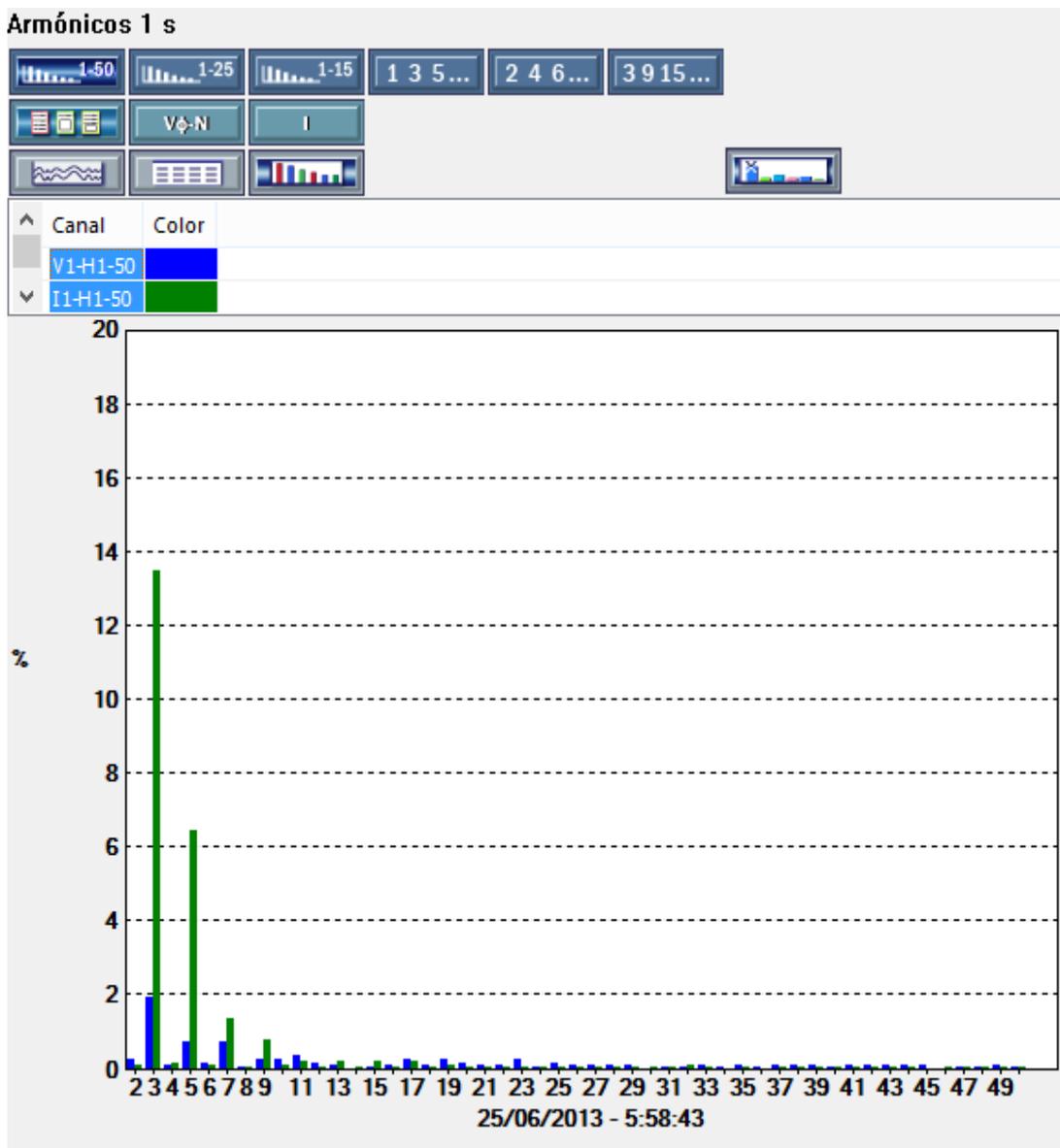


Figura 5.12. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.12, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

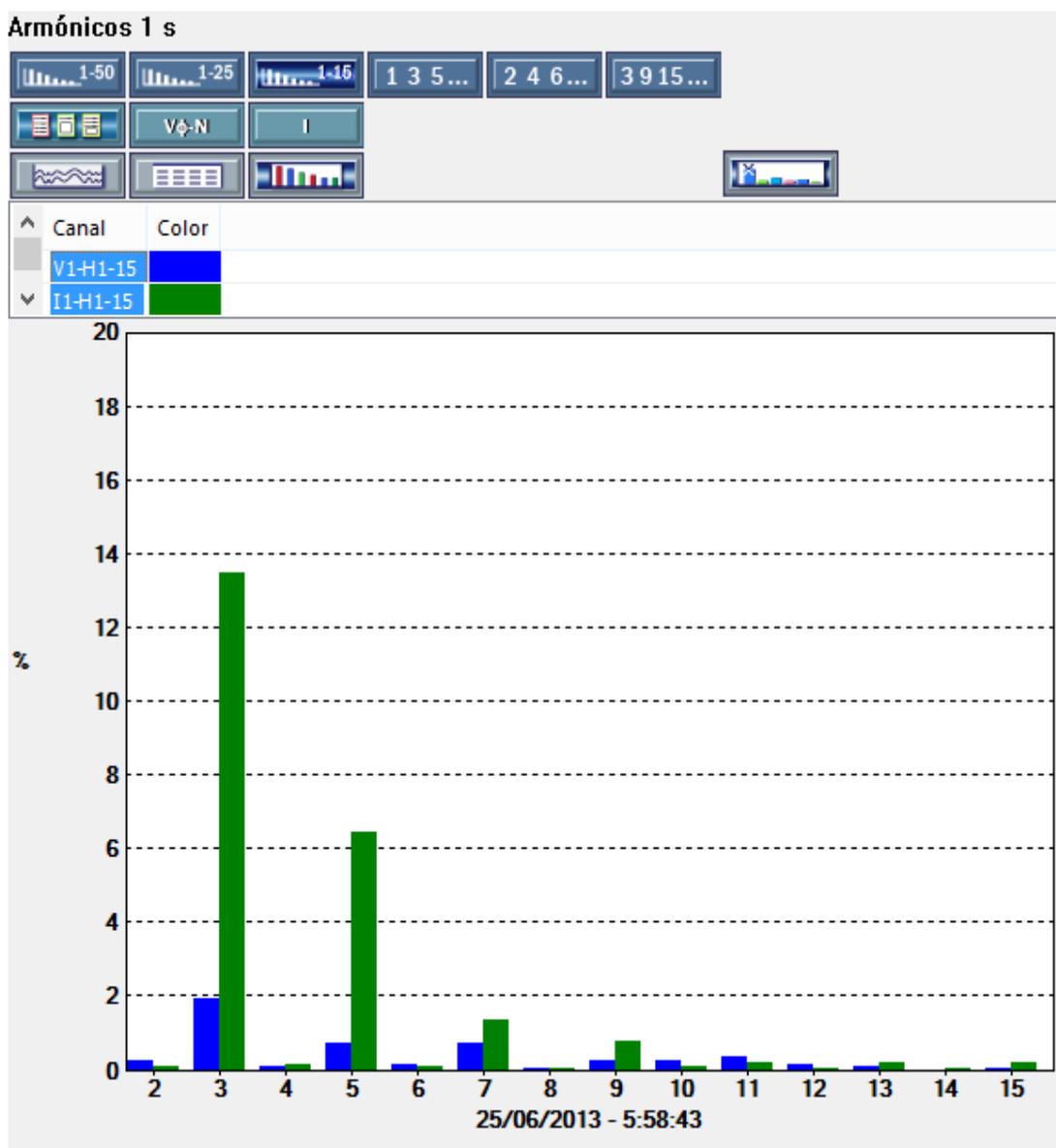


Figura 5.13. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el primer encendido de la bomba del sitio N° 1, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.12 y Tabla 5.13

Tabla 5.12. Análisis de la distorsión de Tensión para el Primer Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	1.9	2.11
CUMPLIMIENTO	SI	SI

Tabla 5.13. Límites para distorsión de corriente para el Primer Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	13.42	0.38	0.16	0.05	0.04	14.82
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en las instalaciones eléctricas. En éstas, la sobrecarga de corriente en el neutro puede ser muy importante, pudiendo ser el doble de la intensidad que circula por la fase. Debido a esto es necesario corregir el THD y el orden de los armónicos entre $3 \leq h < 11$ en intensidad de corriente ya que no cumple con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector.

5.3.1.2. SITIO DE ESTUDIO N° 1 – SEGUNDO REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.14, que corresponde al segundo encendido de la bomba, es decir, el segundo registro de funcionamiento de la bomba es a las 14:10 de la tarde.

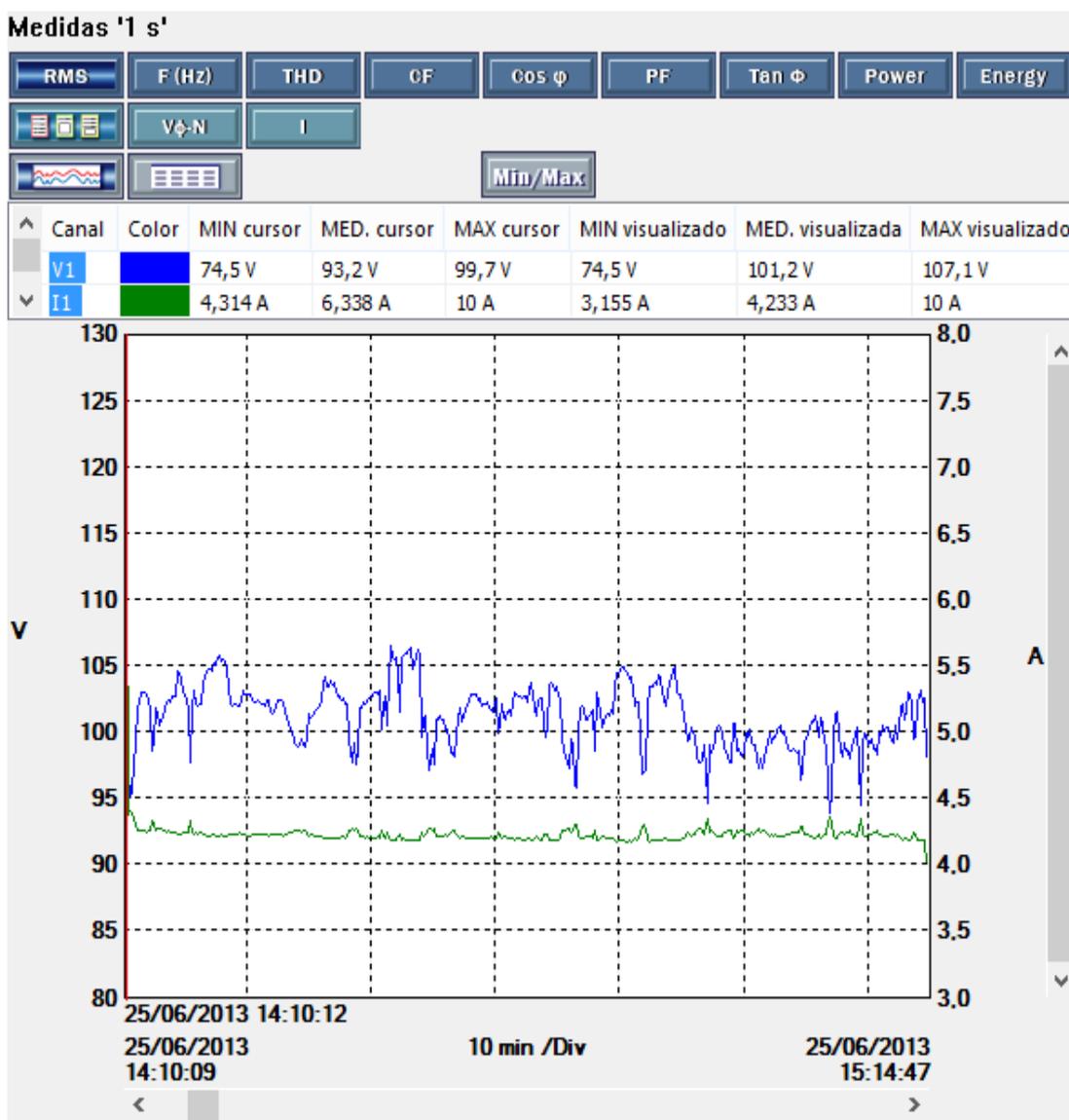


Figura 5.14. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Segundo Registro

Durante las lecturas del segundo registro, se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 14:10:09 (Fig. 5.15) y finaliza a las 15:14:47 (Fig. 5.16), es decir, la duración total del segundo registro es de 1:04:38.

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						
Fecha	Hora	V1	I1					
25/06/2013	14:10:07	0 V	0 mA					
25/06/2013	14:10:08	0 V	0 mA					
25/06/2013	14:10:09	74,5 V	10 A					
25/06/2013	14:10:10	96,7 V	4,835 A					
25/06/2013	14:10:11	99,7 V	4,314 A					
25/06/2013	14:10:12	99,3 V	4,316 A					
25/06/2013	14:10:13	99,2 V	4,32 A					

Figura 5.15. Segundo Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						
Fecha	Hora	V1	I1					
25/06/2013	15:14:44	102,3 V	4,193 A					
25/06/2013	15:14:45	102,4 V	4,194 A					
25/06/2013	15:14:46	102,7 V	4,186 A					
25/06/2013	15:14:47	78,2 V	3,155 A					
25/06/2013	15:14:48	0 V	0 mA					
25/06/2013	15:14:49	0 V	0 mA					

Figura 5.16. Segundo Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el segundo registro, se observa un nivel de tensión de 74,5 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -32,27 %. Además, los niveles de tensión varían entre 96,7 VAC y 102,3 VAC, lo que permite definir un índice de calidad que varía entre -12,09% y -7%. Los índices de calidad, están excediendo el porcentaje permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial durante el inicio de funcionamiento, posteriormente, disminuye a límites permitidos.

La tensión media visualizada 101.2 VAC durante el segundo registro, permite calcular el índice de calidad de -8%, es decir, está en el límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el segundo registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,937 (Fig. 5.17), es decir, se encuentra dentro del límite permitido de 0,92.

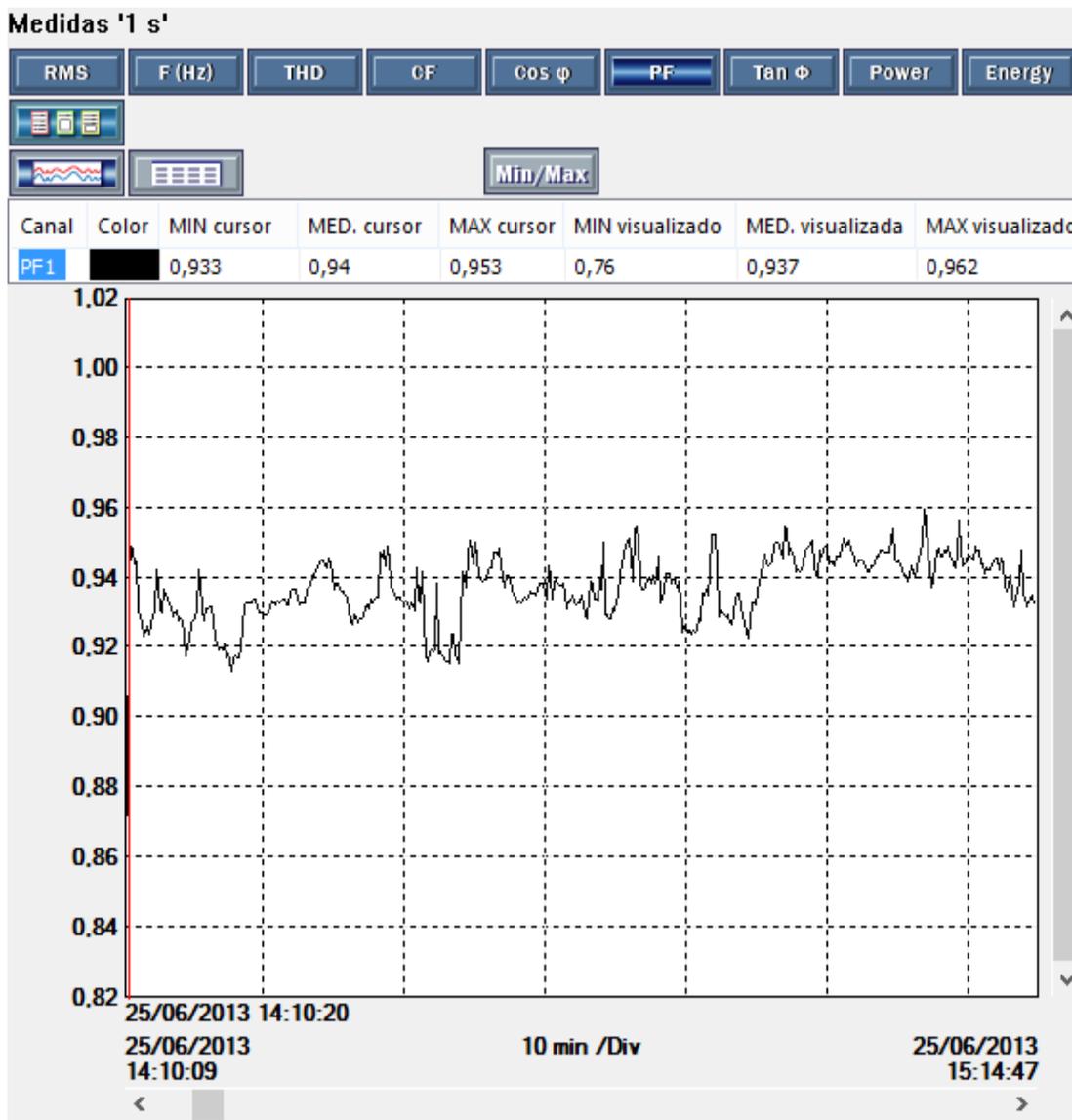


Figura 5.17. Segundo Registro – Factor de Potencia

También existen varios registros del Factor de potencia que disminuyen de lo permitido, el mínimo visualizado es de 0,76.

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba en su segundo registro (Fig. 5.18), se

pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es 4,39% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 13,38% (fuera del límite establecido).

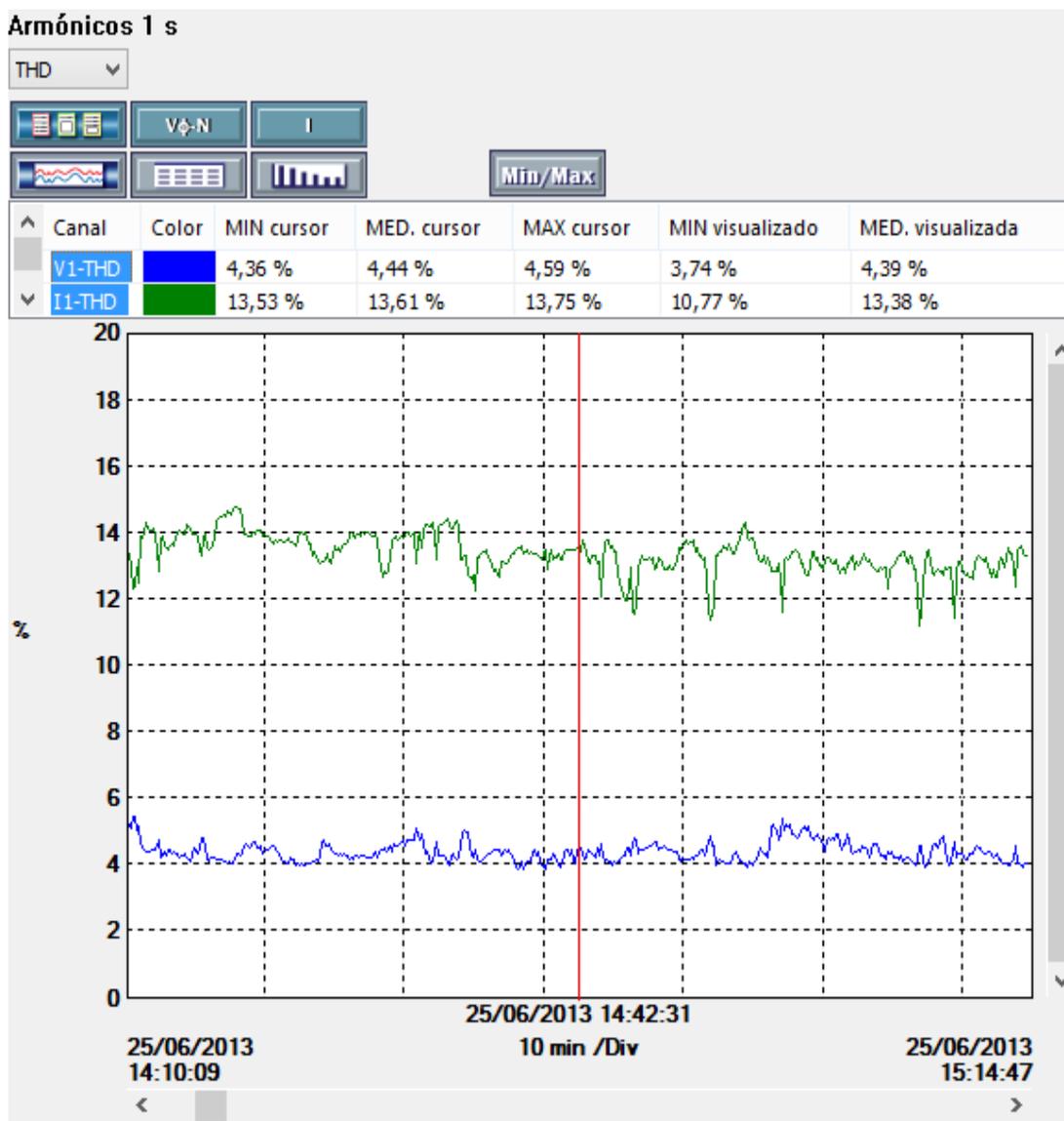


Figura 5.18. Distorsión Armónica Total THD durante el Segundo Registro

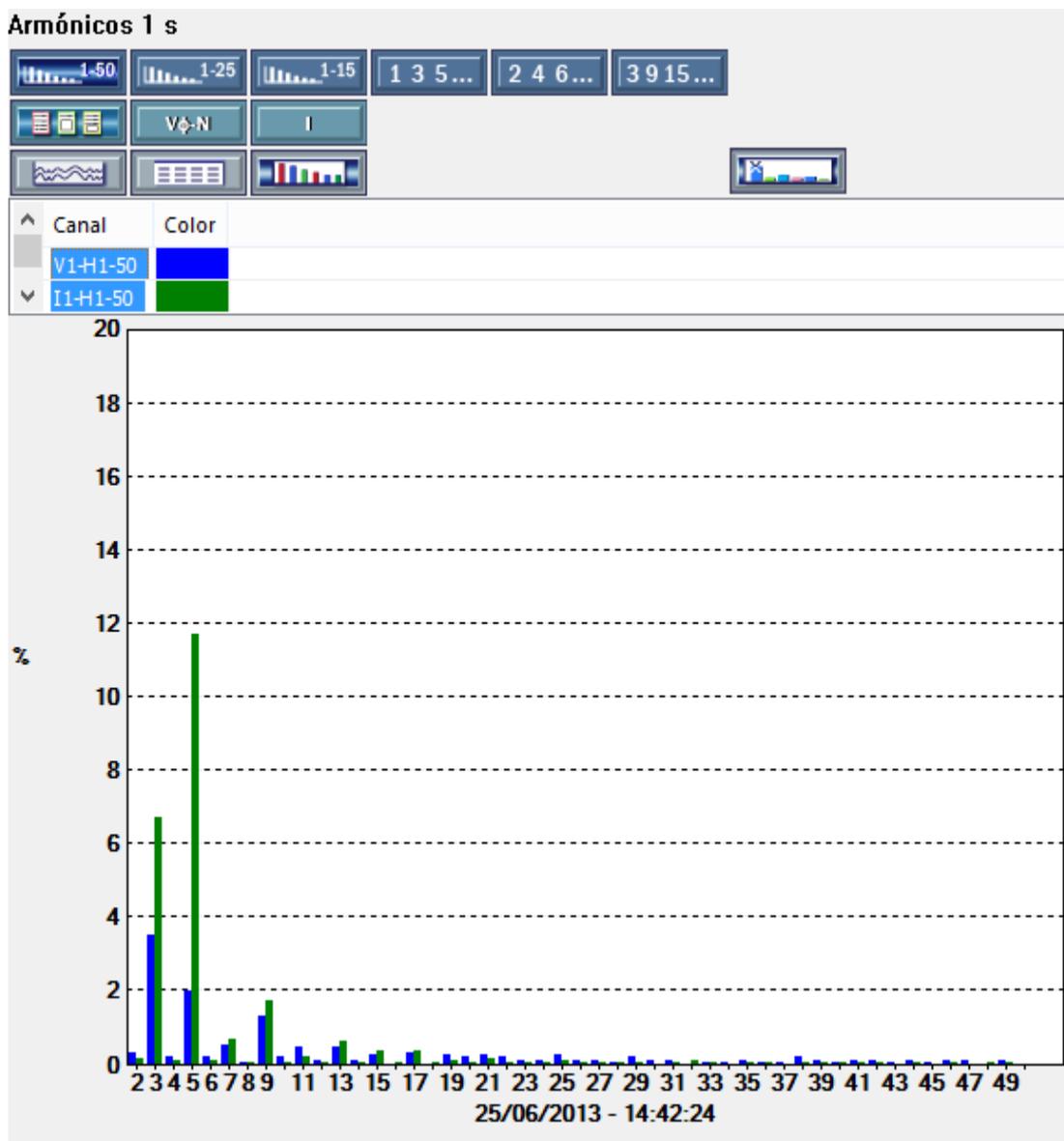


Figura 5.19. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.19, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

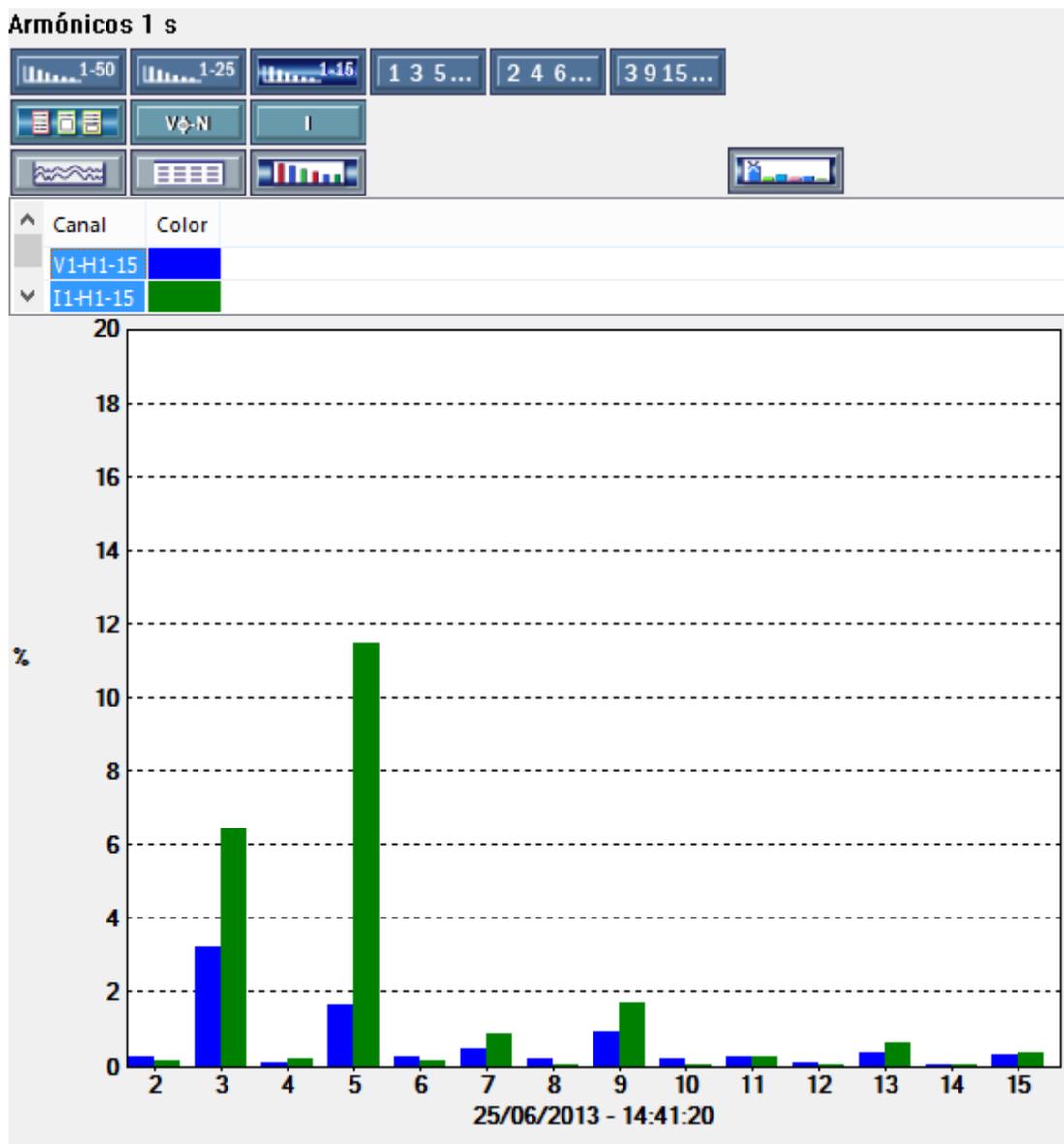


Figura 5.20. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el segundo encendido de la bomba del sitio N° 1, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.14 y Tabla 5.15

Tabla 5.14. Análisis de la distorsión de Tensión para el Segundo Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	3.56	4.39
CUMPLIMIENTO	SI	SI

Tabla 5.15. Límites para distorsión de corriente para el Segundo Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	6.25	0.65	0.35	0.11	0.04	13.38
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en este arranque de la bomba. Debido a esto es necesario corregir el THD y orden de los armónicos entre $3 \leq h < 11$ en intensidad de corriente ya que no cumple con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector. Los armónicos entre $3 \leq h \leq 50$ están dentro de los parámetros establecidos por la normativa IEEE (Tabla 5.15).

5.3.1.3. SITIO DE ESTUDIO Nº 1 – TERCER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.21, que corresponde al tercer encendido de la bomba, es decir, el tercer registro de funcionamiento de la bomba es a las 20:47 de la noche.

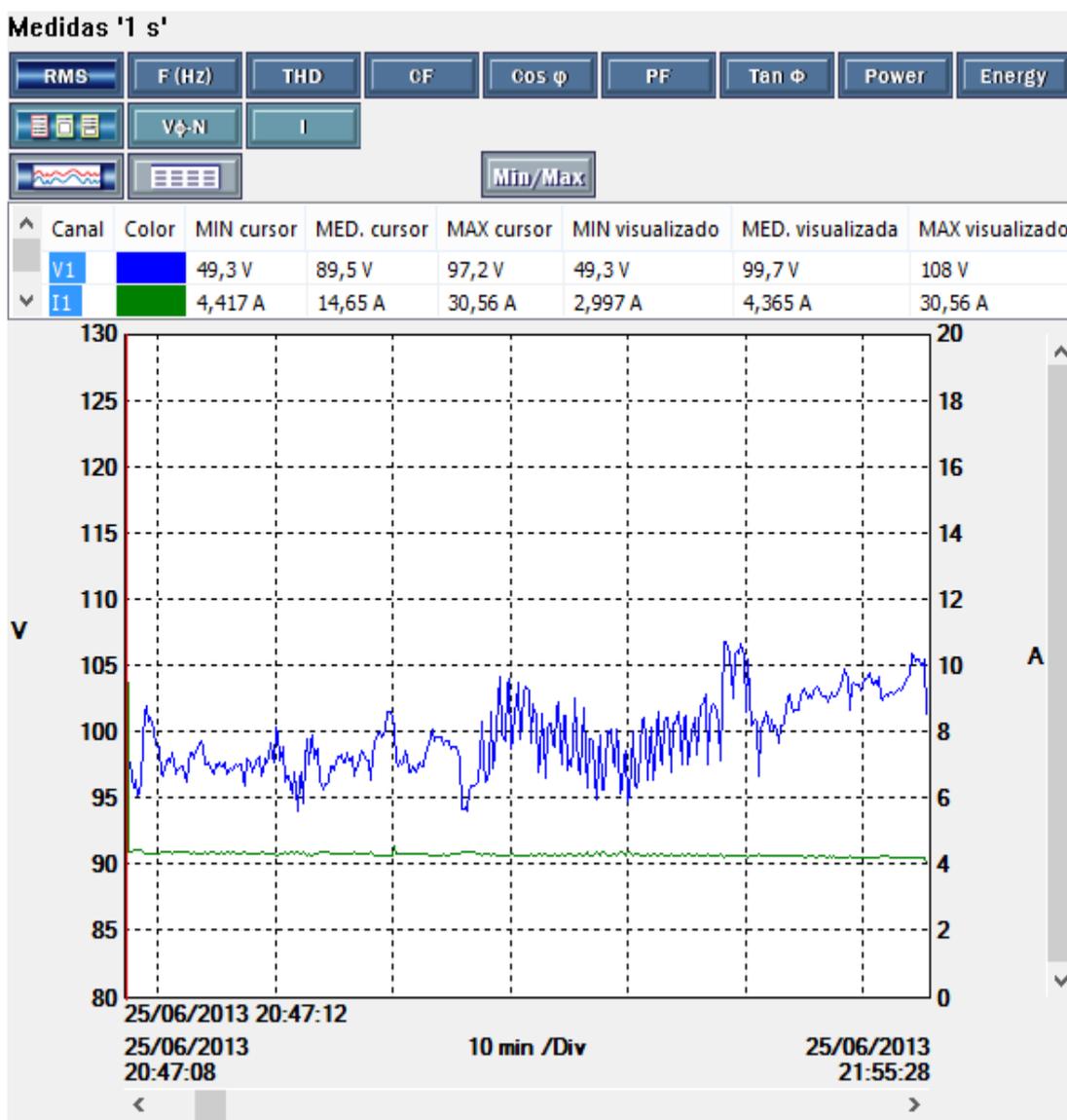


Figura 5.21. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Tercer Registro

Durante las lecturas del tercer registro se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 20:47:08 (Fig. 5.22) y finaliza a las 21:55:28 (Fig. 5.23), es decir, la duración total del tercer registro es de 1:08:20

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
V ϕ -N		I						
[Waveform]		[Table]						
Fecha	Hora	V1	I1					
25/06/2013	20:47:06	0 V	0 mA					
25/06/2013	20:47:07	0 V	0 mA					
25/06/2013	20:47:08	49,3 V	9,004 A					
25/06/2013	20:47:09	96,5 V	30,56 A					
25/06/2013	20:47:10	97,2 V	4,424 A					
25/06/2013	20:47:11	97,1 V	4,417 A					
25/06/2013	20:47:12	97 V	4,418 A					

Figura 5.22. Tercer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
V ϕ -N		I						
[Waveform]		[Table]						
Fecha	Hora	V1	I1					
25/06/2013	21:55:25	105,4 V	4,242 A					
25/06/2013	21:55:26	105,5 V	4,249 A					
25/06/2013	21:55:27	105,5 V	4,24 A					
25/06/2013	21:55:28	75,8 V	2,997 A					
25/06/2013	21:55:29	0 V	0 mA					
25/06/2013	21:55:30	0 V	0 mA					

Figura 5.23. Tercer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el tercer registro, se observa un nivel de tensión de 49,3 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -55,18 %. Además, los niveles de tensión varían entre 96,5 VAC y 105,4 VAC, lo que permite definir un índice de calidad que varía entre -12,27% y -4,18%. Los índices de calidad, están excediendo el porcentaje permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial durante el inicio de funcionamiento, posteriormente, disminuye a límites permitidos.

La tensión media visualizada 99,7 VAC durante el tercer registro, permite calcular el índice de calidad de -9,36%, es decir, está sobre el límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el tercer registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,937 (Fig. 5.24), es decir, se encuentra dentro del límite permitido de 0,92.

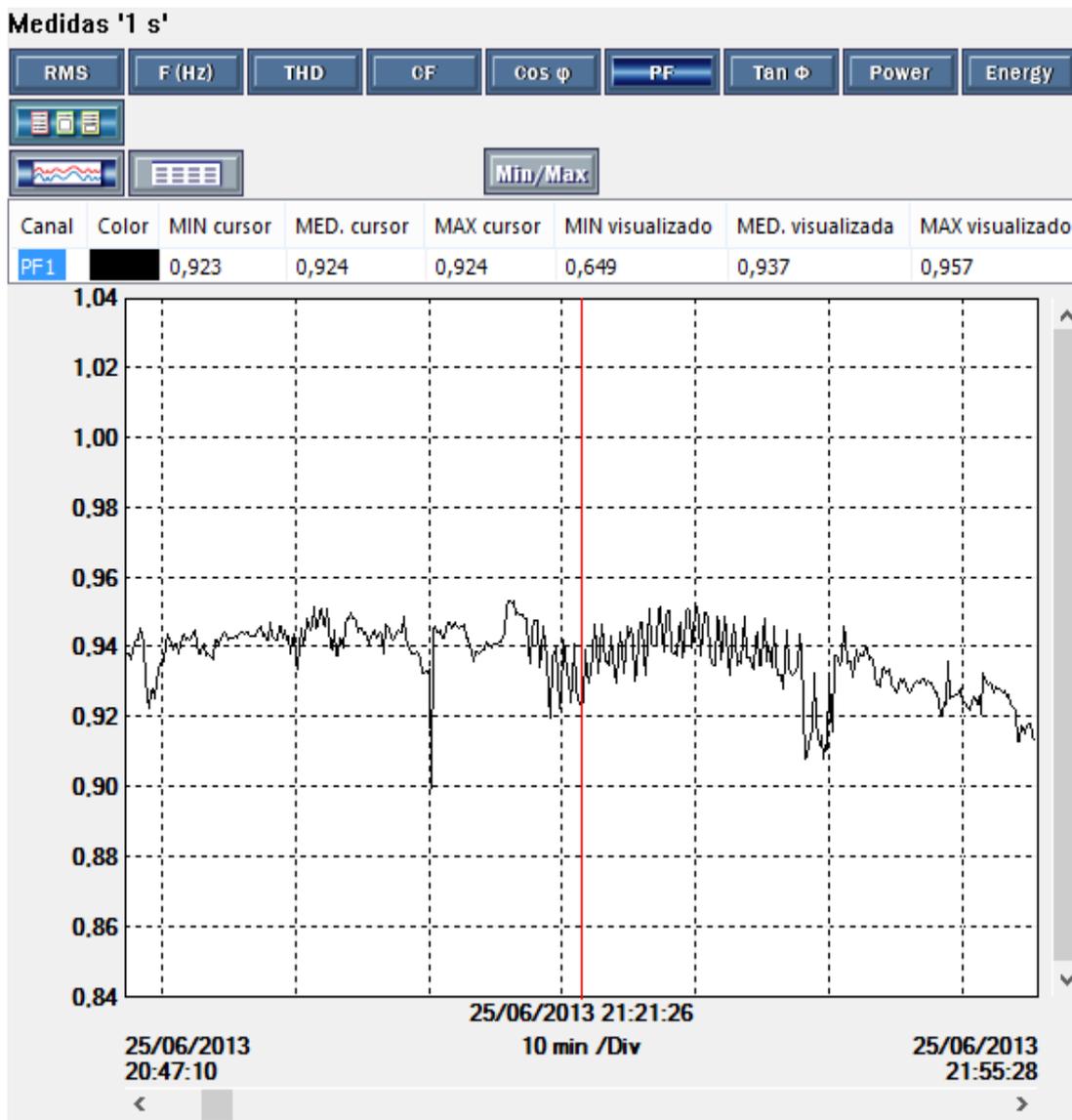


Figura 5.24. Tercer Registro – Factor de Potencia

También existen varios registros del Factor de potencia que disminuyen de lo permitido, el mínimo visualizado es de 0,649.

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba en su tercer registro (Fig. 5.25), se pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es 7,41% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 21.58% (fuera del límite establecido).

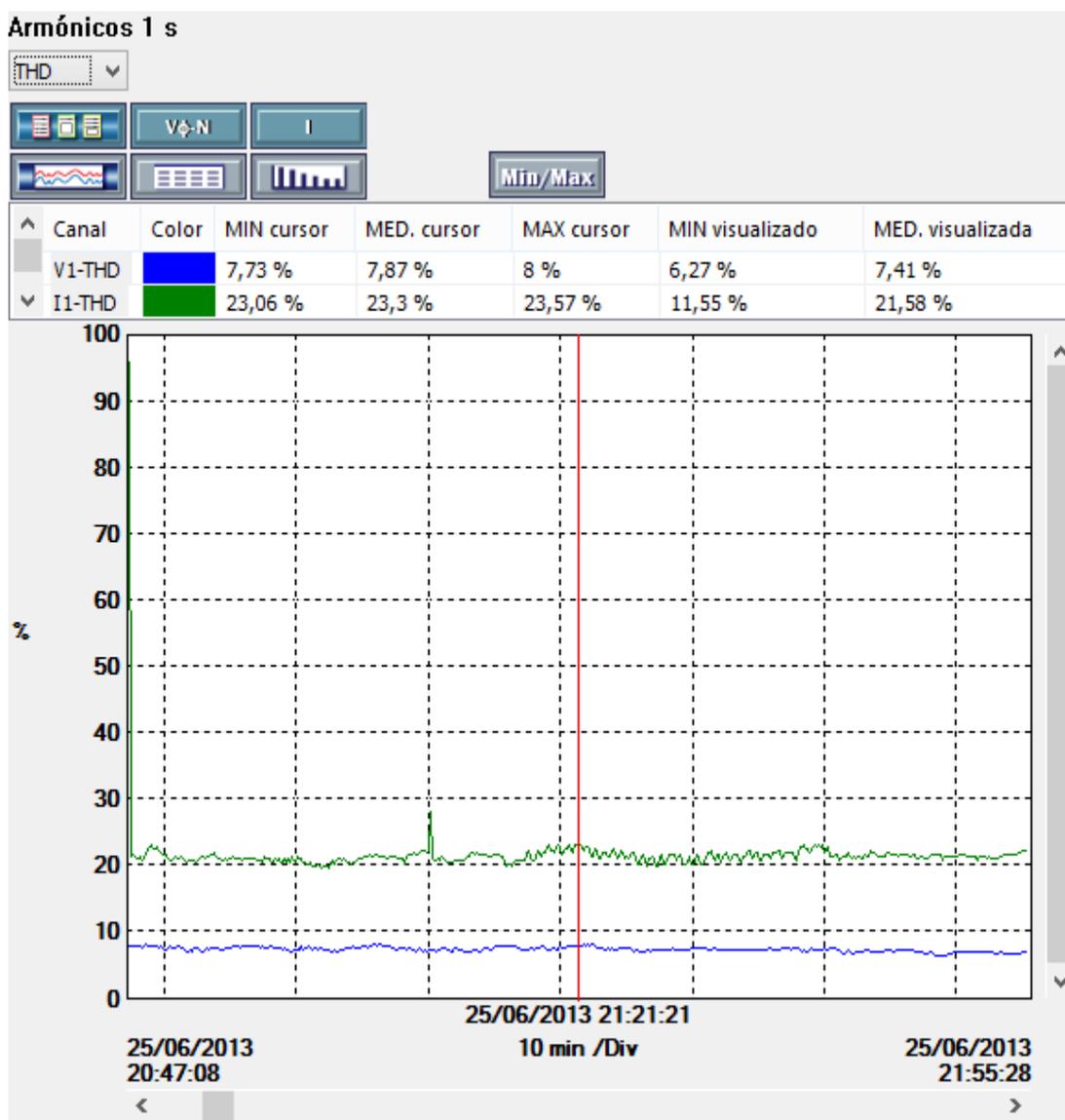


Figura 5.25. Distorsión Armónica Total THD durante el Tercer Registro

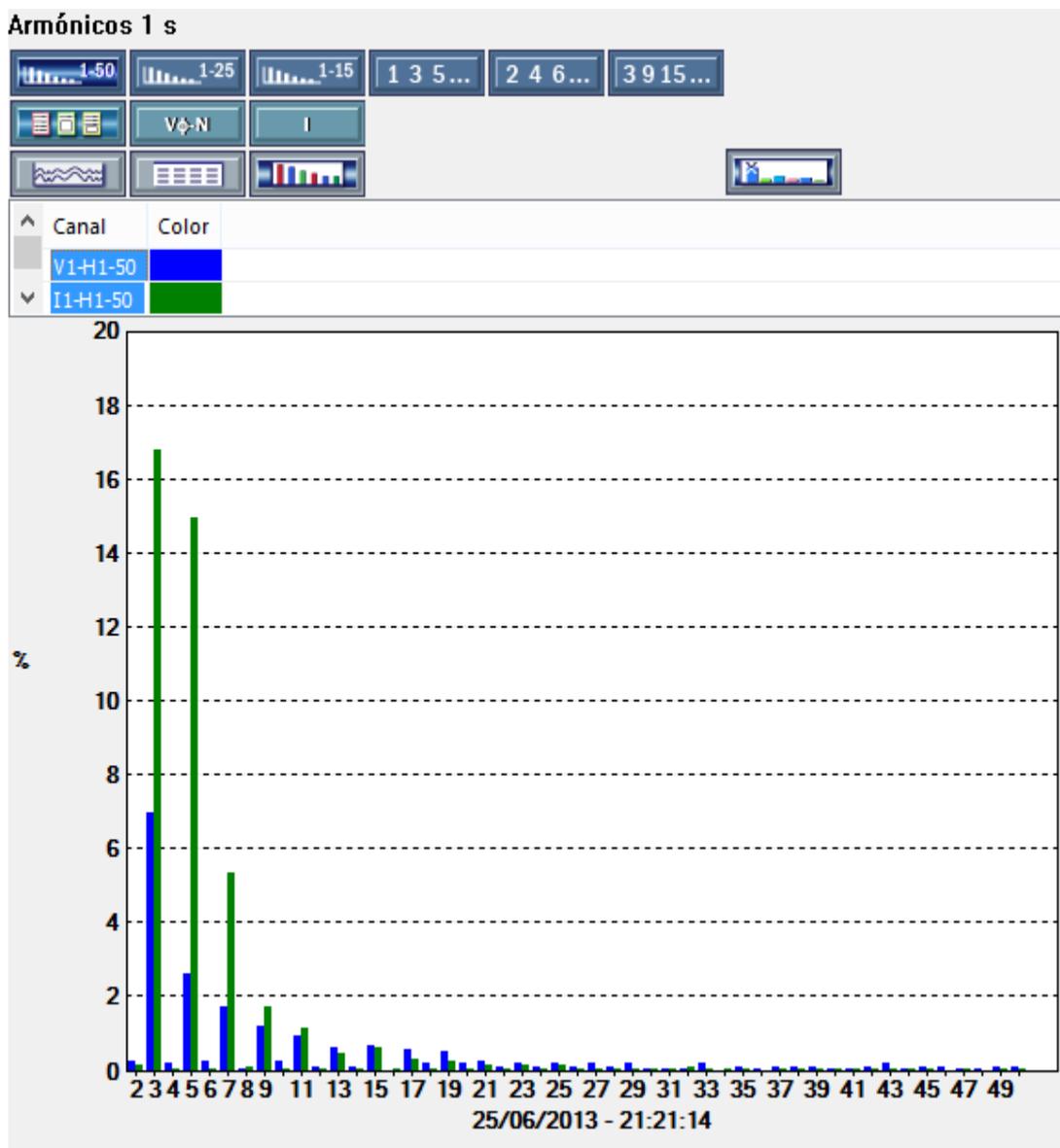


Figura 5.26. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.26, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

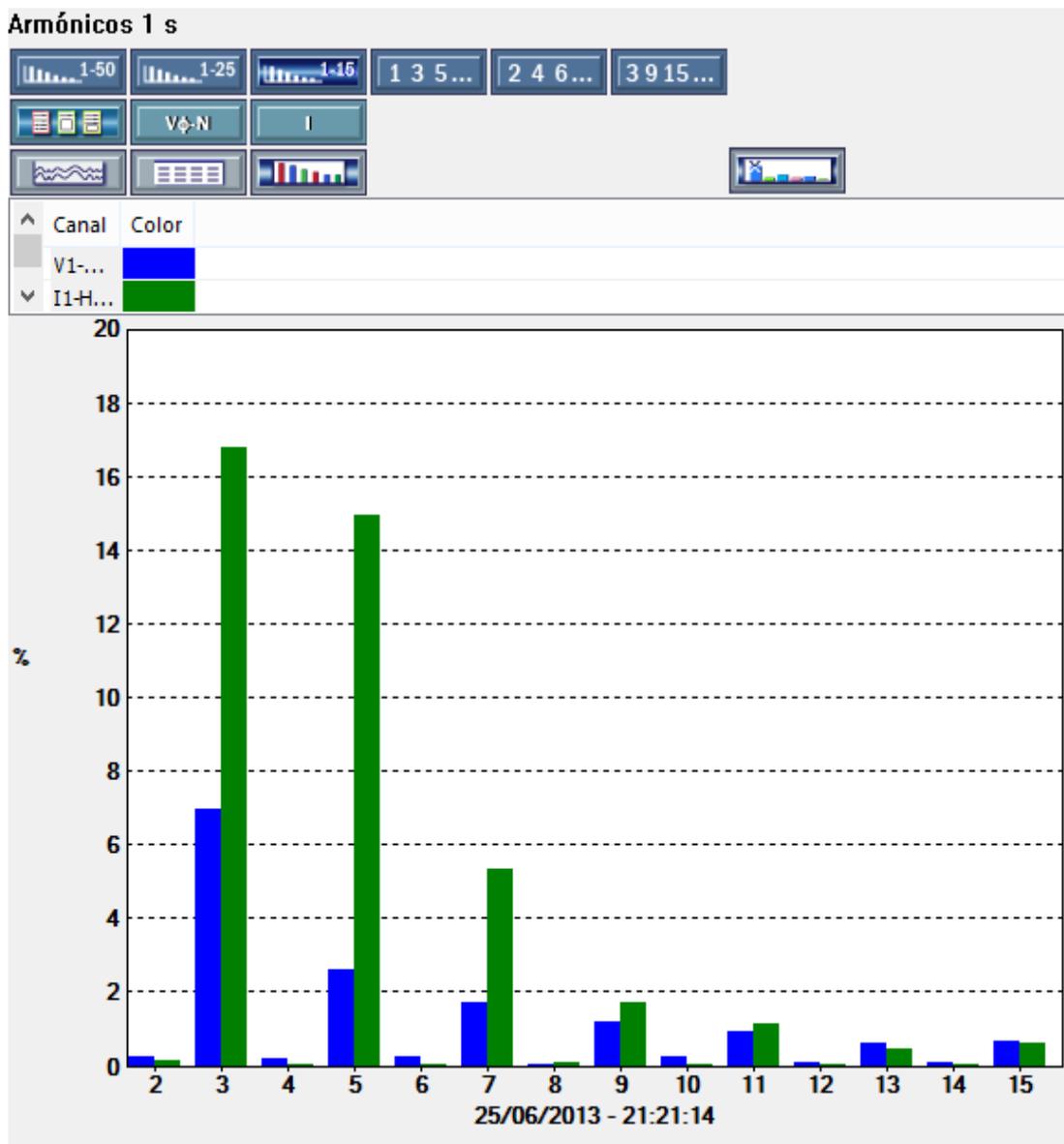


Figura 5.27. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el tercer encendido de la bomba del sitio N° 1, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.16 y Tabla 5.17

Tabla 5.16. Análisis de la distorsión de Tensión para el Tercer Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	6.6	7.41
CUMPLIMIENTO	NO	SI

A nivel de tensión, el armónico individual no cumple con la normativa IEEE y del CONELEC. Se presenta el valor del tercer armónico, debido a que este es el valor más alto registrado durante esta medición.

Tabla 5.17. Límites para distorsión de corriente para el Tercer Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	6.6	0.89	0.33	0.07	0.04	21.57
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en este arranque de la bomba. La distorsión armónica en tensión no cumple en el tercer armónico, es necesario corregir este armónico. En intensidad de corriente el THD y orden de los armónicos entre $3 \leq h < 11$ no cumplen con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector. Los armónicos entre $3 \leq h \leq 50$ están dentro de los parámetros establecidos por la normativa IEEE (Tabla 5.11).

Durante los registros almacenados en 24 horas se puede obtener una tabla resumen de las horas de encendido y apagado de la bomba (Tabla 5.18), donde se ha realizado el cálculo del promedio diario de encendido y el total de horas de funcionamiento de la bomba.

Tabla 5.18. Resumen de encendido y apagado de la bomba

Inicio	Fin	Duración
5:12:41	6:12:06	0:59:25
14:10:09	15:14:47	1:04:38
20:47:08	21:55:28	1:08:20
Total		3:12:23
Promedio		1:04:08

5.3.2. DATOS OBTENIDOS PARA EL SITIO DE ESTUDIO N° 2

Para el sitio de estudio N° 2, se realizó el registro de datos durante 30 días aproximadamente. En la Fig. 5.28 se puede observar los niveles de tensión (V) y corriente (I) almacenados durante los 30 días que duró las mediciones.

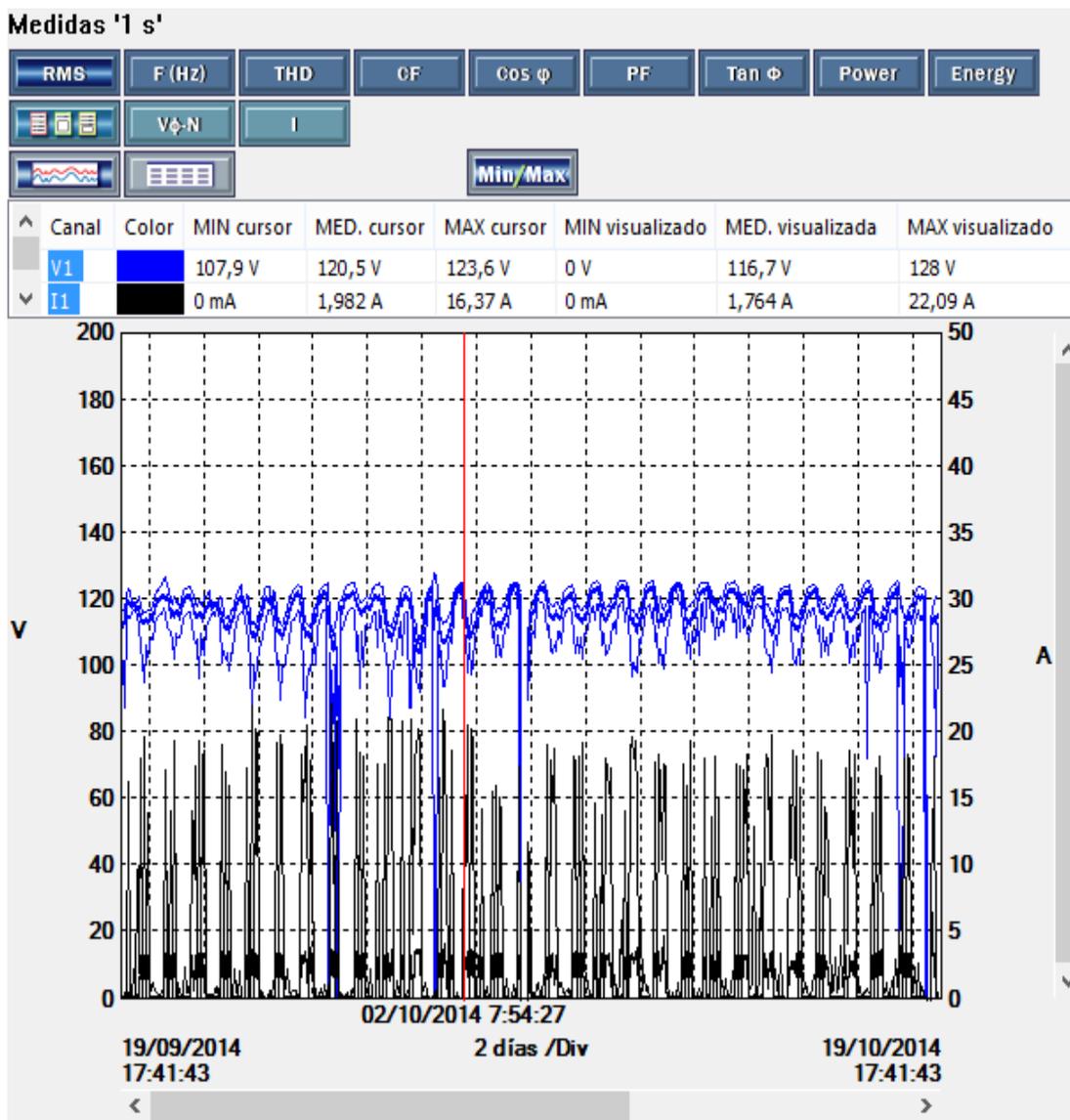


Figura 5.28. Registro de tendencias de “V” y “I” durante 30 días

En la Fig. 5.29 se puede observar los datos de potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y potencia aparente (S) almacenados durante los 30 días que duró las mediciones, se observan varios picos de potencia que representan el momento que entra y sale de operación la bomba de agua.

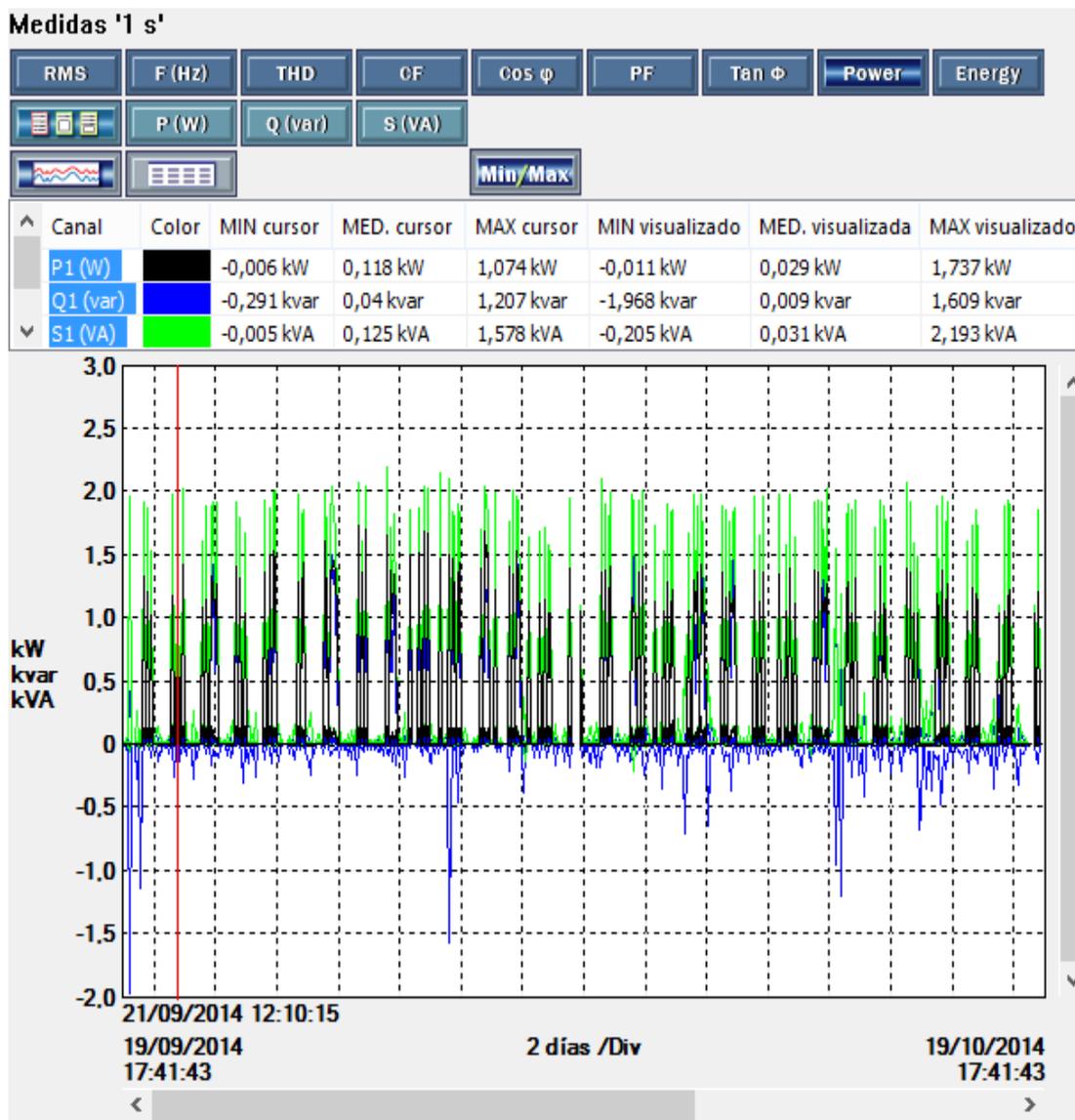


Figura 5.29. Registro de tendencias de “P”, “Q” y “S” durante 30 días

En la Fig. 5.30 se registraron las tendencias de Energía durante 30 días y se puede apreciar que el consumo de energía eléctrica es de 19.92 KWh.

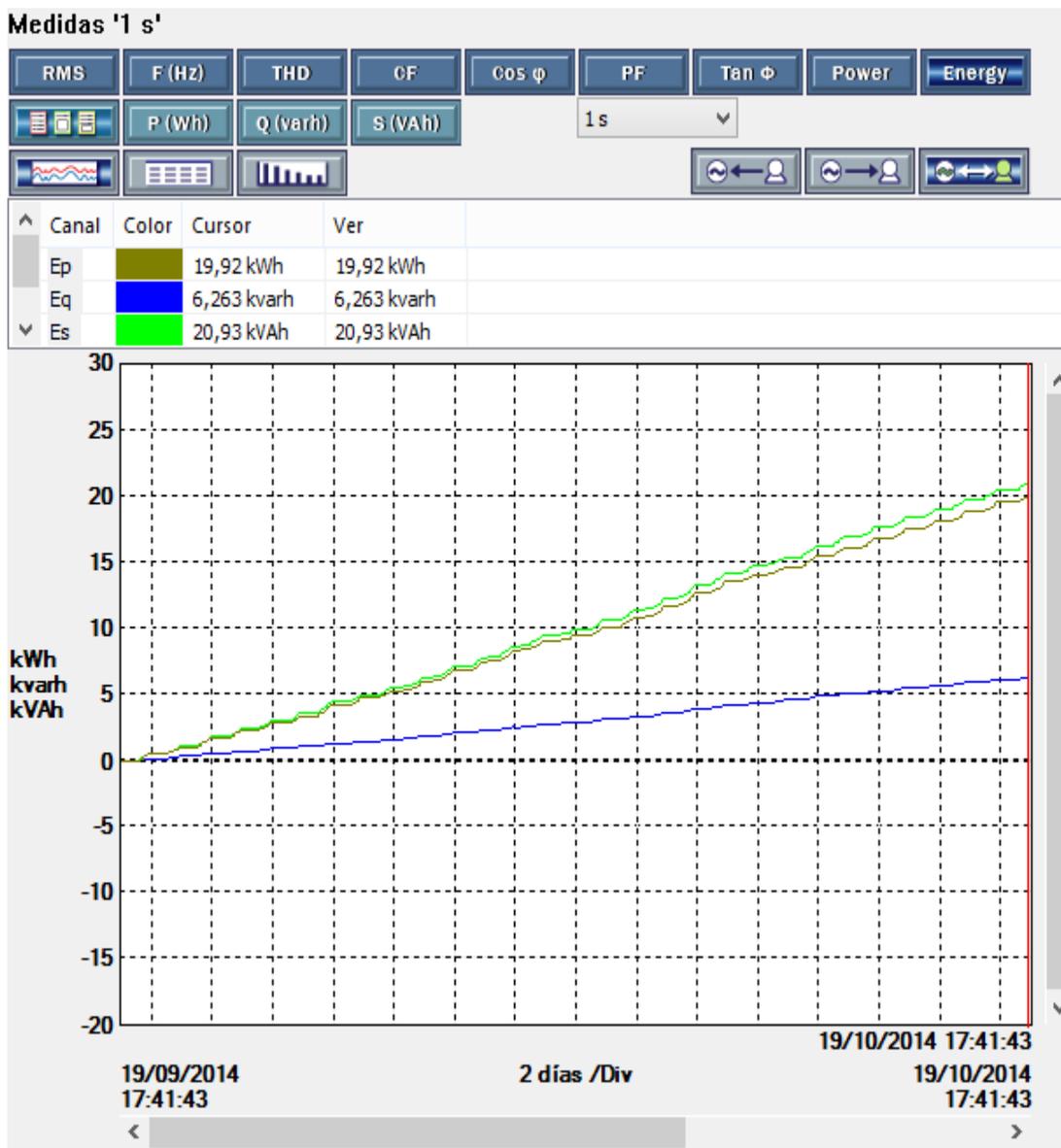


Figura 5.30. Registro de tendencias de Energía durante 30 días

Se puede observar en la Fig. 5.30, que el incremento de potencia es lineal, debido a que, se encuentra conectada una carga inductiva (bomba de agua) y en promedio, consume a diario una cantidad similar de energía.

Se pueden analizar los niveles de tensión y corriente en la Fig. 5.31 durante 24 horas, donde se observa que se han producido 4 encendidos de las bombas tradicionales de AC.

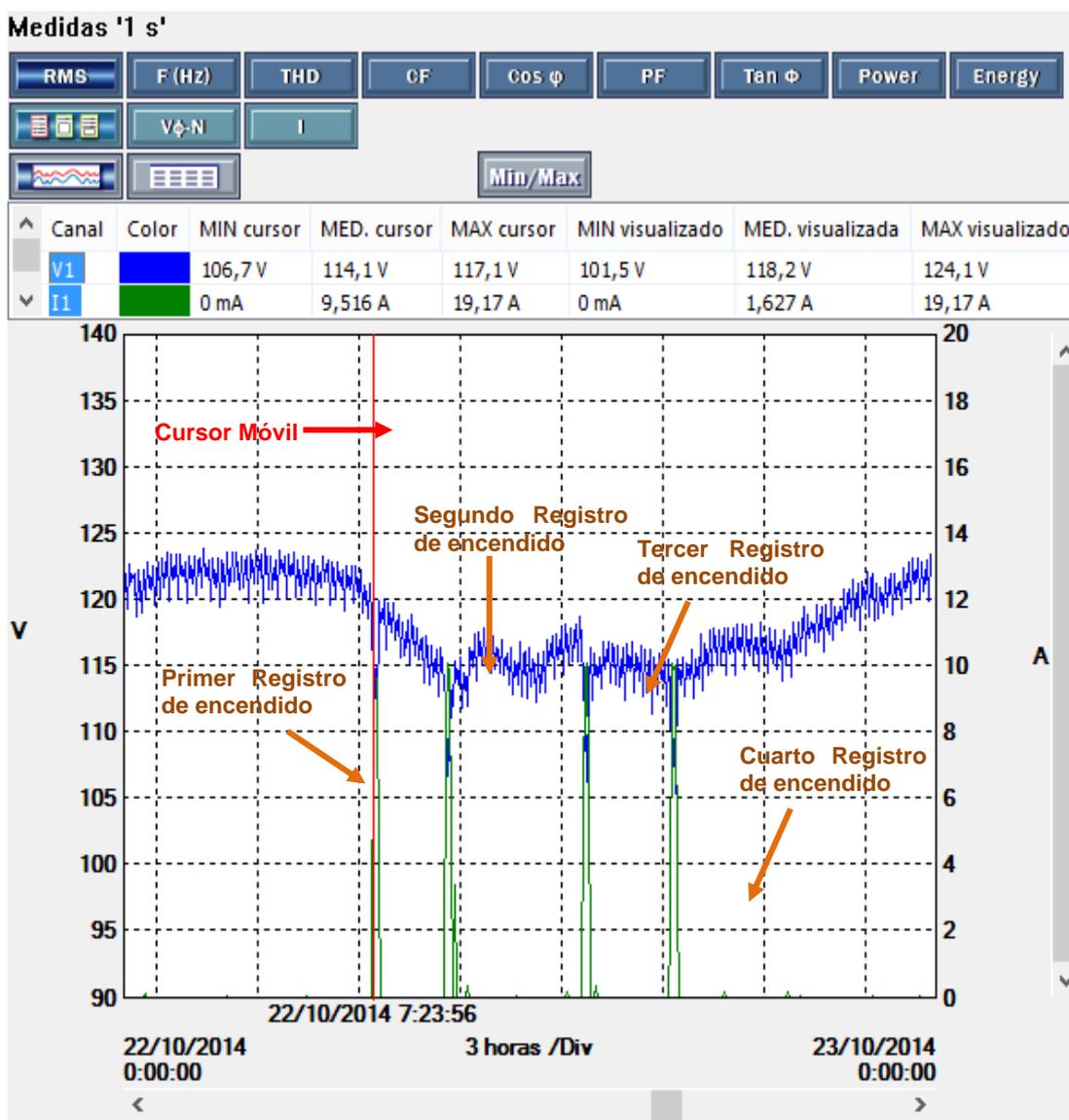


Figura 5.31. Registro de tendencias de "V" y "I" durante 24 horas

5.3.2.1. SITIO DE ESTUDIO N° 2 – PRIMER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.32, que corresponde al primer encendido de la bomba, es decir, el primer registro de funcionamiento de la bomba es a las 7:20 de la mañana.

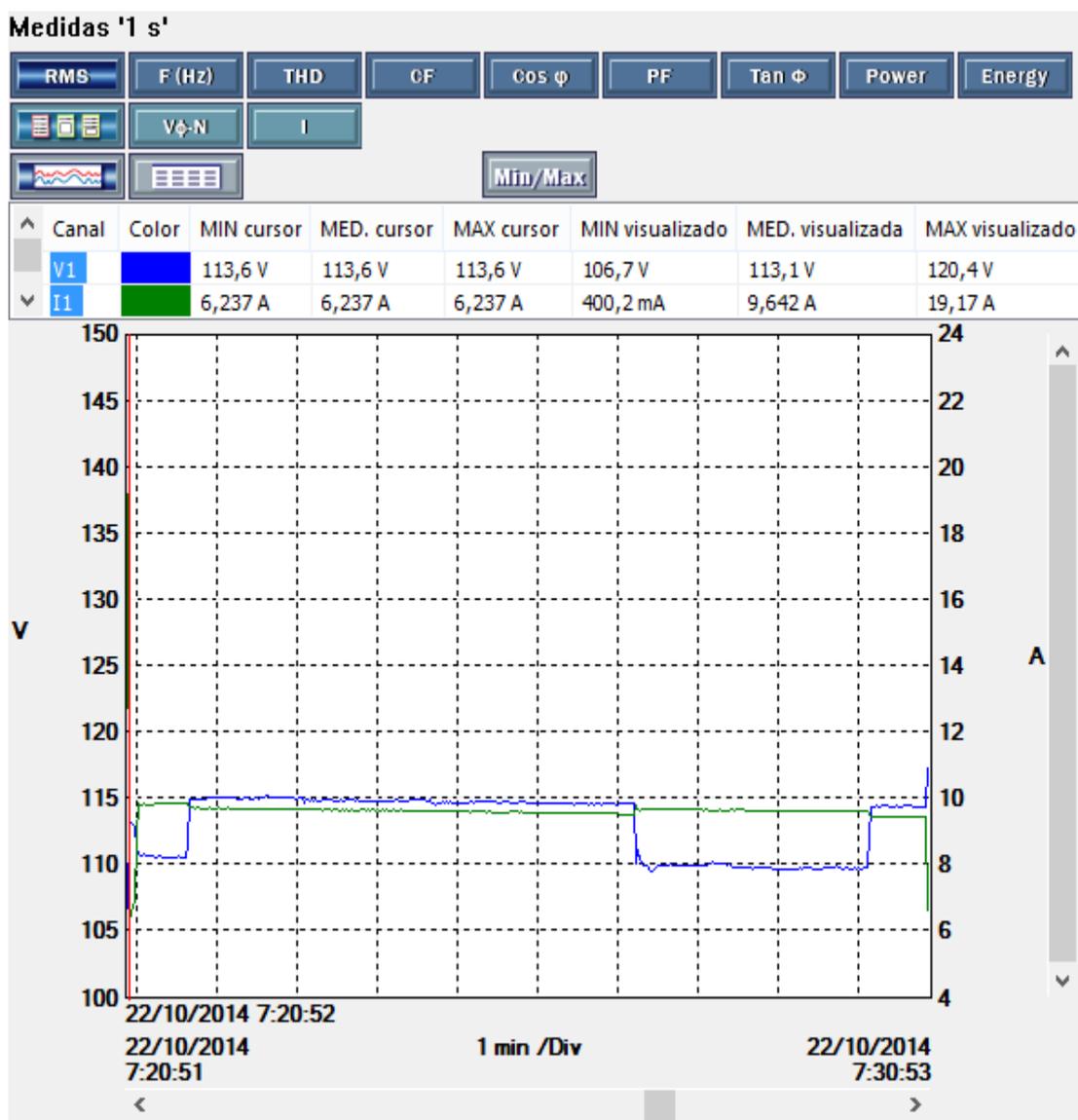


Figura 5.32. Registro de tendencias de "V" e "I" durante el Tercer Registro

Durante las lecturas del primer registro, se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 7:20:51 (Fig. 5.33) y finaliza a las 7:30:53 (Fig. 5.34), es decir, la duración total del primer registro es de 0:10:02

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	OF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						

Fecha	Hora	V1	I1
22/10/2014	7:20:49	117,1 V	0 mA
22/10/2014	7:20:50	117,1 V	0 mA
22/10/2014	7:20:51	106,7 V	19,17 A
22/10/2014	7:20:52	113,6 V	6,237 A
22/10/2014	7:20:53	113,2 V	6,561 A
22/10/2014	7:20:54	113,1 V	6,681 A

Figura 5.33. Primer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	OF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						

Fecha	Hora	V1	I1
22/10/2014	7:30:50	114,3 V	9,437 A
22/10/2014	7:30:51	114,3 V	9,441 A
22/10/2014	7:30:52	114,5 V	9,324 A
22/10/2014	7:30:53	120,4 V	400,2 mA
22/10/2014	7:30:54	120,4 V	0 mA
22/10/2014	7:30:55	120,3 V	0 mA

Figura 5.34. Primer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el primer registro, se observa un nivel de tensión de 106,7 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -3,0%. Además, los niveles de tensión varían entre 113,1 VAC y 114,3 VAC, lo que permite definir un índice de calidad que varía entre +2,81% y +3,9%. Los índices de calidad, están dentro el porcentaje permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

La tensión media visualizada 113,1 VAC durante el tercer registro, permite calcular el índice de calidad de +2,81%, es decir, está dentro del límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el primer registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,945 (Fig. 5.35), es decir, se encuentra sobre el mínimo permitido de 0,92.

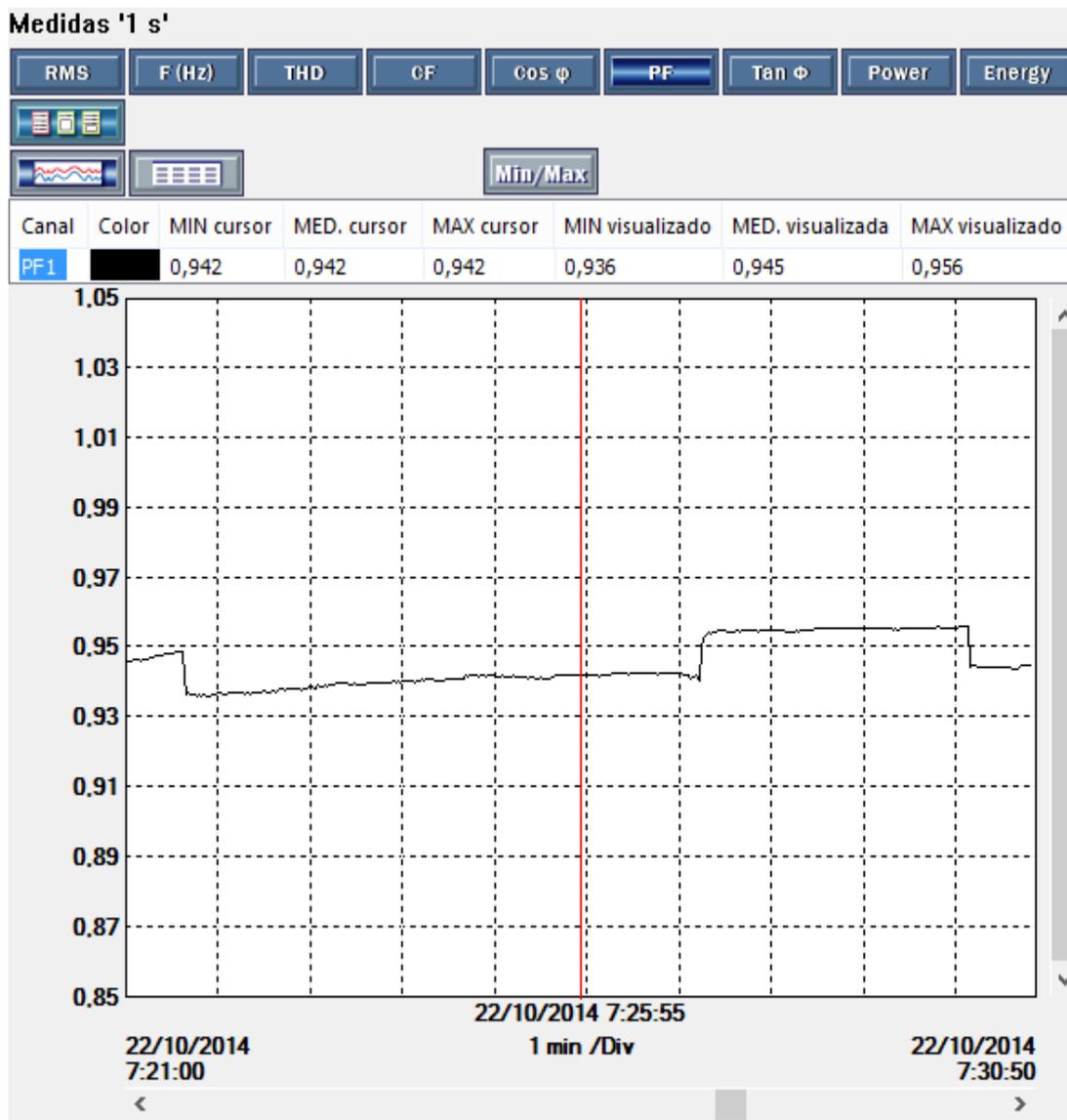


Figura 5.35. Primer Registro – Factor de Potencia

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba durante su primer registro (Fig. 5.36), se pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es 1,85% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 9.65% (fuera del límite establecido).

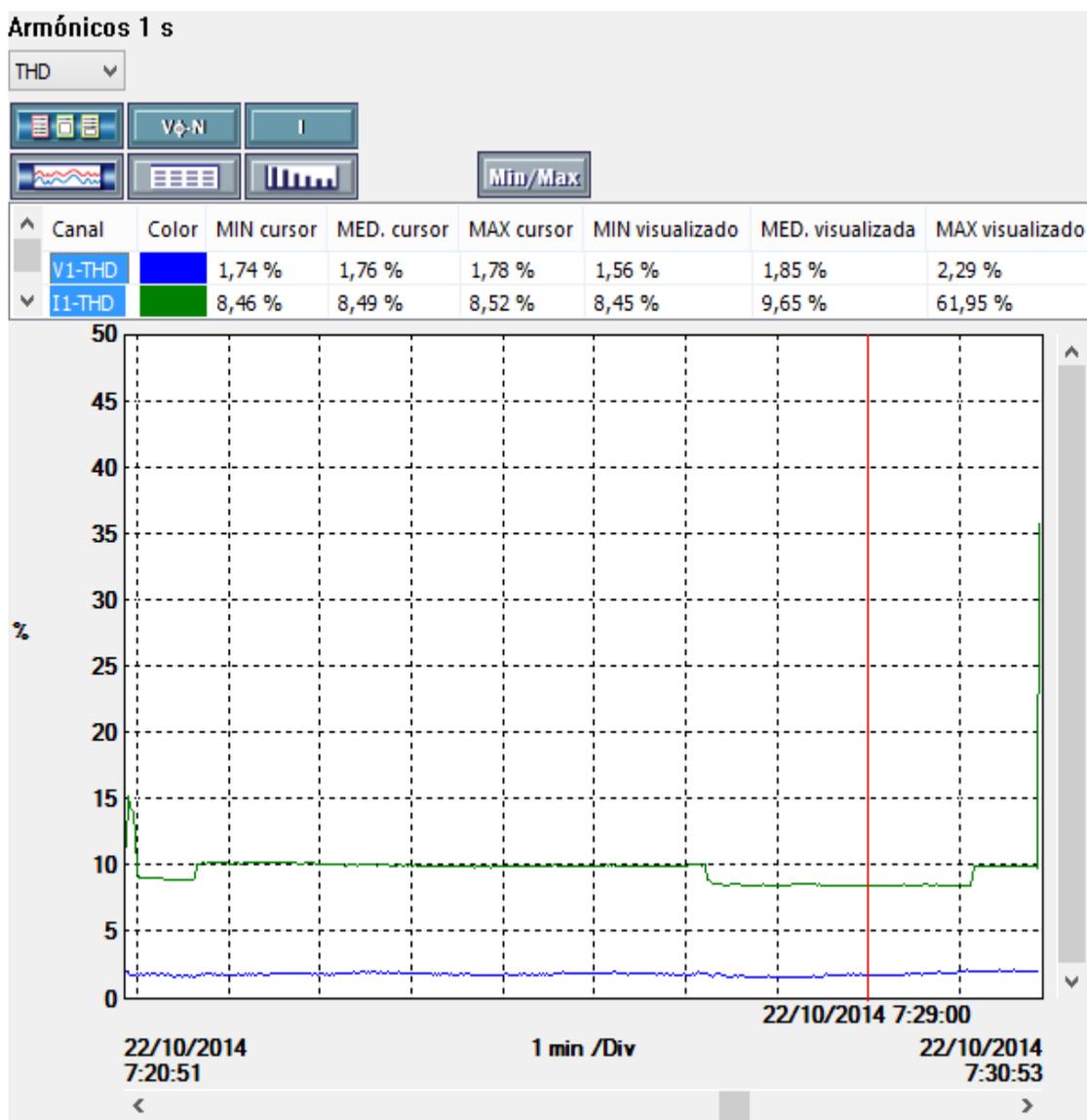


Figura 5.36. Distorsión Armónica Total THD durante Primer Registro

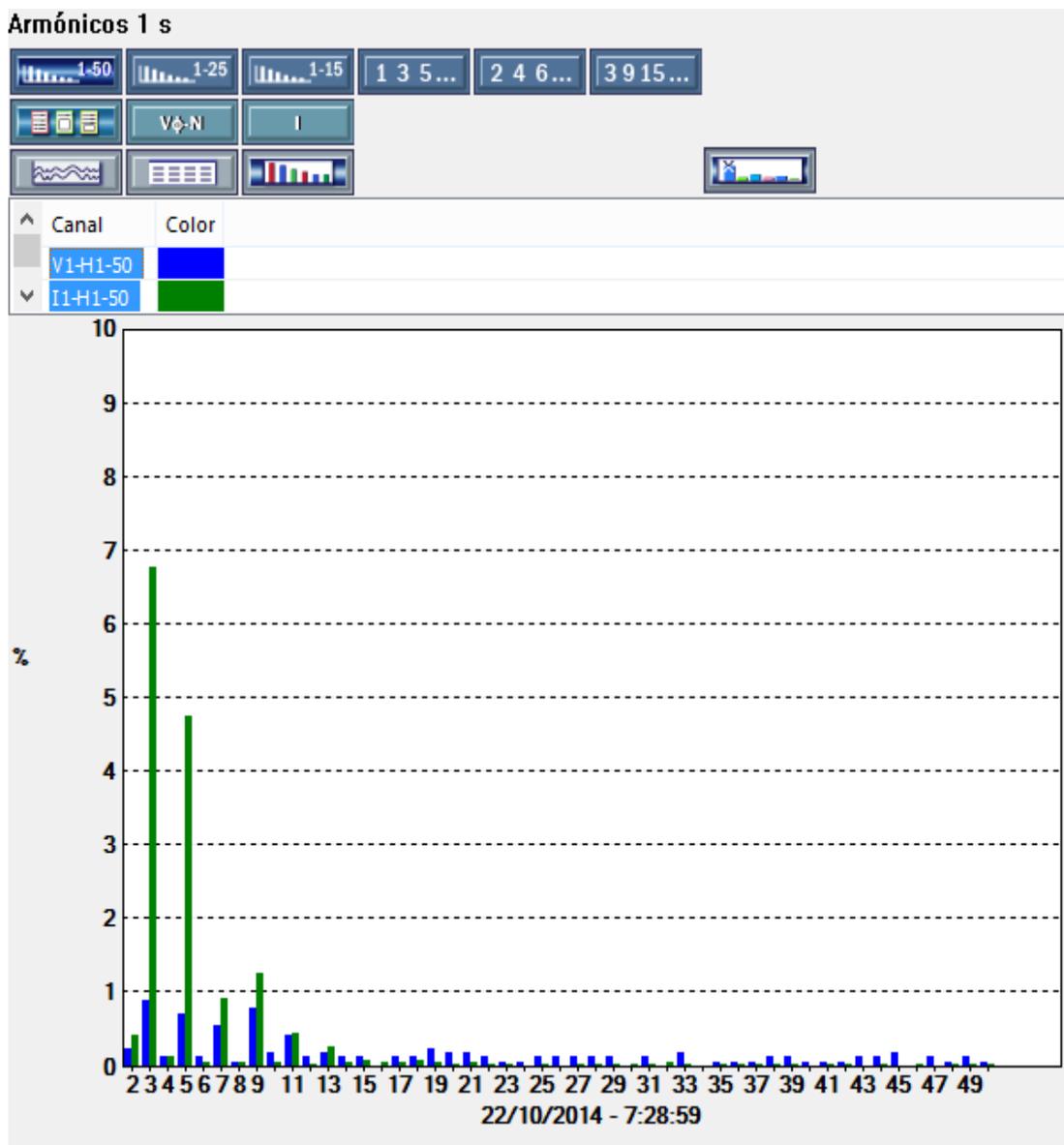


Figura 5.37. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.37, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

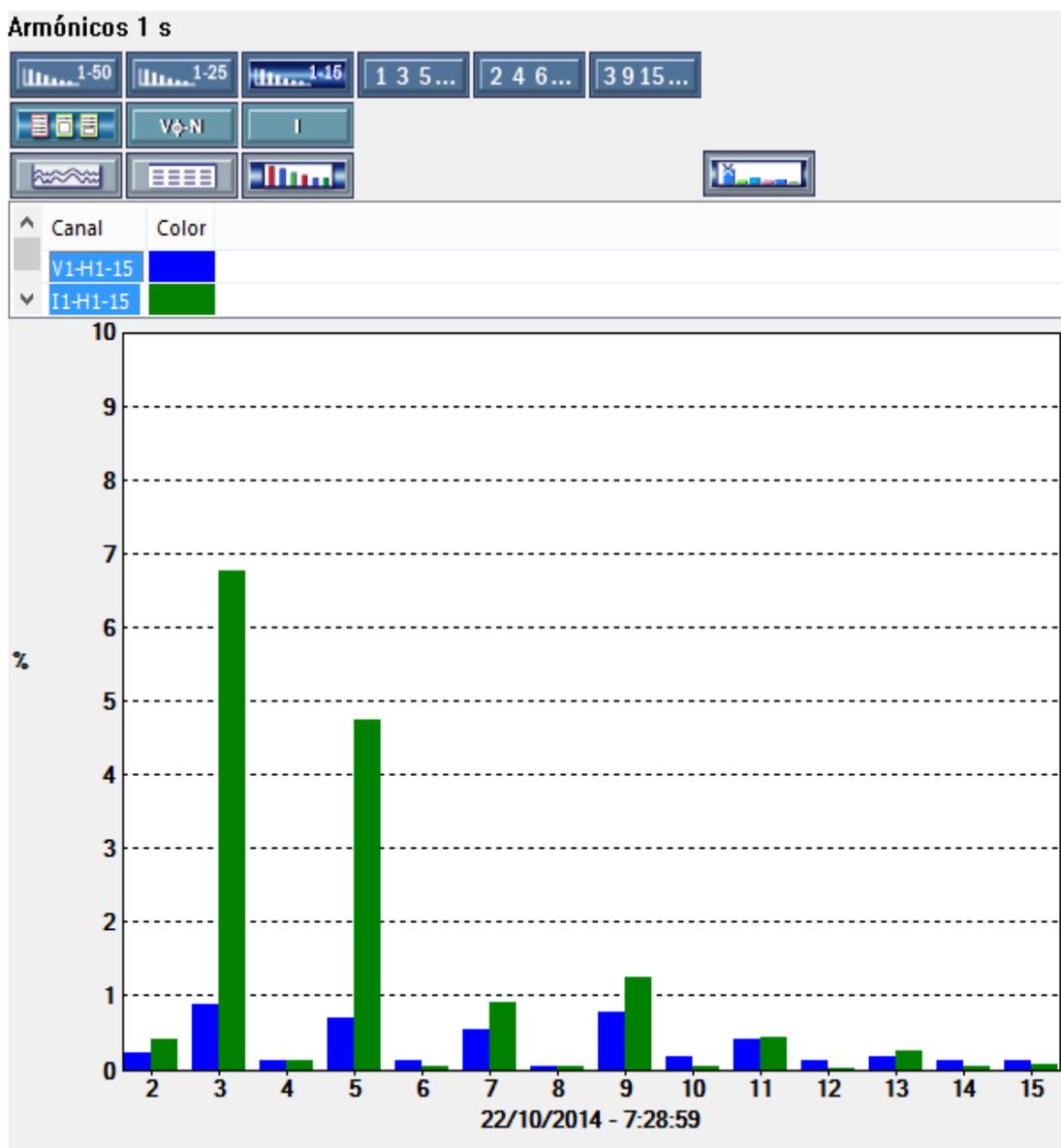


Figura 5.38. Armónicos durante Primer Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el primer encendido de la bomba del sitio N° 2, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.19 y Tabla 5.20

Tabla 5.19. Análisis de la distorsión de Tensión para el Primer Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	0.89	1.85
CUMPLIMIENTO	SI	SI

Tabla 5.20. Límites para distorsión de corriente para el Primer Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	6.78	0.45	0.05	0.03	0.02	9.65
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en este arranque de la bomba. La distorsión armónica en tensión si cumple en todos los armónicos con la normativa del CONELEC (Tabla 5.10) y no es necesario corregir este armónico. En intensidad de corriente el THD y orden de los armónicos entre $3 \leq h < 11$ no cumplen con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector. Los armónicos entre $3 \leq h \leq 50$ están dentro de los parámetros establecidos por la normativa IEEE (Tabla 5.11).

5.3.2.2. SITIO DE ESTUDIO N° 2 – SEGUNDO REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.39, que corresponde al segundo encendido de la bomba, es decir, el segundo registro de funcionamiento de la bomba es a las 09:30 de la mañana.



Figura 5.39. Registro de tendencias de “V” e “I” durante el Segundo Registro

Durante las lecturas del segundo registro, se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 09:30:45 (Fig. 5.40) y finaliza a las 09:40:20 (Fig. 5.41), es decir, la duración total del segundo registro es de 0:09:35

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						

Fecha	Hora	V1	I1
22/10/2014	9:30:43	116,9 V	0 mA
22/10/2014	9:30:44	116,8 V	0 mA
22/10/2014	9:30:45	109,4 V	15,74 A
22/10/2014	9:30:46	112,5 V	9,059 A
22/10/2014	9:30:47	113,5 V	6,177 A
22/10/2014	9:30:48	113,2 V	6,496 A

Figura 5.40. Segundo Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						

Fecha	Hora	V1	I1
22/10/2014	9:40:17	109,2 V	9,665 A
22/10/2014	9:40:18	109,2 V	9,672 A
22/10/2014	9:40:19	109,3 V	9,679 A
22/10/2014	9:40:20	112,8 V	6,44 A
22/10/2014	9:40:21	115,6 V	0 mA
22/10/2014	9:40:22	115,6 V	0 mA

Figura 5.41. Segundo Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el segundo registro, se observa un nivel de tensión de 109,4 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -0,54 %. Además, los niveles de tensión varían entre 112,5 VAC y 109,2 VAC, lo que permite definir un índice de calidad que varía entre +2,27% y -0,72%. Los índices de calidad, están excediendo el porcentaje permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

La tensión media visualizada 108,7 VAC durante el segundo registro, permite calcular el índice de calidad de -1,18%, es decir, está en el límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el segundo registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,956 (Fig. 5.42), es decir, se encuentra con un valor superior al mínimo permitido de 0,92.

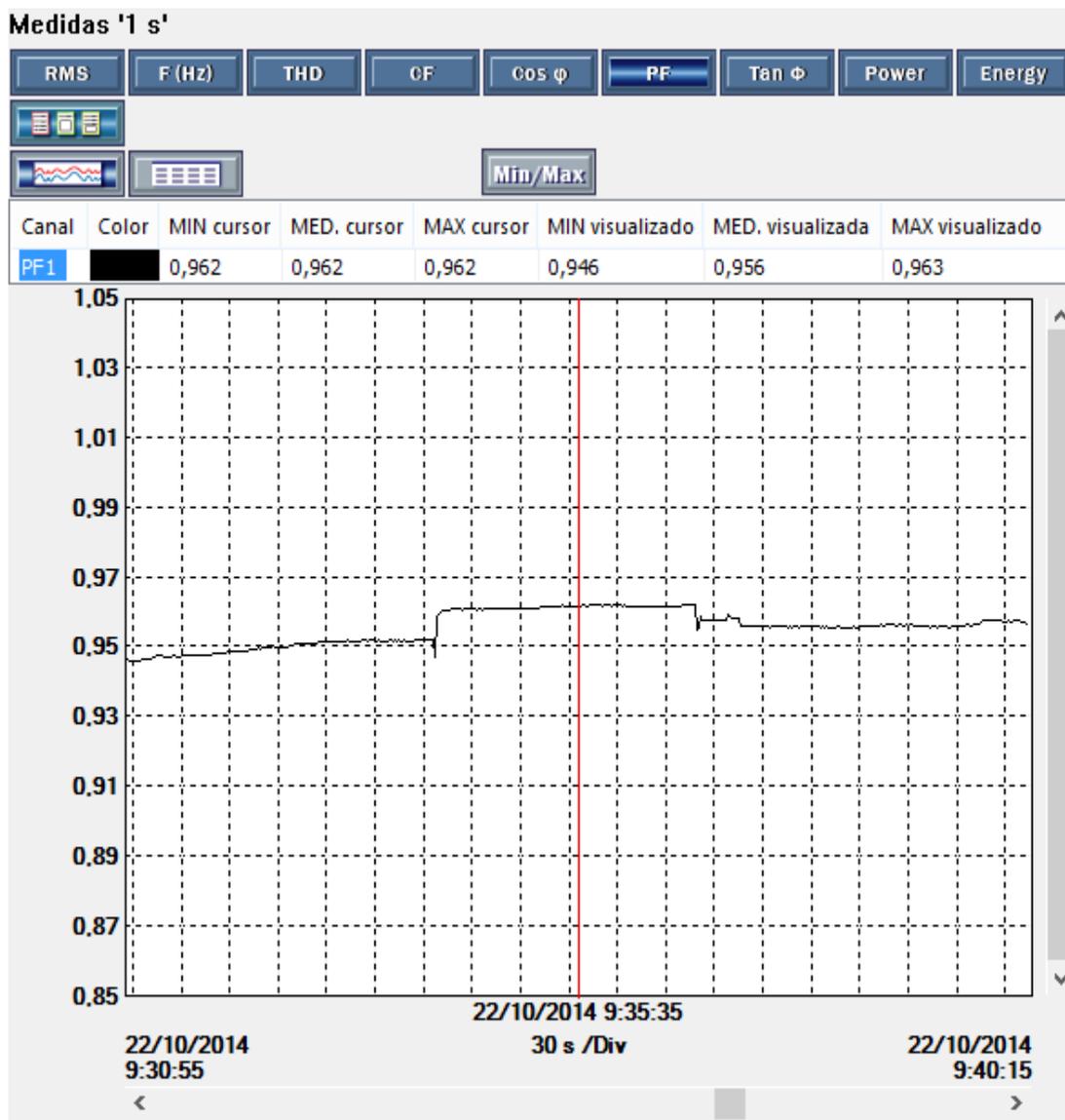


Figura 5.42. Segundo Registro – Factor de Potencia

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba en su segundo registro (Fig. 5.43), se pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es 2.59% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 9.7% (fuera del límite establecido).

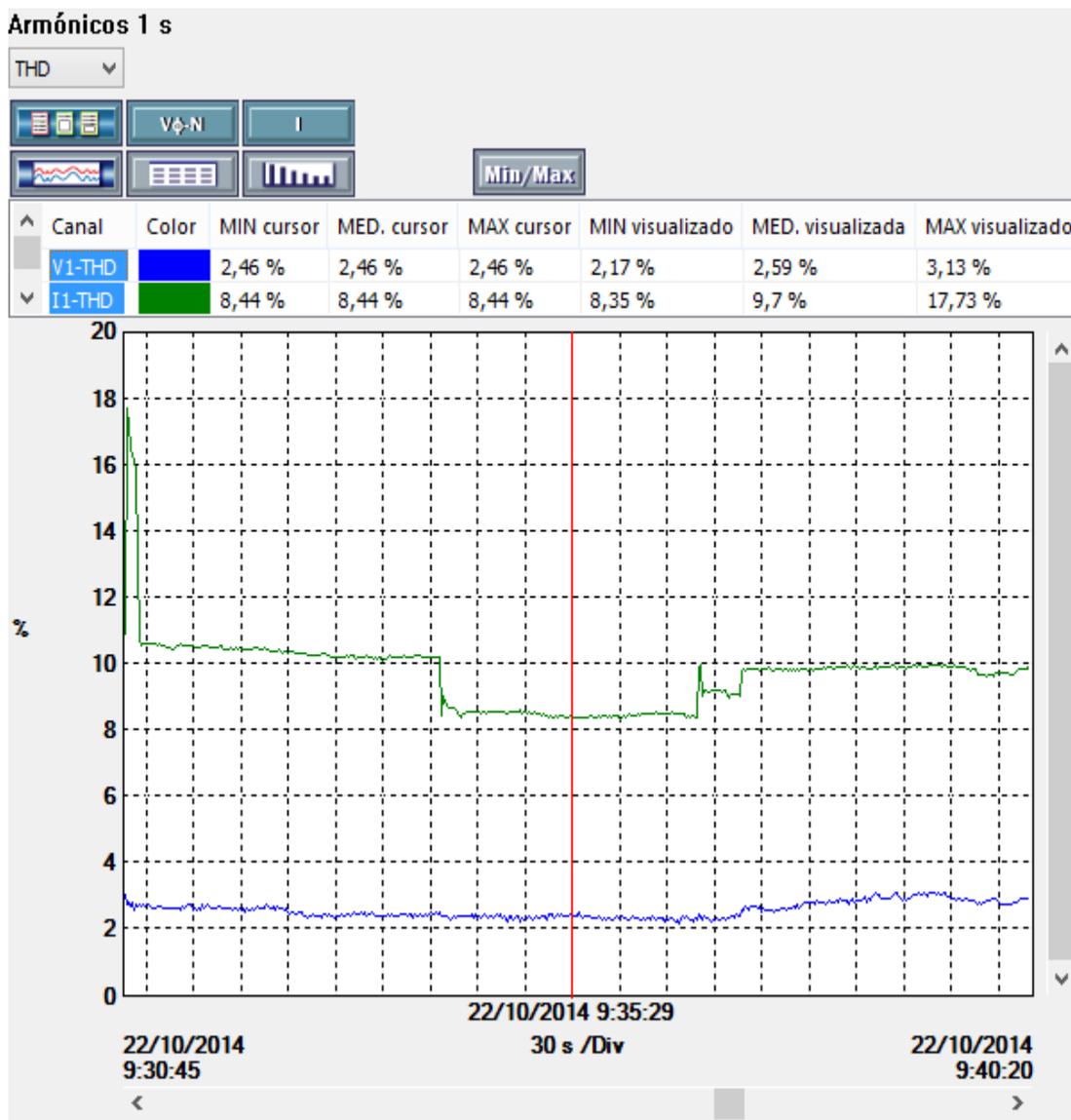


Figura 5.43. Distorsión Armónica Total THD durante el Segundo Registro

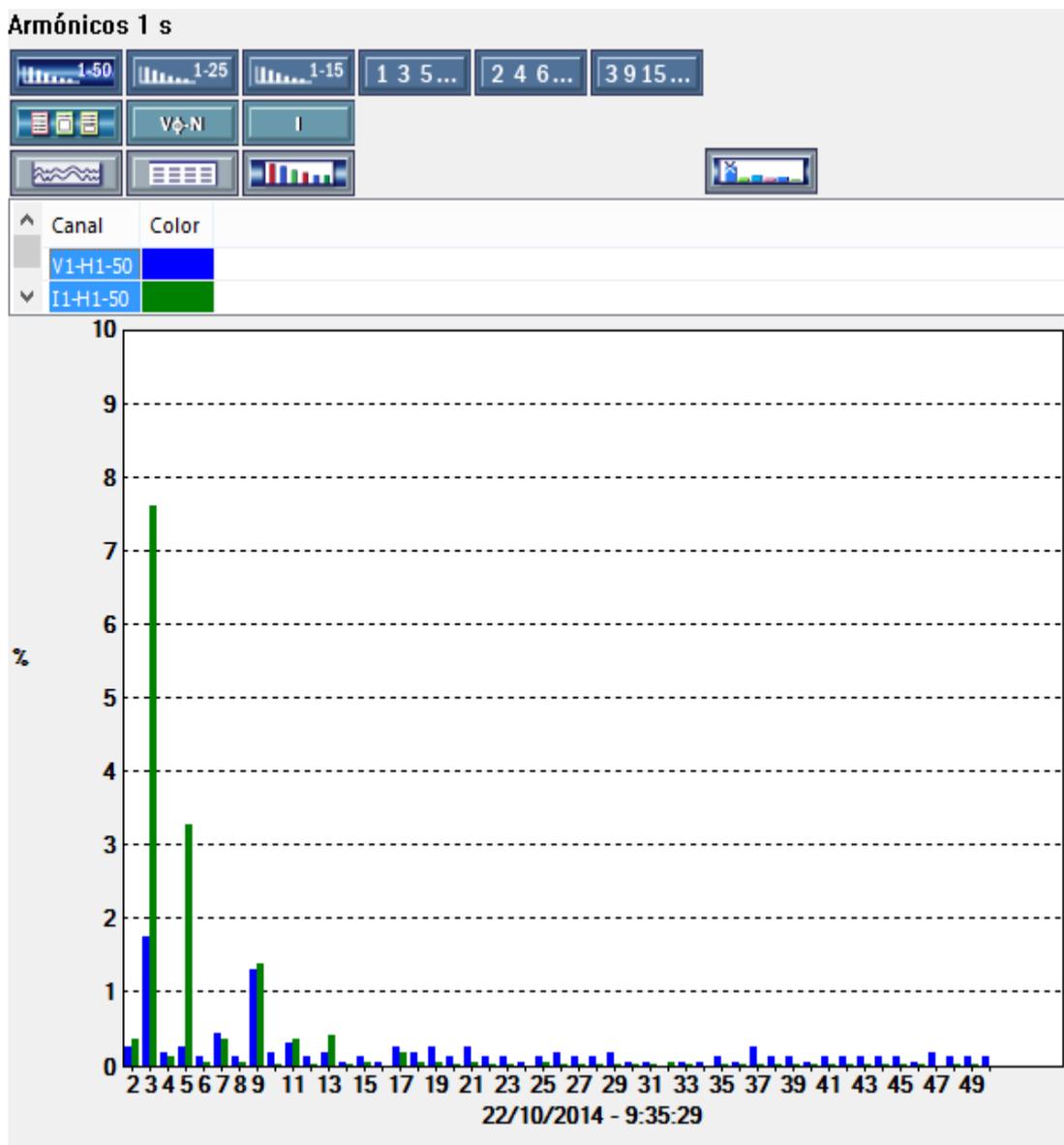


Figura 5.44. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.44, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

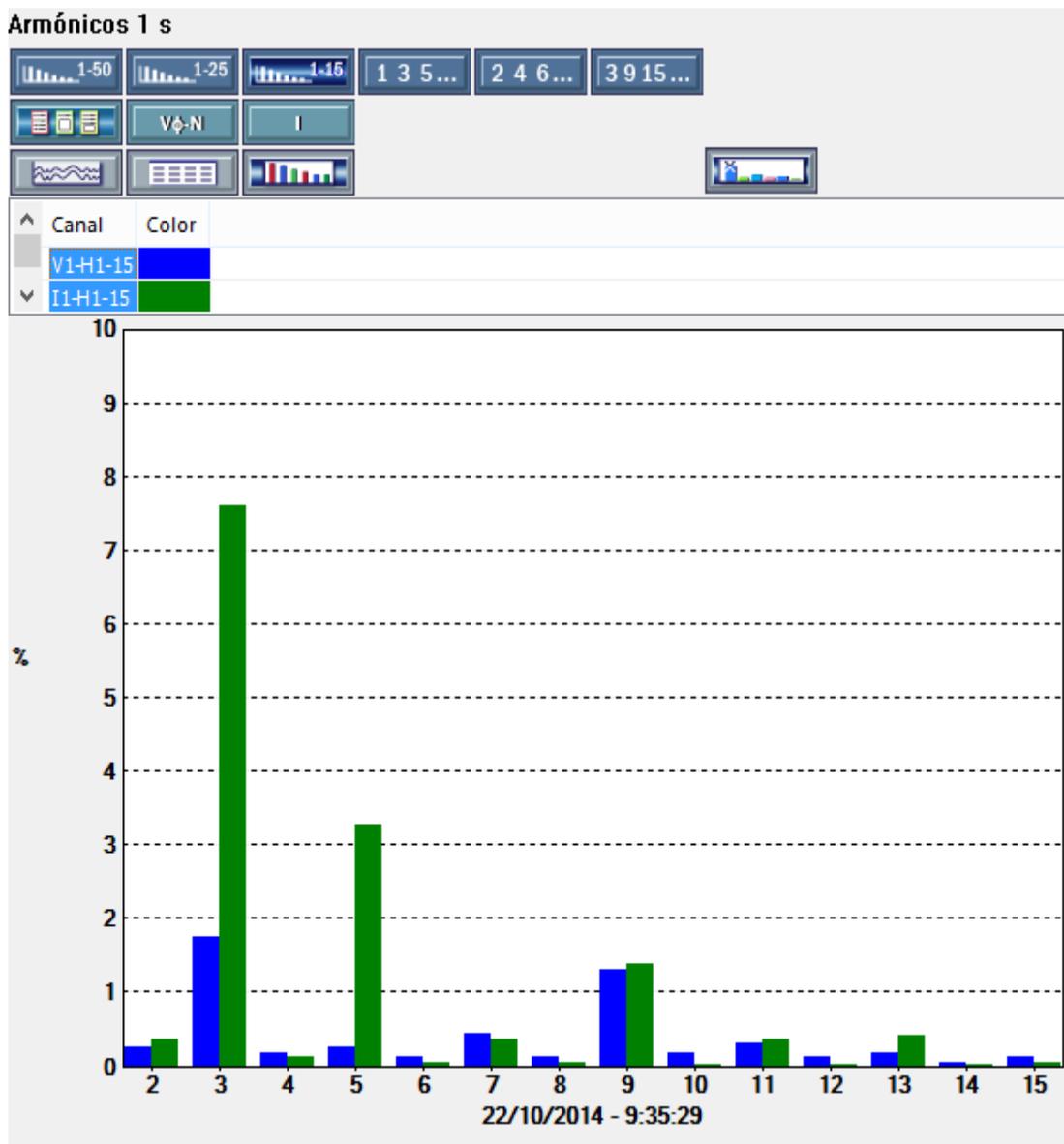


Figura 5.45. Armónicos durante el Segundo Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el segundo encendido de la bomba del sitio N° 1, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.21 y Tabla 5.22

Tabla 5.21. Análisis de la distorsión de Tensión para el Segundo Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	2.03	2.59
CUMPLIMIENTO	SI	SI

Tabla 5.22. Límites para distorsión de corriente para el Segundo Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	8.74	0.39	0.15	0.05	0.02	9.7
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en este arranque de la bomba. La distorsión armónica en tensión si cumple en todos los armónicos con la normativa del CONELEC (Tabla 5.10) y no es necesario corregir este armónico. En intensidad de corriente el THD y los armónicos de orden entre $3 \leq h < 11$ no cumplen con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector. Los armónicos entre $3 \leq h \leq 50$ están dentro de los parámetros establecidos por la normativa IEEE (Tabla 5.11).

5.3.2.3. SITIO DE ESTUDIO Nº 2 – TERCER REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.46, que corresponde al tercer encendido de la bomba, es decir, el tercer registro de funcionamiento de la bomba es a las 13:37 de la tarde.

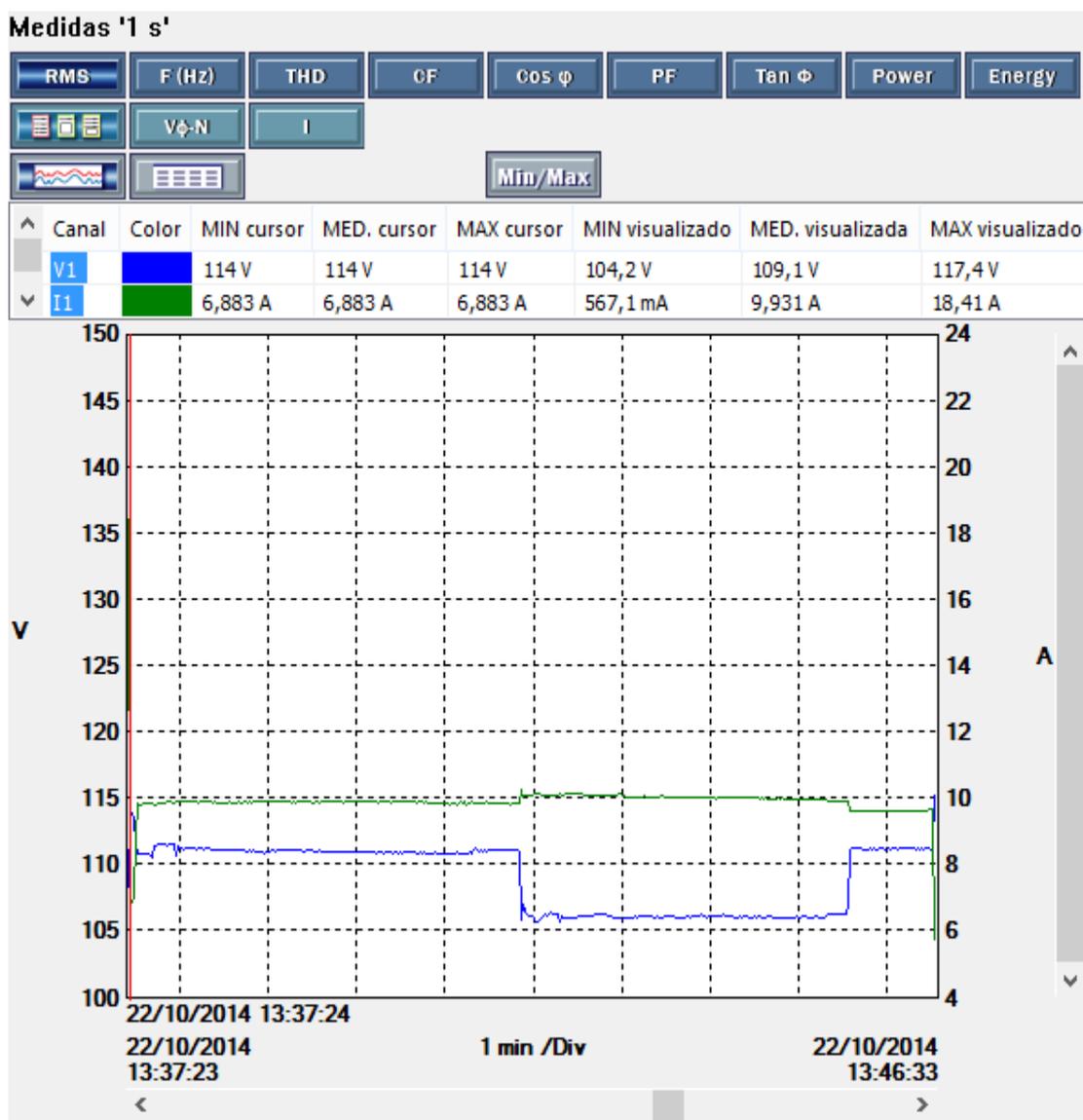


Figura 5.46. Registro de tendencias de "V" e "I" durante Tercer Registro

Durante las lecturas del tercer registro, se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 13:37:23 (Fig. 5.47) y finaliza a las 13:46:33 (Fig. 5.48), es decir, la duración total del tercer registro es de 0:09:10

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						
Fecha	Hora	V1	I1					
22/10/2014	13:37:21	118 V	0 mA					
22/10/2014	13:37:22	118 V	0 mA					
22/10/2014	13:37:23	108,4 V	18,41 A					
22/10/2014	13:37:24	114 V	6,883 A					
22/10/2014	13:37:25	114 V	6,864 A					
22/10/2014	13:37:26	113,7 V	7 A					

Figura 5.47. Tercer Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						
Fecha	Hora	V1	I1					
22/10/2014	13:46:30	111,2 V	9,69 A					
22/10/2014	13:46:31	111,2 V	9,691 A					
22/10/2014	13:46:32	113,5 V	8,025 A					
22/10/2014	13:46:33	117,4 V	567,1 mA					
22/10/2014	13:46:34	117,4 V	0 mA					
22/10/2014	13:46:35	117,5 V	0 mA					

Figura 5.48. Tercer Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el tercer registro, se observa un nivel de tensión de 108,4 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -1,45 %. Además, los niveles de tensión varían entre 113,7 VAC y 111,2 VAC, lo que permite definir un índice de calidad que varía entre +3,36% y -1,09%. Los índices de calidad, están excediendo el porcentaje permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

La tensión media visualizada 109,1 VAC durante el tercer registro, permite calcular el índice de calidad de -0,81%, es decir, está en el límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el tercer registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,955 (Fig. 5.49), es decir, se encuentra con un valor superior al mínimo permitido de 0,92.

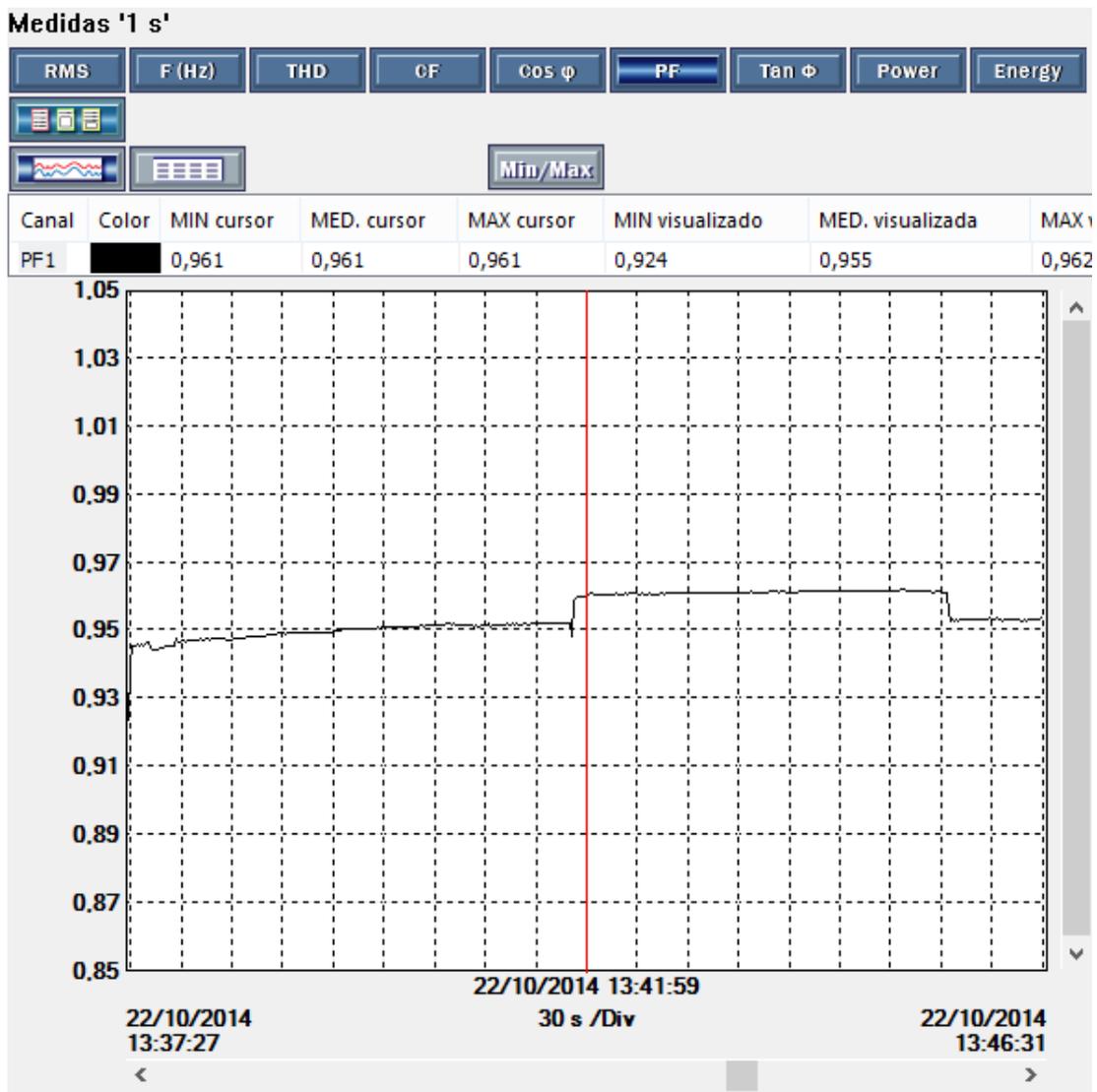


Figura 5.49. Tercer Registro – Factor de Potencia

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba en su tercer registro (Fig. 5.50), se pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es

2.62% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 9.75% (fuera del límite establecido) .

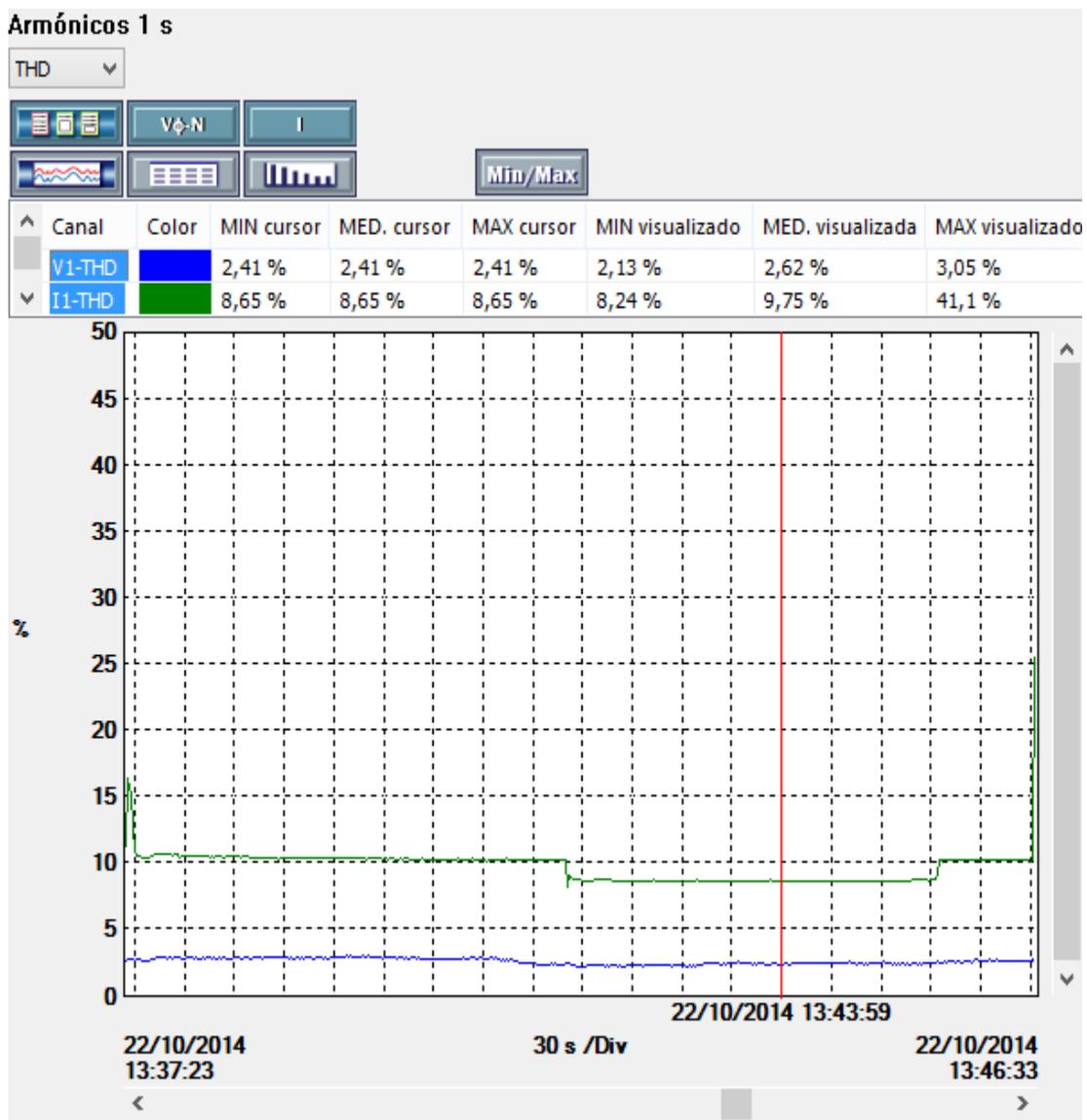


Figura 5.50. Distorsión Armónica Total THD durante el Tercer Registro

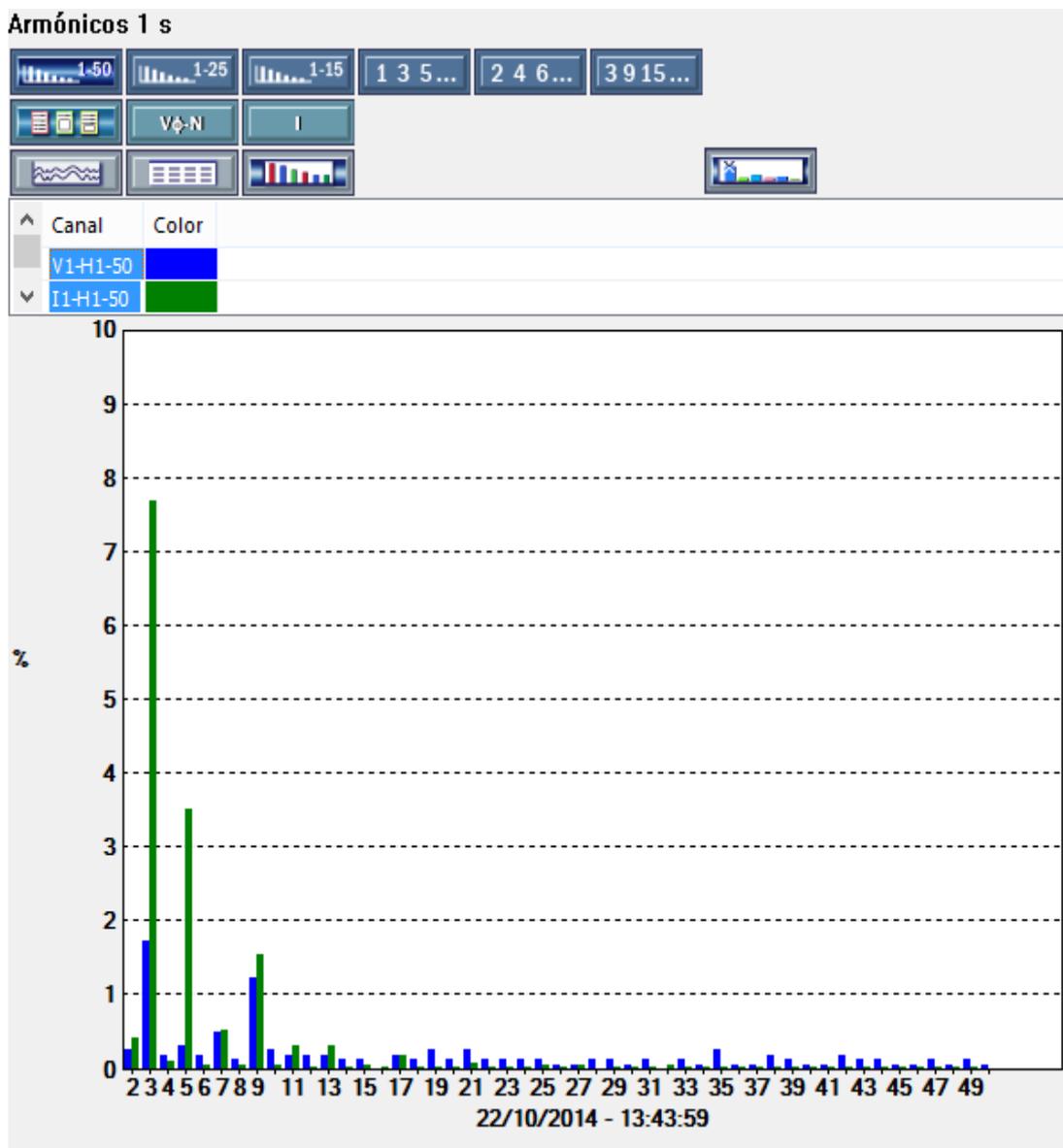


Figura 5.51. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.51, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

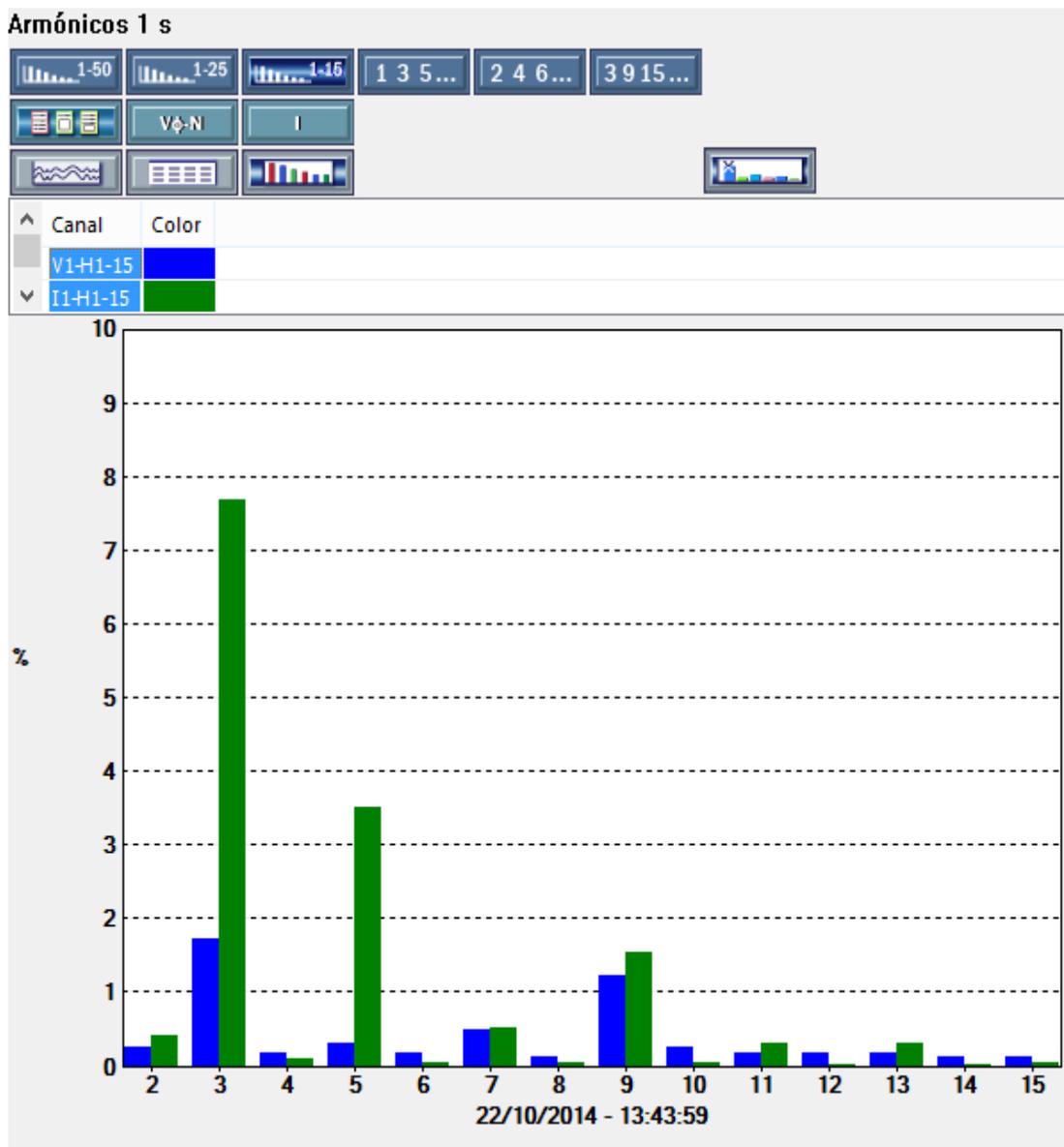


Figura 5.52. Armónicos durante el Tercer Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el tercer encendido de la bomba del sitio N° 2, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.23 y Tabla 5.24

Tabla 5.23. Análisis de la distorsión de Tensión para el Tercer Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	1.74	2.62
CUMPLIMIENTO	SI	SI

Tabla 5.24. Límites para distorsión de corriente para el Tercer Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	7.7	0.31	0.33	0.02	0.02	9.75
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en este arranque de la bomba. La distorsión armónica en tensión si cumple en todos los armónicos con la normativa del CONELEC (Tabla 5.10) y no es necesario corregir este armónico. En intensidad de corriente el THD y los armónicos de orden entre $3 \leq h < 11$ no cumplen con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector. Los armónicos entre $3 \leq h \leq 50$ están dentro de los parámetros establecidos por la normativa IEEE (Tabla 5.11).

5.3.2.4. SITIO DE ESTUDIO Nº 2 – CUARTO REGISTRO DE ENCENDIDO DE LA BOMBA

Durante los registros que se pueden observar en la Fig. 5.53, que corresponde al cuarto encendido de la bomba, es decir, el cuarto registro de funcionamiento de la bomba es a las 16:13 de la tarde.

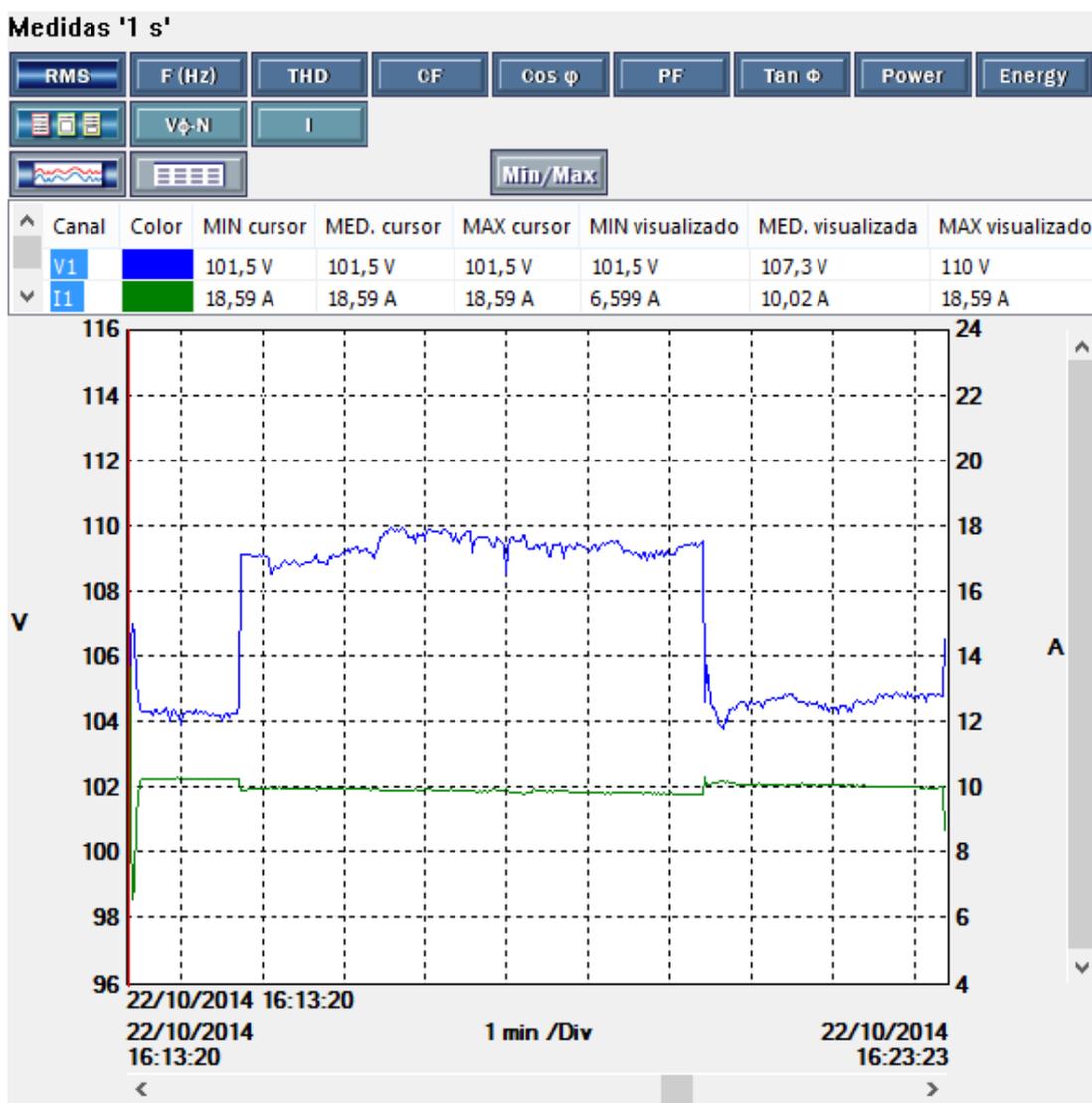


Figura 5.53. Registro de tendencias de "V" e "I" durante el Cuarto Registro

Durante las lecturas del cuarto registro, se puede observar que la hora de encendido de la bomba inicia a las 16:13:20 (Fig. 5.54) y finaliza a las 16:23:23 (Fig. 5.55), es decir, la duración total del cuarto registro es de 0:10:03

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						

Fecha	Hora	V1	I1
22/10/2014	16:13:18	111,2 V	0 mA
22/10/2014	16:13:19	111,2 V	0 mA
22/10/2014	16:13:20	101,5 V	18,59 A
22/10/2014	16:13:21	106,5 V	8,813 A
22/10/2014	16:13:22	107 V	6,599 A
22/10/2014	16:13:23	107 V	6,629 A

Figura 5.54. Cuarto Registro de inicio de funcionamiento de la Bomba

Medidas '1 s'

RMS	F (Hz)	THD	CF	Cos ϕ	PF	Tan ϕ	Power	Energy
	V ϕ -N	I						

Fecha	Hora	V1	I1
22/10/2014	16:23:20	104,8 V	10,06 A
22/10/2014	16:23:21	104,8 V	10,06 A
22/10/2014	16:23:22	104,8 V	10,08 A
22/10/2014	16:23:23	108,4 V	6,827 A
22/10/2014	16:23:24	111,6 V	0 mA
22/10/2014	16:23:25	113,4 V	0 mA

Figura 5.55. Cuarto Registro de fin de funcionamiento de la Bomba

Durante el encendido de la bomba en el cuarto registro, se observa un nivel de tensión de 101,5 VAC, lo que permite calcular un índice de calidad de -7,72 %. Además, los niveles de tensión varían entre 106,5 VAC y 104,8 VAC, lo que permite definir un índice de calidad que varía entre +3,18% y -4,72%. Los índices de calidad, están excediendo el porcentaje permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

La tensión media visualizada 107,3 VAC durante el cuarto registro, permite calcular el índice de calidad de -2,45%, es decir, está en el límite permitido de $\pm 8\%$ para el sector residencial.

Durante el cuarto registro de encendido de la bomba, se puede apreciar que, la media visualizada del Factor de Potencia es 0,958 (Fig. 5.56), es decir, se encuentra con un valor superior al mínimo permitido de 0,92.

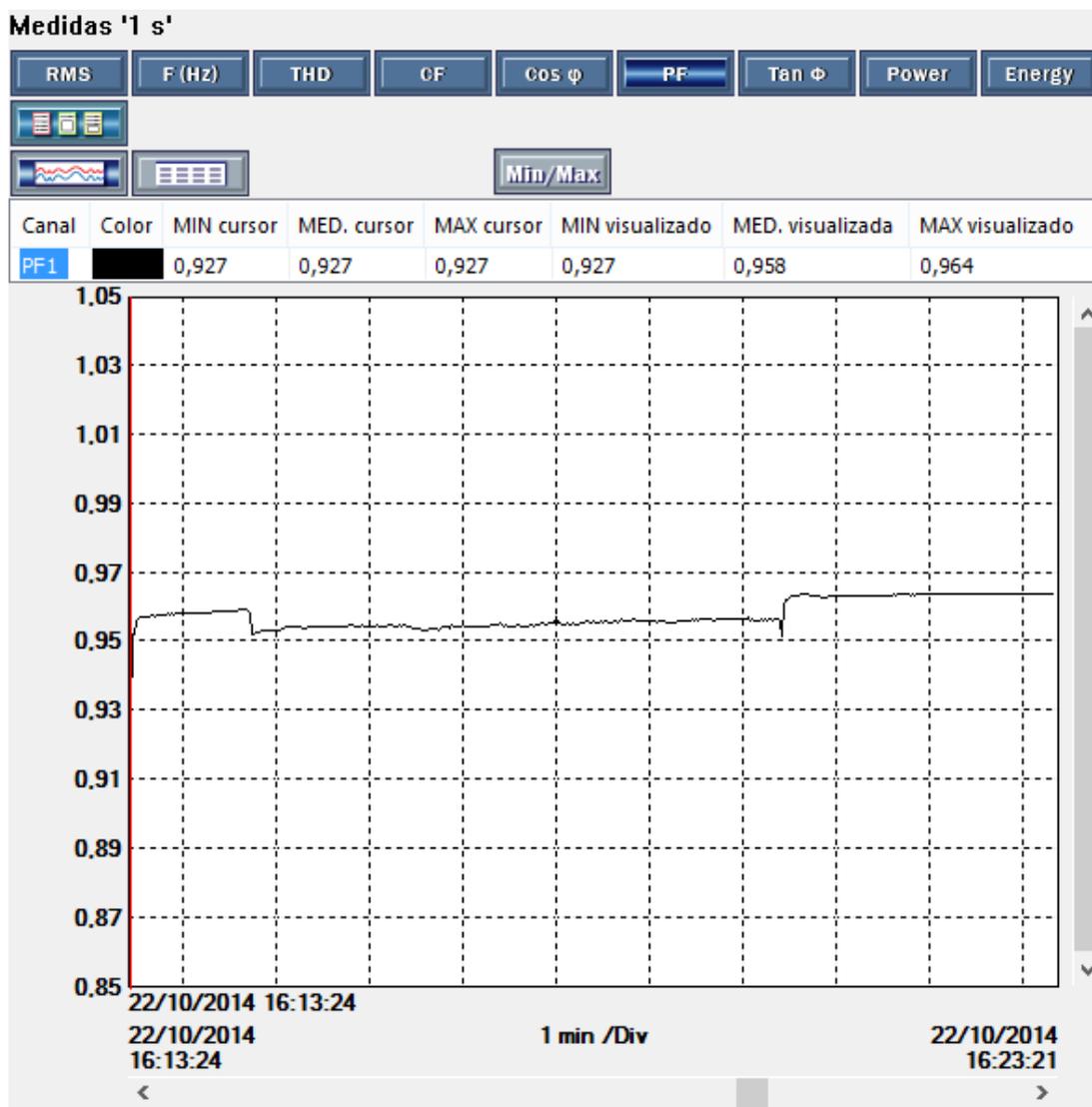


Figura 5.56. Tercer Registro – Factor de Potencia

Al analizar los armónicos que se producen durante el tiempo que permanece encendida la bomba en su cuarto registro (Fig. 5.50), se pueden observar los valores de THD en donde los valores medios para V1-THD es 2.82% (dentro del límite establecido) y la I1-THD es 9.71% (fuera del límite establecido).

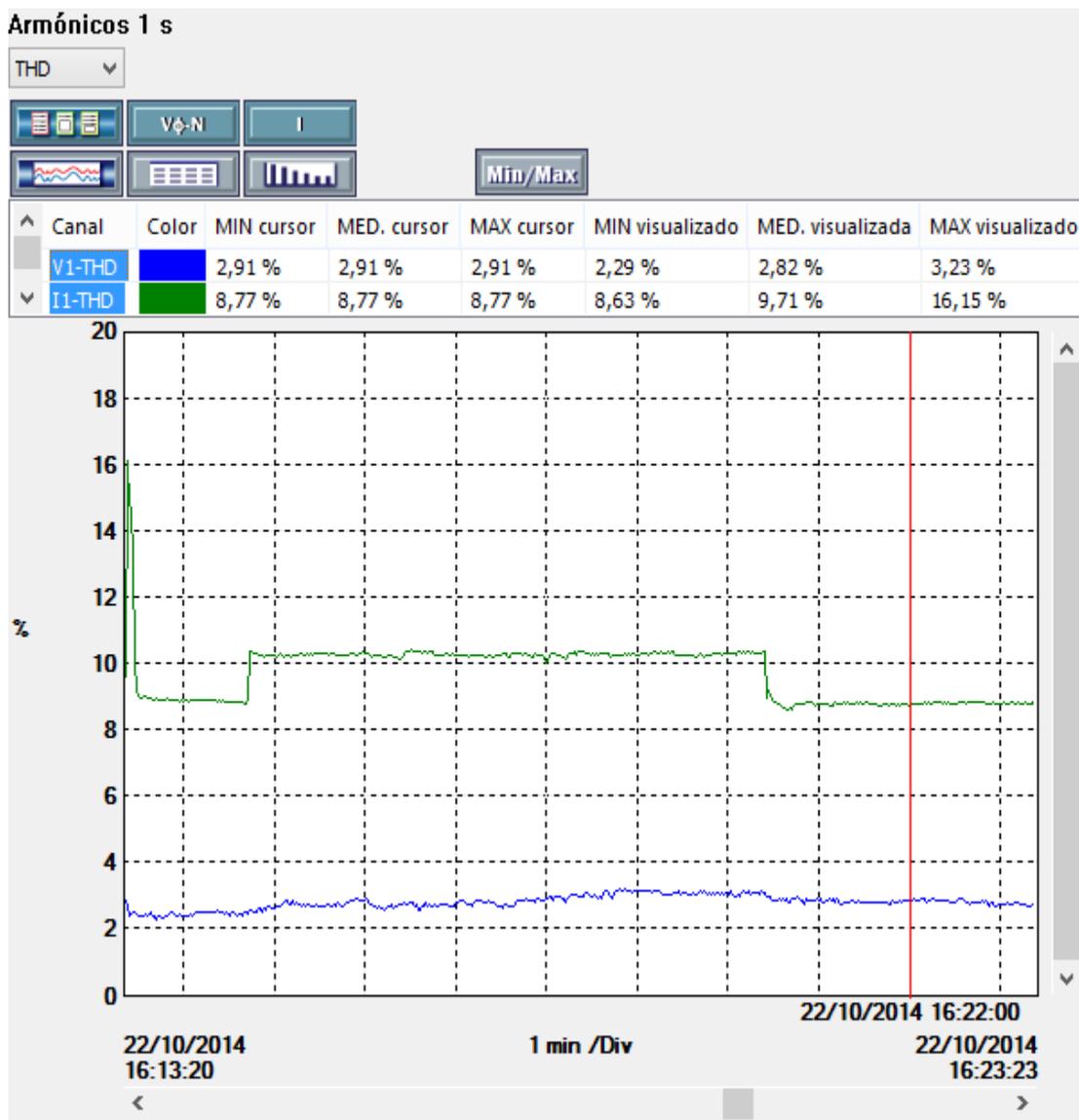


Figura 5.57. Distorsión Armónica Total THD durante el Cuarto Registro

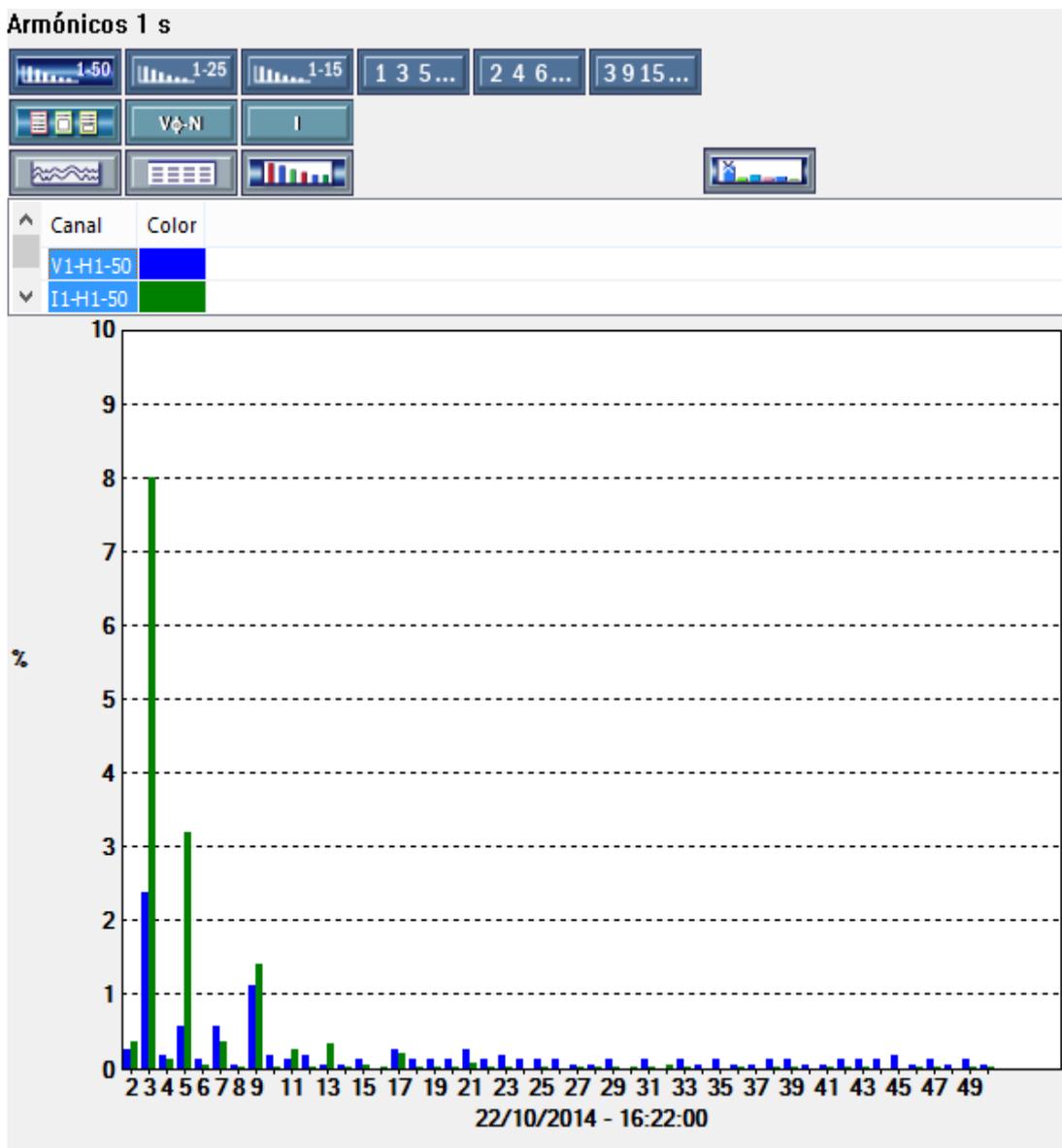


Figura 5.58. Armónicos durante el Cuarto Registro (Armónico del 1 al 50)

Como se puede observar en la figura 5.58, existen armónicos impares en corriente que son elevados al relacionarlos con los armónicos impares en tensión.

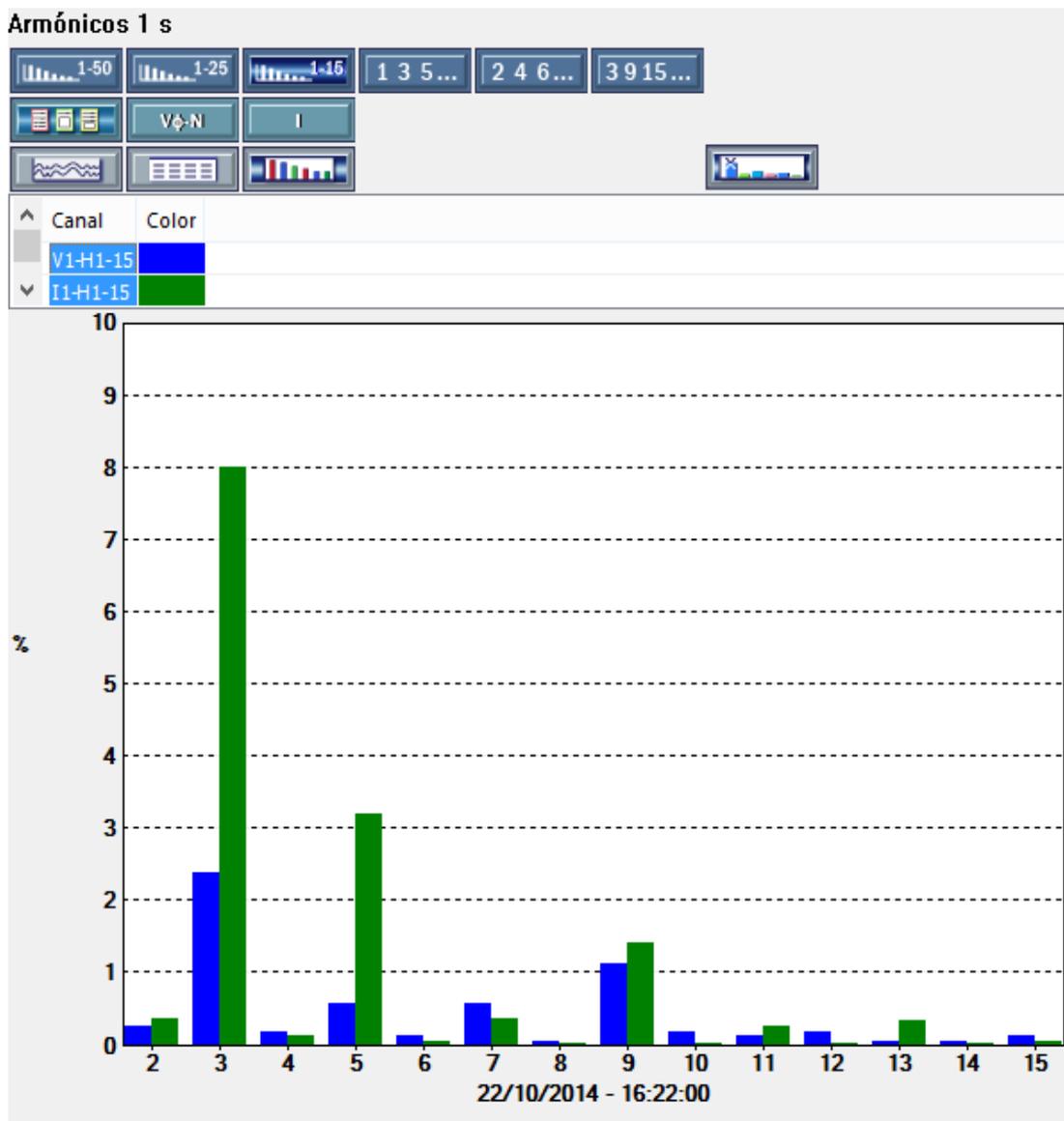


Figura 5.59. Armónicos durante el Cuarto Registro (Armónico del 1 al 15)

Al analizar los armónicos que se registran durante el cuarto encendido de la bomba del sitio N° 2, se pueden obtener los resultados que cumplen con la normativa IEEE y del CONELEC como se muestran en las Tabla 5.25 y Tabla 5.26

Tabla 5.25. Análisis de la distorsión de Tensión para el Cuarto Registro

Tensión(V) en el Punto de Medición	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$V \leq 0.120$ kV	2.4	2.82
CUMPLIMIENTO	SI	SI

Tabla 5.26. Límites para distorsión de corriente para el Cuarto Registro

Orden de los armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
	8.01	0.34	0.33	0.03	0.02	9.71
CUMPLIMIENTO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Los armónicos de orden 3 al 9 son los que más presencia tienen en este arranque de la bomba. La distorsión armónica en tensión si cumple en todos los armónicos con la normativa del CONELEC (Tabla 5.10) y no es necesario corregir este armónico. En intensidad de corriente el THD y los armónicos de orden entre $3 \leq h < 11$ no cumplen con la normativa IEEE (Tabla 5.11), se deben corregir los armónicos para mejorar la calidad de energía del sector. Los armónicos entre $3 \leq h \leq 50$ están dentro de los parámetros establecidos por la normativa IEEE (Tabla 5.11).

Durante los registros almacenados en 24 horas se puede obtener una tabla resumen de las horas de encendido y apagado de la bomba (Tabla 5.27), donde se ha realizado el cálculo del promedio diario de encendido y el total de horas de funcionamiento de la bomba.

Tabla 5.27. Resumen de encendido y apagado de la bomba

Inicio	Fin	Duración
7:20:51	7:30:53	0:10:02
9:30:45	9:40:20	0:09:35
13:37:23	13:46:33	0:09:10
16:13:20	16:23:23	0:10:03
Total		0:38:50
Promedio		0:09:42

5.4. ANÁLISIS DEL BOMBEO EN DC

El sistema de bombeo en DC para Lago Agrio podría operar con 12 VDC o 24 VDC, La bomba utilizada permitió realizar pruebas de funcionamiento y verificar la operatividad en el sitio de interés, los resultados obtenidos permiten realizar varios análisis que determinaran la factibilidad del proyecto.

Tabla 5.28. Resultados obtenidos de Pruebas de la Bomba con 24 VDC

Altura (m)	Voltaje (Vdc)	I (A)	Imax (A)	Potencia (W)	Vol. (Lt)	Duración	Tiempo (min)	Caudal (Lts/min)	Energía (Wh)
1	24,2	1,30	3,05	31,46	55	0:09:18	9,30	5,91	4,88
2	24,2	1,30	2,70	31,46	55	0:09:15	9,25	5,95	4,85
3	24,2	1,31	2,50	31,70	55	0:08:59	8,98	6,12	4,75
4	24,2	1,32	2,65	31,94	55	0:09:04	9,07	6,07	4,83
5	24,2	1,32	3,10	31,94	55	0:09:04	9,07	6,07	4,83
6	24,2	1,33	3,40	32,19	55	0:09:13	9,22	5,97	4,94
7	24,2	1,33	3,00	32,19	55	0:09:14	9,23	5,96	4,95
8	24,2	1,35	2,80	32,67	55	0:09:05	9,08	6,06	4,95
9	24,2	1,39	2,70	33,64	55	0:09:12	9,20	5,98	5,16
10	24,2	1,43	3,00	34,61	55	0:08:56	8,93	6,16	5,15
11	24,2	1,48	3,25	35,82	55	0:08:30	8,50	6,47	5,07

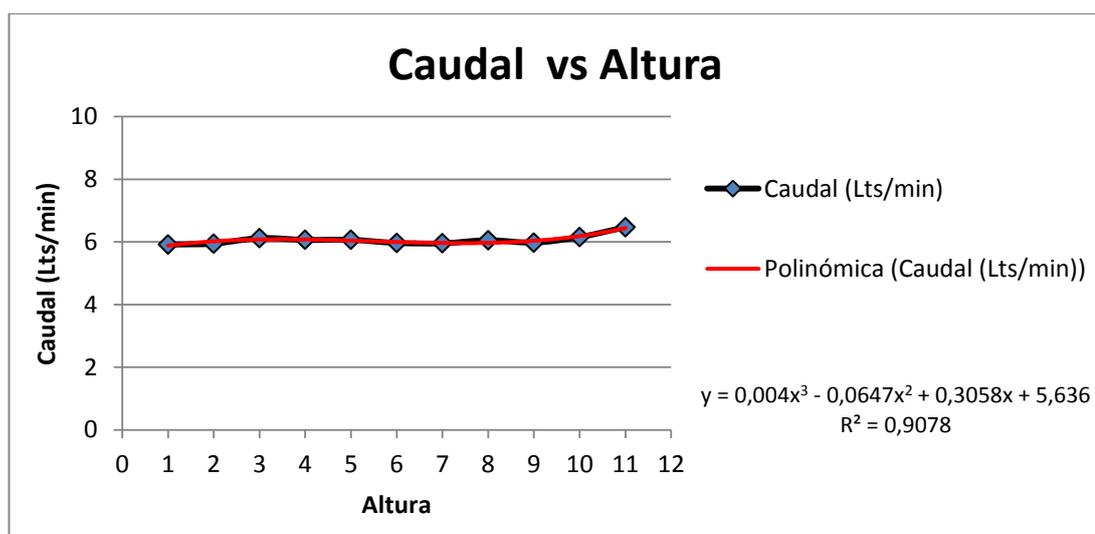


Figura 5.60. Caudal vs Altura a 24 VDC

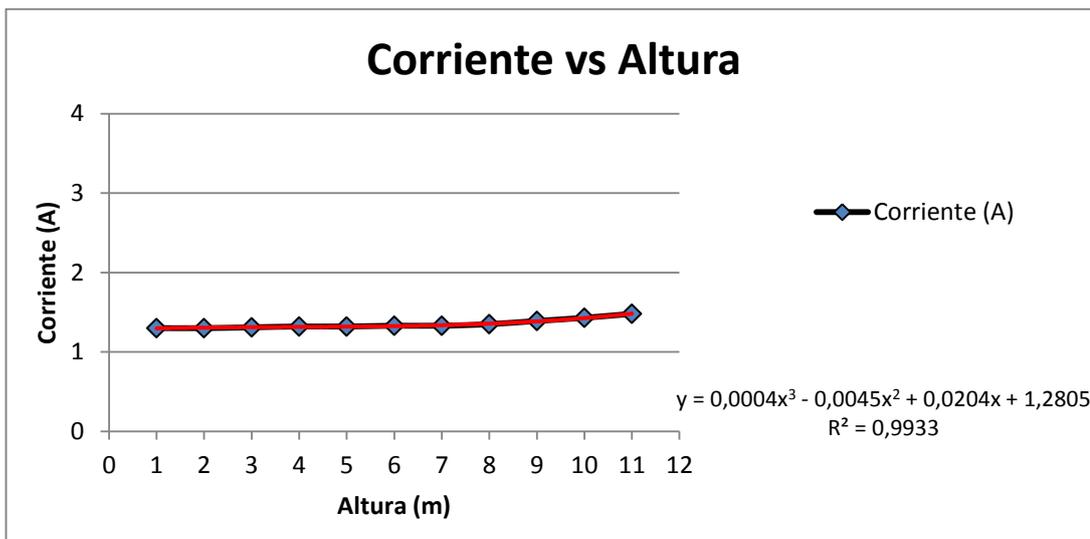


Figura 5.61. Corriente vs Altura a 24 VDC

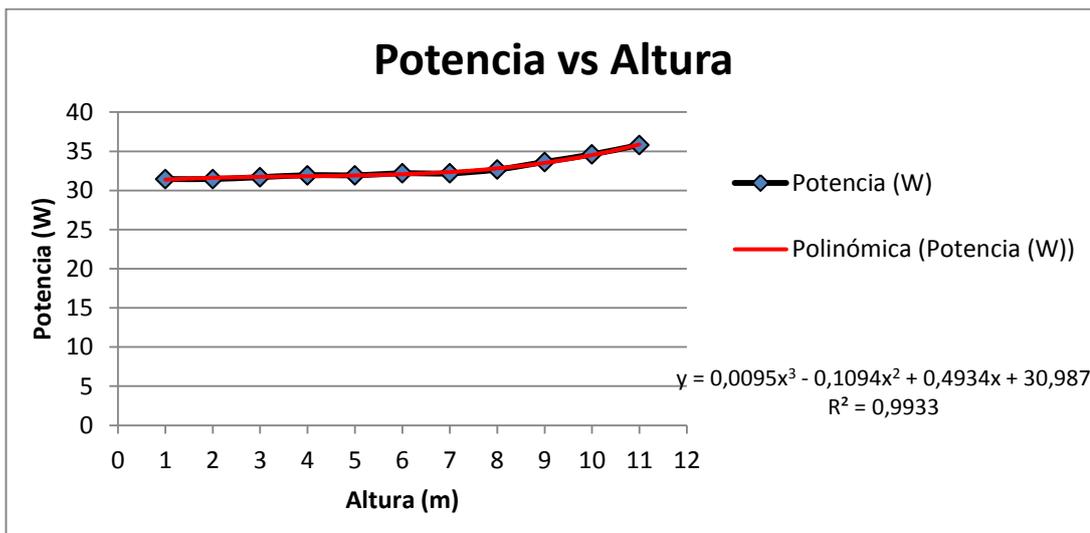


Figura 5.62. Potencia vs Altura a 24 VDC

Al observar la Fig. 5.60 se puede apreciar que durante los 11 metros medidos el caudal oscila entre 5.9 [Lit/min] y 6.5 [Lit/min] casi siguiendo una tendencia lineal, además, en la Fig. 5.62 la potencia demuestra que al aumentar la altura seguirá una tendencia ascendente, tal cual lo indica el fabricante y como se muestra en la Fig. 5.63

Tabla 5.29. Datos del Fabricante para bomba SunPumps SDS-T-128 (24 VDC)

PSI	TDH	TDH	Pump	Pump	U.S.	Motor	Panel	System	
	Feet	Meters	Voltage	Amps	GPM	LPM	Watts	Watts *	Efficiency
0	0	0.0	25	1.47	1.82	6.9	37	46	0%
5	12	3.5	25	1.65	1.81	6.8	41	52	10%
10	23	7.0	25	1.84	1.79	6.8	46	58	17%
15	35	10.6	25	2.02	1.77	6.7	51	63	23%
20	46	14.1	25	2.20	1.75	6.6	55	69	28%
25	58	17.6	25	2.36	1.74	6.6	59	74	32%
30	69	21.1	25	2.52	1.72	6.5	63	79	36%
35	81	24.6	25	2.68	1.71	6.5	67	84	39%
40	92	28.2	25	2.85	1.69	6.4	71	89	41%
45	104	31.7	25	3.00	1.67	6.3	75	94	44%
50	116	35.2	25	3.16	1.65	6.3	79	99	46%
55	127	38.7	25	3.32	1.64	6.2	83	104	47%
60	139	42.3	25	3.47	1.62	6.1	87	108	49%
65	150	45.8	25	3.62	1.60	6.1	91	113	50%
70	162	49.3	25	3.77	1.59	6.0	94	118	51%
75	173	52.8	25	3.94	1.57	5.9	99	123	52%
80	185	56.3	25	4.09	1.55	5.9	102	128	53%
85	196	59.9	25	4.24	1.53	5.8	106	133	54%
90	208	63.4	25	4.41	1.52	5.7	110	138	54%
95	219	66.9	25	4.54	1.50	5.7	114	142	55%
100	231	70.4	25	4.69	1.48	5.6	117	147	55%

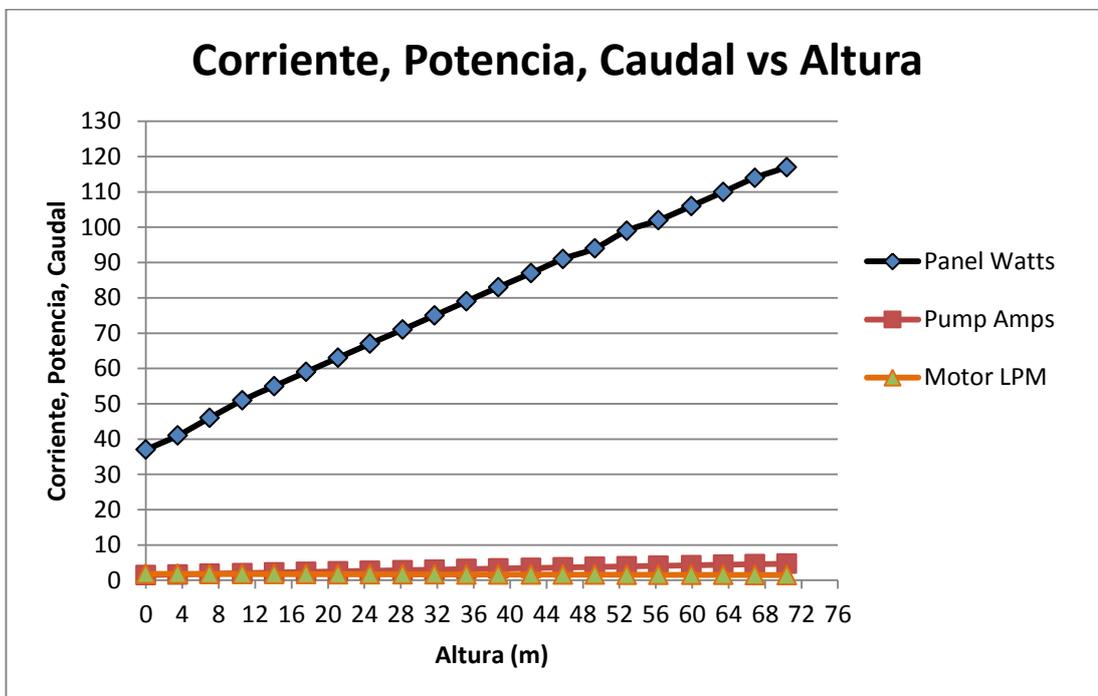


Figura 5.63. Corriente, Potencia, Caudal vs Altura a 24 VDC (Datos del Fabricante)

Durante las pruebas de la bomba de agua con 12 VDC se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.29

Tabla 5.30. Resultados obtenidos de Pruebas de la Bomba con 12 VDC

Altura (m)	Voltaje (Vdc)	I (A)	I _{max} (A)	Potencia (W)	Vol. (Lt)	Duración	Tiempo (min)	Caudal (Lts/min)	Energía (Wh)
1	12,57	1,00	2,00	12,57	10	0:03:38	3,63	2,75	0,76
2	12,57	1,02	2,00	12,82	10	0:04:13	4,22	2,37	0,90
3	12,57	1,02	2,00	12,82	10	0:04:00	4,00	2,50	0,85
4	12,57	1,05	1,90	13,20	10	0:04:03	4,05	2,47	0,89
5	12,57	1,10	2,20	13,83	10	0:04:01	4,02	2,49	0,93
6	12,57	1,11	1,40	13,95	10	0:03:44	3,73	2,68	0,87
7	12,57	1,12	1,50	14,08	10	0:03:35	3,58	2,79	0,84
8	12,57	1,10	2,00	13,83	10	0:03:34	3,57	2,80	0,82
9	12,57	1,11	2,20	13,95	10	0:03:30	3,50	2,86	0,81
10	12,57	1,15	1,70	14,46	10	0:04:01	4,02	2,49	0,97
11	12,57	1,20	1,90	15,08	10	0:04:07	4,12	2,43	1,03

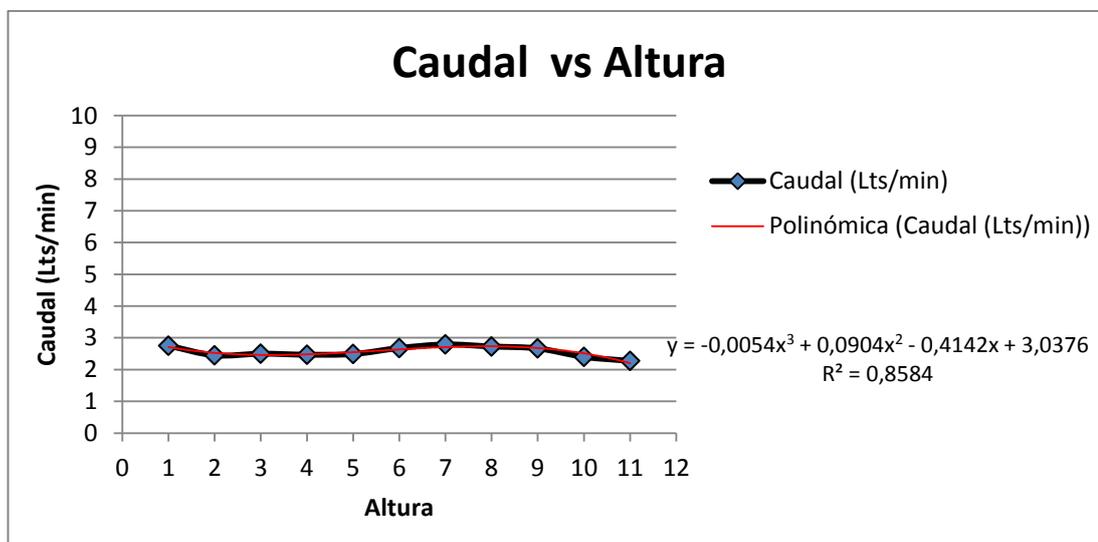


Figura 5.64. Caudal vs Altura a 12 VDC

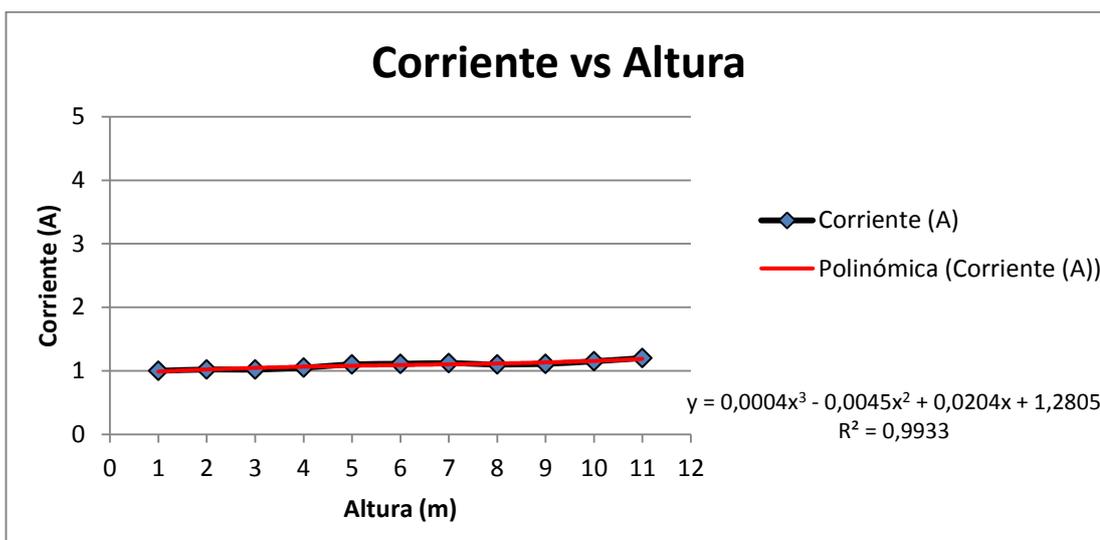


Figura 5.65. Corriente vs Altura a 12 VDC

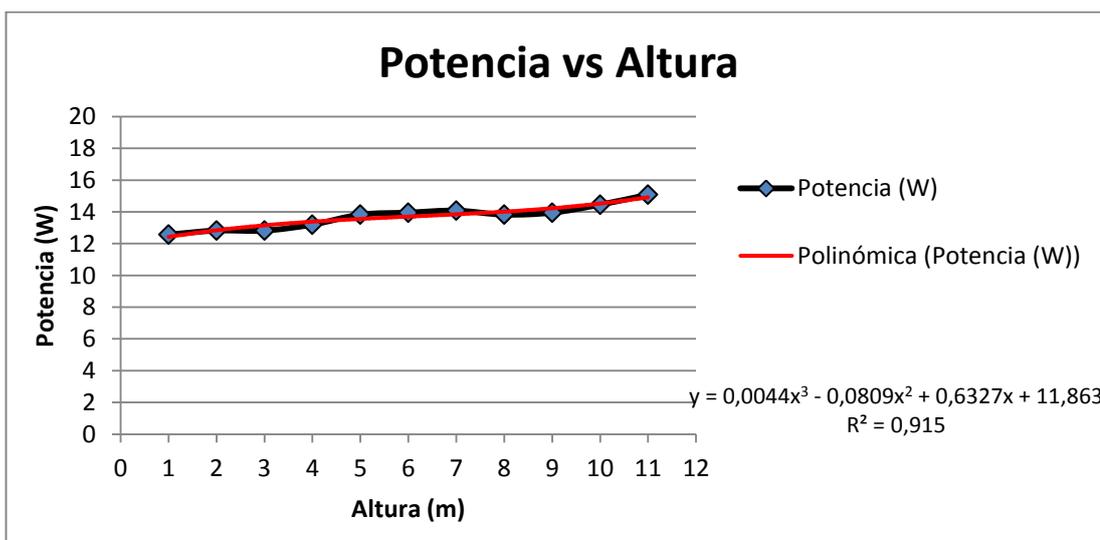


Figura 5.66. Potencia vs Altura a 12 VDC

Al observar la Fig. 5.64 se puede apreciar que durante los 11 metros medidos el caudal oscila entre 2.7 [Lit/min] y 2.5 [Lit/min] casi siguiendo una tendencia lineal, además, en la Fig. 5.66 la potencia demuestra que al aumentar la altura seguirá una tendencia ascendente, tal cual lo indica el fabricante y como se muestra en la Fig. 5.67

Tabla 5.31. Datos del Fabricante para bomba SunPumps SDS-T-128 (12 VDC)

PSI	TDH	TDH	Pump	Pump	U.S.	Motor	Panel	System	
	Feet	Meters	Voltage	Amps	GPM	LPM	Watts	Watts *	Efficiency
0	0	0.0	12.5	1.12	0.82	3.1	14	18	0%
5	12	3.5	12.5	1.30	0.81	3.1	16	20	11%
10	23	7.0	12.5	1.47	0.80	3.0	18	23	19%
15	35	10.6	12.5	1.64	0.80	3.0	21	26	25%
20	46	14.1	12.5	1.79	0.79	3.0	22	28	31%
25	58	17.6	12.5	1.96	0.78	3.0	25	31	35%
30	69	21.1	12.5	2.12	0.77	2.9	27	33	38%
35	81	24.6	12.5	2.30	0.77	2.9	29	36	41%
40	92	28.2	12.5	2.44	0.76	2.9	31	38	43%
45	104	31.7	12.5	2.59	0.75	2.8	32	40	45%
50	116	35.2	12.5	2.75	0.74	2.8	34	43	47%
55	127	38.7	12.5	2.91	0.74	2.8	36	45	48%
60	139	42.3	12.5	3.07	0.73	2.7	38	48	49%
65	150	45.8	12.5	3.23	0.72	2.7	40	50	50%
70	162	49.3	12.5	3.37	0.71	2.7	42	53	51%
75	173	52.8	12.5	3.51	0.70	2.7	44	55	52%
80	185	56.3	12.5	3.66	0.69	2.6	46	57	53%
85	196	59.9	12.5	3.81	0.68	2.6	48	60	53%
90	208	63.4	12.5	3.96	0.67	2.5	50	62	53%
95	219	66.9	12.5	4.10	0.67	2.5	51	64	54%
100	231	70.4	12.5	4.24	0.66	2.5	53	66	54%

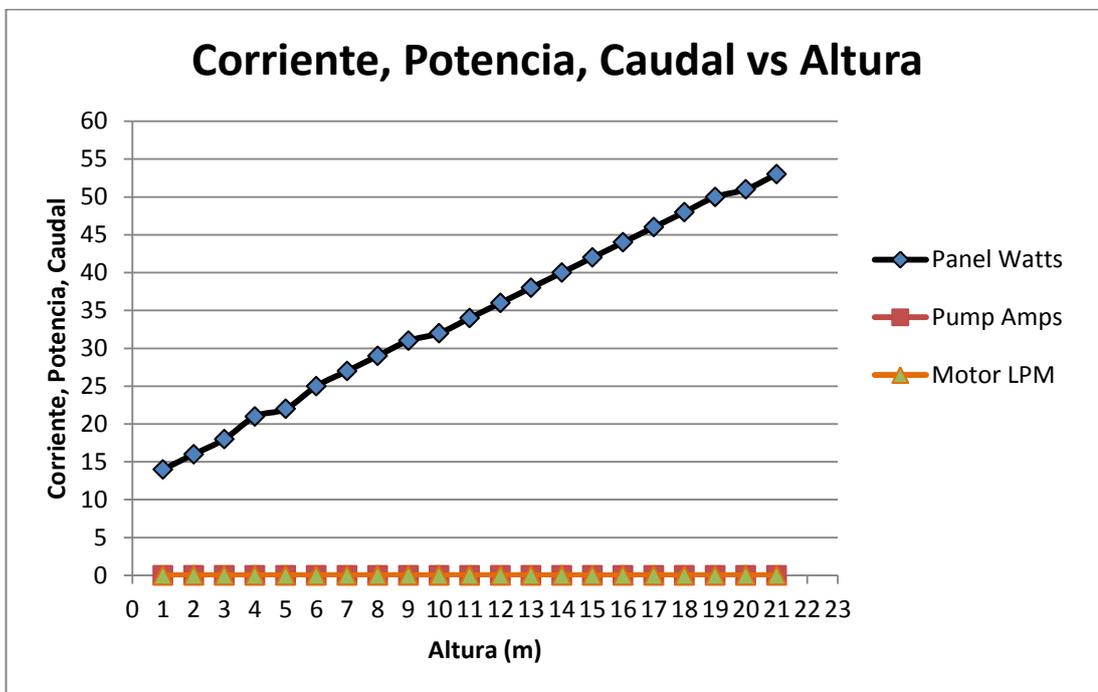


Figura 5.67. Corriente, Potencia, Caudal vs Altura a 12 VDC (Datos del Fabricante)

5.5. ANÁLISIS ENERGÉTICO

El consumo energético de los dos sitios de estudio, aportan datos de interés para un análisis energético, el cual permite analizar una posible solución al mejoramiento de la calidad de energía para Lago Agrio.

Según los datos registrados y analizados se han obtenido valores de potencia y energía que pueden permitir generalizar un posible aporte al cambio de la matriz energética del país.

Tabla 5.32. Potencia y Energía registrada

LUGAR	POTENCIA [KW] Medida	ENERGÍA [KWh] Calculada	ENERGÍA [KWh] Medida
Sitio de Estudio N° 1 (28 días)	0,425	28,224	27,13
Sitio de Estudio N° 2 (30 días)	1.015	19,488	19,92

Según los datos CNEL Sucumbíos (Tabla 5.2), los clientes residenciales de Lago Agrio que poseen el servicio eléctrico son 22006, y según datos del Municipio de Sucumbíos los usuarios que poseen servicio de agua potable son 4733 (Tabla 1.1), estos datos han permitido estimar cuantos usuarios poseen bombas para uso doméstico. Se ha tomado como base que la mayor parte de usuarios tiene un medidor de agua potable por vivienda, debido a que aún no se cuenta con un suministro adecuado y mucho más eficiente para la distribución de Agua, es decir, se puede estimar existen 4733 bombas de agua para uso doméstico y con este valor se puede estimar un consumo energético de Lago Agrio

Tabla 5.33. Estimación de energía consumida para Lago Agrio

LUGAR	ENERGÍA [KWh] Medida (Mes)	ENERGÍA TOTAL [KWh] (Año)	ENERGÍA TOTAL [MWh] (Año)
Sitio de Estudio N° 1 (28 días)	27,13	1540875,48	1540,88
Sitio de Estudio N° 2 (30 días)	19,92	1131376,32	1131,38

De la Tabla 5.6 se puede observar que la central de Generación Celso Castellano cuenta con 4 unidades de generación y de la Tabla 5.7 se observa que para el año 2014 el consumo energético de la central de generación fue de 4533.32 [MWh]. Al analizar estos datos, se puede estimar un escenario técnico de operación, en el cual, 3 unidades de generación estarán operando normalmente y una estará en reserva para mantenimiento de las maquinas operativas. Con este escenario se ha calculado que el despacho de energía de cada unidad de generación produce al año 1517,77 [MWh] (Tabla 5.34)

Tabla 5.34. Escenario de despacho de Energía para Lago Agrio

Nombre	Potencia Efectiva (kW)	Potencia Nominal (kW)	Energía Bruta (MWh)
U1	1900	2500	1517,77
U2	1900	2500	1517,77
U3	1900	2500	1517,77
U4	1900	2500	0
Energía Bruta (MWh)			4553,32

Con este análisis se puede comparar que al sustituir el sistema de bombeo doméstico tradicional de AC por un sistema de bombeo doméstico fotovoltaico de DC, se podría omitir una unidad de generación de la planta Celso Castellano.

De igual manera que con análisis del despacho de energía, se puede analizar el consumo de combustible de la central de generación. Se ha calculado que para generar 1517,77 [MWh] en el escenario propuesto, se necesitan 115.597,38 [gal] de Diesel (Tabla 5.34)

Tabla 5.35. Escenario de despacho de Energía para Lago Agrio

Nombre	Potencia Efectiva (kW)	Potencia Nominal (kW)	Diesel ² (gal)
U1	1.900	2.500	115597,38
U2	1.900	2.500	115597,38
U3	1.900	2.500	115597,38
U4	1.900	2.500	0
		Diesel² (gal)	346792,15

En la Tabla 5.35 se indican las Toneladas Equivalentes de Petróleo para los diferentes combustibles usados por algunas centrales térmicas del Ecuador.

Tabla 5.36. Equivalencias de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP)

Combustibles		Equivalencias (TEP)	Total (TEP)
226,48	millones de galones de Fuel Oil	1 gal�n = 0,003404736	771.114,93
207,92	millones de galones de Diesel 2	1 gal�n = 0,003302303	686.627,84
9,95	millones de galones de Nafta	1 gal�n = 0,002907111	28.935,03
18,10	millones de pies cúbicos de Gas Natural	1 pie ³ = 0,022278869	403.263,81
38,95	millones de galones de Residuo	1 gal�n = 0,003302303	128.617,71
56,88	millones de galones de Crudo	1 gal�n = 0,003404736	193.647,39
836,12	miles de Toneladas de Bagazo de Caña*	1 Tonelada = 0,181997480	152.170,96
7,58	millones de galones de LPG	1 gal�n = 0,002046800	15.524,74

Fuente: (CONELEC, 2013)

Se puede relacionar las TEP para comparar los niveles de emisión de CO₂ a la atmósfera que se producen al quemar distintos elementos que afectan al medio ambiente.

Tabla 5.37. Equivalencias de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP)

Equivalencias
1 TEP de Gas Natural=2.10 Ton. de CO ₂
1 TEP de Diesel = 3.28 Ton. de CO ₂
1 TEP de Crudo=3.52 Ton. de CO ₂

Fuente: (Chuquín & Márquez, 2011)

Con las equivalencias de conversión se realizó el c culo de Ton de CO₂ para nuestro escenario de generación en la Planta Celso Castellano.

Tabla 5.38. Equivalencias de (TEP) y (Ton CO₂) para la Planta Celso Castellanos

Combustible		Total (TEP)	Total (Ton CO ₂)
Consumo Diesel por Unidad (Gal):	115597,38	381,74	1252,10
Consumo Diesel Total (Gal):	346792,15	1145,21	3756,30
TOTAL:		1.526,95	5.008,40

Este análisis demuestra que al dejar de generar con una unidad de la central de generación Celso Castellanos, se dejarían de enviar al ambiente 1252,10[Ton CO₂], con lo que se obtendría un mejor ambiente y se contribuiría al mejoramiento del cambio climático.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1.1. COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto de investigación se utilizaron los siguientes equipos y materiales, detallados en cantidad y costo en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1. Costo de equipos y materiales para la Investigación

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Costo Unitario	Costo Total
1	Bomba DC SUMPUM	126 [W]	1	549,00	549,00
2	Regulador de corriente lineal LCB (linear current booster)	25 [VDC]	1	124,99	124,99
3	Medidor de Energía AEMC		1	2048,00	2048,00
4	Fuente de Regulada de Voltaje LAMDA	24 [VDC]	1	225,00	225,00
5	Reductor de voltaje (Negative Booster)	15 [A]	1	46,98	46,98
6	Multímetro Fluke		1	781,85	781,85
7	Pinza Amperimétrica FLUKE		1	298,42	298,42
8	Medidor de Agua		1	45,00	45,00
9	Unión PVC de 1/2 pulgada		2	0,78	1,56
10	Codos 90° PVC de 1/2 pulgada		2	0,78	1,56
11	Tubería PVC de 1/2 pulgada	6 [m]	5	4,20	21,00
12	Cable Paralelo 2x10AWG		30	1,20	36,00
				TOTAL:	4179,36

6.1.2. COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO DE DC

En los costos del sistema de Bombeo fotovoltaico se han tomado en cuenta materiales que existen en el mercado nacional e internacional, por lo que también sus costos tendrán algunas variaciones.

Tabla 6.2. Costo de equipos y materiales del sistema de bombeo de DC

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Bomba DC SUMPUM SDS-T-128	1	533.25	533.25
2	Panel Solar Simax SM572	1	300.00	300.00
3	Baterías Formula Star (FS 110)	2	143.62	287.24
4	Regulador de corriente lineal LCB (linear current booster)	1	124.99	124.99
5	Cable Paralelo 2x10AWG (30 metros)	30	1.10	33.00
TOTAL:				1278.48

6.1.3. COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO MIXTO (AC Y DC)

En los costos del sistema de bombeo mixto se ha eliminado el sistema de almacenamiento de energía (Baterías) y el regulador de corriente lineal. Se implementa un sistema de control para el cambio de modo de operación de corriente continua a corriente alterna.

Tabla 6.3. Costo de equipos y materiales del sistema de bombeo mixto

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unitario	Costo Total
1	Bomba DC SUMPUM SDS-T-128	1	533.25	533.25
2	Panel Solar Simax SM572	1	300.00	300.00
3	Fuente de alimentación LAMBDA In: 120-240 Vac Out: 24 VDC 5A	1	104.00	104.00
4	Cable Paralelo 2x10AWG (30 metros)	30	1.10	33.00
5	Sistema de Control	1	30.00	30.00
TOTAL:				1000.25

6.1.4. COSTOS ENERGÉTICOS PARA SUSTITUIR UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE AC A DC

Basados en los datos de CNEL Sucumbíos (Tabla 5.4), para los clientes residenciales de Lago Agrio se ha establecido que el costo por KWh es de 11.02 centavos de dólar.

Tabla 6.4. Costo Energético para Usuarios Residenciales en Lago Agrio

LUGAR	ENERGÍA TOTAL [KWh] Domicilio (Año)	Cientes en Lago Agrio	ENERGÍA TOTAL [KWh] Lago Agrio (Año)	COSTO kWh	COSTO Total Domicilio (Mes)	COSTO Total Domicilio (Año)	COSTO Total Lago Agrio (Año)
Sitio de Estudio N° 1	353.66	4733	1673867.71	\$0,1102	\$ 3.20	\$38,97	\$ 184,460.22
Sitio de Estudio N° 2	242.36	4733	1147089.88	\$0,1102	\$ 2.35	\$26,71	\$ 126,409.30

Varias empresas generadoras del País, en sus centrales térmicas, disponen de motores de combustión interna (MCI), unidades turbo-vapor o unidades turbo-gas, las mismas que para su funcionamiento utilizan diversos combustibles, como son: fuel oil, diésel 2, nafta, gas natural, crudo, residuo y bagazo de caña. (CONELEC, 2013)

El diésel es el derivado de petróleo de mayor consumo a nivel nacional y dinamiza el desarrollo de diversas actividades productivas.

Desafortunadamente las refinerías del país no satisfacen la demanda nacional. El costo por galón importado de \$ 3.040 dólares (Banco Central del Ecuador, 2014), mientras que el precio del diésel para el consumo del sector eléctrico del país se ha establecido en \$ 0,900704 dólares (Petroecuador, 2015), esto demuestra la existencia de subsidio.

Basados en los datos de la tabla 5.34 se puede realizar el cálculo del consumo de combustible.

Tabla 6.5. Costo en Dólares por Consumo de Diésel en Celso Castellanos

	Combustible (Gal)	Costo Diésel Subsidiado (Gal)	Costo Diésel Sin Subsidio (Gal)	Costo Total Subsidiado (Dólares)	Costo Total Sin Subsidio (Dólares)	Costo Total Sin Subsidio Por Cliente (Dólares)
Consumo Diésel por Unidad:	115597,38	\$ 0,900704	\$ 3,04	\$ 104.119,02	\$ 351.416,04	\$ 74,25
Consumo Diésel Total Planta:	346792,15	\$ 0,900704	\$ 3,04	\$ 312.357,08	\$ 1.054.248,14	\$ 222,74

6.1.5. COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AC POR MULTAS (CONELEC , 2014)

Para los consumidores de la categoría general, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia mensual inferior a 0,92. La penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicada por el siguiente factor: (CONELEC , 2014)

$$Bfp = \left(\frac{0,92}{fpr} \right) - 1 \quad (6.1)$$

Bfp = factor de penalización por bajo factor de potencia

Fpr = factor de potencia registrado

Al analizar el sitio de estudio 1, se sabe que en promedio existe un factor de potencia de 0,882, entonces el Bfp es de 0,043. Para calcular el costo por multas, se toma en cuenta la el costo anual por el consumo de energía \$ 38,97, la comercialización mensual (CONELEC, 2015) es \$ 1,414 y al año es \$ 16,968. El costo por multas a causa del bajo factor de potencia es de \$ 2,40 (\$ 55.938 x 0,043)

6.2. ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar el análisis financiero es necesario buscar un escenario ideal para la factibilidad del proyecto, además, se deben comparar el costo total de los equipos con el ahorro que éste genera.

En los costos mostrados en la Tabla 6.4, se puede apreciar que el aporte anual que realiza el cliente residencial (usuario) por servicio eléctrico por vivienda es de \$ 38.96 dólares. Mientras que en la Tabla 6.5, se puede apreciar que el aporte anual por vivienda que realiza el Estado (Sin subsidio) para la generación eléctrica en función del consumo de Diesel es de \$ 74.25 dólares. El aporte total que se podría realizar en conjunto es \$ 113.22 dólares, el cual, podría ser recuperado en algunos años. Se estima que este valor no se altera en el tiempo, es decir, que cada período (año) se ahorra una cantidad igual y con esto es posible analizar el Valor Actual Neto (Tasa de descuento (Presidencia de la Republica de Ecuador, 2015) $r = 12\%$) y la Tasa Interna de Retorno.

Para el análisis financiero, se han tomado en cuenta los indicadores de rentabilidad de un proyecto. (Brun, Elvira, & Puig, 2008)

- Si el VAN es negativo ($VAN < 0$) la inversión no es aconsejable.
- Si el VAN es positivo ($VAN > 0$) la inversión es recomendable.
- Si la TIR es inferior a la tasa de descuento de la empresa ($TIR < r$), la inversión debería ser desestimada.
- Si la TIR es superior la tasa de descuento de la empresa ($TIR \geq r$), la inversión es factible.

6.2.1. ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 1

En este escenario se ha considerado el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico total, es decir, utilizar toda la inversión para la adquisición de equipos para el bombeo de agua con tensión de DC y no se toma en consideración la inversión que realizan los clientes para la adquisición de bombas tradicionales con tensión de AC.

INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO

ESCENARIO N° 1

CÁLCULO DE INDICADORES DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

EGRESOS

1.1 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN DC

Bomba DC SUMPUM SDS-T-128	533,25
Panel Solar Simax SM572	300,00
Baterías Formula Star (FS 110)	287,24
Regulador de corriente lineal LCB (linear current booster)	124,99
Cable Paralelo 2x10 AWG (30 metros)	33,00

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **1.278,48**

1.2 COSTO MONTAJE Y MANTENIMIENTO ANUAL

Costo de mano de obra	30,00
-----------------------	-------

COSTO TOTAL DEL MONTAJE, INSTALACIÓN **US\$ 30,00**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO **US\$ 1.308,48**

1.3 COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL

Costo anual de mantenimiento de equipos	5,00
---	------

INGRESOS

Costos asumidos por el Cliente	38,96
Costos asumidos por el Estado (diesel sin subsidio)	74,25
Comercialización de la Energía eléctrica (Cliente)	16,97
Multas	2,40

COSTO TOTAL INGRESOS **US\$ 132,58**

FLUJO DE GASTOS

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO
2014		\$1.308	-1.308
2015	\$132,58	\$5	128
2016	\$132,58	\$5	128
2017	\$132,58	\$5	128
2018	\$132,58	\$5	128
2019	\$132,58	\$5	128
-	-	-	-
2025	\$132,58	\$5	128
2026	\$132,58	\$5	128
2027	\$132,58	\$5	128
2028	\$132,58	\$5	128
2029	\$132,58	\$5	128
TOTAL	\$1.989	\$1.383	\$605

TIR
INGRESOS ANUAL
PERIODO DE RECUPERACIÓN
VAN (12%)

5%
US\$ 132,58
10 años
-US\$ 392,47

El resultado de éste análisis financiero demuestra que los sistemas fotovoltaicos son costosos, por lo que requieren de una fuerte inversión inicial con resultados a largo plazo que muchas veces no son muy factibles. Este es el motivo por el cual muchas empresas y personas no utilizan estos sistemas. El proyecto para el escenario N° 1, no resulta factible implementar, debido a que, el valor del VAN resulta negativo, además, el periodo de recuperación resulta muy extenso de 12 años y el TIR tiene un bajo porcentaje 3%, debido a estas condiciones financieras el proyecto es financieramente rechazado.

6.2.2. ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 2

En este escenario se ha considerado el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico total, es decir, utilizar toda la inversión para la adquisición de equipos para el bombeo de agua con tensión de DC, pero en este escenario, si se toma en consideración la inversión que realizan los clientes para la adquisición de bombas tradicionales con tensión de AC.

Para los cálculos de la inversión inicial, se considera la diferencia entre el costo del diseño con tensión en DC menos el diseño con tensión en AC, pues, los usuarios residenciales, generalmente realizan la inversión de la bomba de AC y del cable de alimentación necesario para la instalación.

INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO

ESCENARIO N° 2

EGRESOS

1.1 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN DC

Bomba DC SUMPUM SDS-T-128	533,25
Panel Solar Simax SM572	300,00
Baterías Formula Star (FS 110)	287,24
Regulador de corriente lineal LCB (linear current booster)	124,99
Cable Paralelo 2x10 AWG (30 metros)	33,00

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **1.278,48**

1.2 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN AC

Bomba Pedrollo CPm 620	220,00
Cable Paralelo 2x10 AWG (20 metros)	23,00

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **243,00**

1.3 COSTO MONTAJE Y MANTENIMIENTO ANUAL

Costo de mano de obra	30,00
-----------------------	-------

COSTO TOTAL DEL MONTAJE, INSTALACIÓN **US\$ 30,00**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO EN DC MENOS EL COSTO EN AC **US\$ 1.005,48**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO **US\$ 1.005,48**

1.4 COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL

Costo anual de mantenimiento de equipos	5,00
---	------

INGRESOS

Costos asumidos por el Cliente	38,96
Costos asumidos por el Estado (diesel sin subsidio)	74,25
Comercialización de la Energía eléctrica (Cliente)	16,97
Multas	2,40

COSTO TOTAL INGRESOS **US\$ 132,58**

FLUJO DE GASTOS

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO
2014		\$1.005	-1.005
2015	\$132,58	\$5	128
2016	\$132,58	\$5	128
-	-	-	-
2028	\$132,58	\$5	128
2029	\$132,58	\$5	128
TOTAL	\$1.989	\$1.080	\$908

TIR
INGRESOS ANUAL
PERIODO DE RECUPERACIÓN
VAN (12 %)

9%
US\$ 132,58
8 años
-US\$ 121,93

El resultado del análisis financiero del escenario N° 2 demuestra que el sistema de bombeo aún resulta muy costoso, por lo que requieren de una fuerte inversión inicial con resultados a largo plazo que muchas veces no son muy factibles. Para este caso el resultado obtenido no resulta factible implementar, debido a que, el valor del VAN resulta negativo, el periodo de recuperación resulta muy extenso de 8 años y el TIR tiene un bajo porcentaje 9%, debido a estas condiciones financieras el proyecto es financieramente rechazado.

6.2.3. ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 3

En este escenario se ha considerado el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico mixto, es decir, parte de la inversión fue para la adquisición de equipos que funcionen normalmente con tensión de DC y que también funcione en AC, pero no se toma en consideración la inversión que realizan los clientes para la adquisición de bombas tradicionales con tensión de AC.

INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO

ESCENARIO N° 3

EGRESOS

1.1 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN DC

Bomba DC SUMPUM SDS-T-128	533,25
Panel Solar Simax SM572	300,00
Fuente de alimentación LAMBDA In: 120-240 Vac Out: 24 VDC, 5A	104,00
Cable Paralelo 2x10 AWG (30 metros)	33,00

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **970,25**

1.2 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN AC

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **0,00**

1.3 COSTO MONTAJE Y MANTENIMIENTO ANUAL

Costo de mano de obra 30,00

COSTO TOTAL DEL MONTAJE, INSTALACIÓN **US\$ 30,00**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO EN DC MENOS EL COSTO EN AC **US\$ 940,25**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO **US\$ 940,25**

1.4 COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL

Costo anual de mantenimiento de equipos 5,00

INGRESOS

Costos asumidos por el Cliente	38,96
Costos asumidos por el Estado (diesel sin subsidio)	74,25
Comercialización de la Energía eléctrica (Cliente)	16,97
Multas	2,40

COSTO TOTAL INGRESOS **US\$ 132,58**

FLUJO DE GASTOS

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO
2014		\$940	-940
2015	\$132,58	\$5	128
2016	\$132,58	\$5	128
2017	\$132,58	\$5	128
-	-	-	-
2027	\$132,58	\$5	128
2028	\$132,58	\$5	128
2029	\$132,58	\$5	128
TOTAL	\$1.989	\$1.015	\$973

TIR
INGRESOS ANUAL
PERIODO DE RECUPERACIÓN
VAN (12 %)

11%
US\$ 132,58
7 años
-US\$ 63,69

El resultado del análisis financiero del escenario N° 3 demuestra que el sistema de bombeo aún resulta muy costoso, por lo que requieren de una fuerte inversión inicial con resultados a largo plazo que muchas veces no son muy factibles. Para este caso el resultado obtenido no resulta factible implementar, debido a que, el valor del VAN resulta negativo, el periodo de recuperación resulta muy extenso de 8 años y el TIR tiene un bajo porcentaje 8%, debido a estas condiciones financieras el proyecto es financieramente rechazado.

6.2.4. ANÁLISIS FINANCIERO ESCENARIO N° 4

En este escenario se ha considerado el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico mixto, es decir, utilizar toda la inversión para la adquisición de equipos para el bombeo de agua con tensión de DC y que también funcione en AC y además, si se toma en consideración la inversión que realizan los clientes para la adquisición de bombas tradicionales con tensión de AC.

INVESTIGACIÓN COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO Y UN SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO PARA IMPLEMENTARSE EN LAGO AGRIO

ESCENARIO N° 4

EGRESOS

1.1 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN DC

Bomba DC SUMPUM SDS-T-128	533,25
Panel Solar Simax SM572	300,00
Fuente de alimentación LAMBDA In: 120- Out: 24 VDC, 5A	104,00
Cable Paralelo 2x10 AWG (30 metros)	33,00
Sistema de Control	30,00

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **1.000,25**

1.2 COSTO EQUIPOS Y MATERIALES CONTROL EN AC

Bomba Pedrollo CPm 620	220,00
Cable Paralelo 2x10 AWG (20 metros)	23,00

COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES EN DC **243,00**

1.3 COSTO MONTAJE Y MANTENIMIENTO ANUAL

Costo de mano de obra	30,00
-----------------------	-------

COSTO TOTAL DEL MONTAJE, INSTALACIÓN **US\$ 30,00**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO EN DC MENOS EL COSTO EN AC **US\$ 727,25**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO **US\$ 727,25**

1.4 COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL

Costo anual de mantenimiento de equipos	5,00
---	------

INGRESOS

Costos asumidos por el Cliente	38,96
Costos asumidos por el Estado (diesel sin subsidio)	74,25
Comercialización de la Energía eléctrica (Cliente)	16,97
Multas	2,40

COSTO TOTAL INGRESOS **US\$ 132,58**

FLUJO DE GASTOS

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO
2014		\$727	-727
2015	\$132,58	\$5	128
2016	\$132,58	\$5	128
-	-	-	-
2028	\$132,58	\$5	128
2029	\$132,58	\$5	128
TOTAL	\$1.989	\$802	\$1.186

TIR
INGRESOS ANUAL
PERIODO DE RECUPERACIÓN
VAN (12%)

16%
US\$ 132,58
6 años
US\$ 126,49

El resultado del análisis financiero del escenario N° 4 demuestra que el sistema de bombeo ya es rentable. Para este caso, el resultado obtenido resulta factible implementar, debido a que, el valor del VAN genera un resultado positivo, el periodo de recuperación resulta de 6 años y el TIR tiene un porcentaje 16%, debido a estas condiciones financieras el proyecto es financieramente aceptable.

6.3. ANÁLISIS FINANCIERO AMBIENTAL

El proyecto es financieramente rentable y aceptable, en el escenario N° 4, sin tomar en consideración la reducción de toneladas de CO₂ que se dejaron de emitir al medio ambiente.

Al analizar financieramente al sector ambiental, se puede aprovechar las posibilidades que tiene el Ecuador con respecto al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL/CDM), una de las novedosas herramientas ideadas en el contexto del Protocolo de Kyoto para impulsar la lucha al cambio climático a través de incentivos.

Unidad financiera utilizada para el mercado de carbono son los Certificados de Reducción de Emisiones (CER) y es igual a 1 tonelada de CO₂ eq. (Ministerio del Ambiente, 2009)

Tabla 6.6. Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de CO₂

Precios	EUA (Spot)	CER (Spot)	EUA (Spot)	CER (Spot)
Cierre	7,39 €	0,50 €	\$ 8,28	\$ 0,56
	-0,54%	-1,96%	-0,54%	-1,96%
Máximo	7,56 €	0,51 €	\$ 8,47	\$ 0,57
Mínimo	7,20 €	0,50 €	\$ 8,06	\$ 0,56
Media (30 días)	7,09 €	0,52 €	\$ 7,94	\$ 0,58
Promedio abril 2015	7,09 €	0,51 €	\$ 7,94	\$ 0,57

Fuente: (SENDECO, 2015)

El costo de los Certificados de Reducción de Emisiones (CER) ha tenido una caída en el mercado bursátil, tal como se puede apreciar en la Figura 6.1

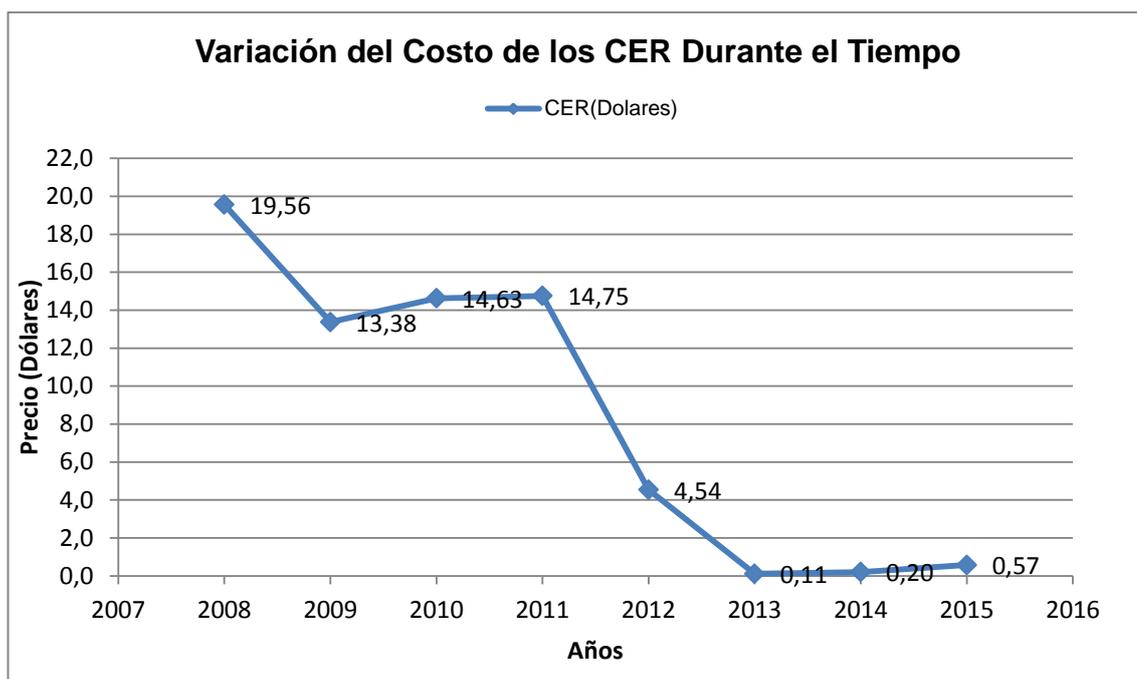


Figura 6.1. Variación del Costo de los CER's Durante el Tiempo

Fuente: (SENDECO, 2015)

Al analizar la tabla 5.37 se pudieron obtener las toneladas de CO₂ que podrían reducirse al implementar el sistema más adecuado. El dato de emisiones es 1252,10 ton CO₂, es decir, que se pueden obtener 1252,10 CER's y al precio promedio de \$ 0,57 dólares, lo que produce un costo total al año de \$ 713,79 dólares.

Al contrastar este valor con el año 2012, cuando el costo de los CER's se encontraba a \$ 14,75 dólares se pudo obtener un ingreso de \$ 18.468,47 dólares.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Se comprobó que el recurso solar existente en la ciudad de Lago Agrio, puede ofrecer una solución válida técnicamente, para el bombeo de agua de uso doméstico, que puede ser utilizado tanto en zonas urbanas como rurales.
- Se demostró teóricamente durante la etapa de diseño y con datos del fabricante de la bomba de DC, que el sistema más adecuado y eficiente es el que funciona a una tensión de 24 VDC, ya que al aumentar la tensión de operación de 12 VDC a 24 VDC, el tiempo de llenado se reduce de 15.254 [Hrs] a 6.818 [Hrs], para conseguir el volumen necesario requerido por el reservorio secundario de 2700 [lts], es decir que, se reduce el tiempo de llenado del tanque de almacenamiento de agua y se puede aprovechar de mejor manera las horas de sol promedio máximas (HSP_M).
- Se determinó teóricamente durante la etapa de diseño y con datos del fabricante del Panel Fotovoltaico, que el sistema más adecuado y eficiente es el que funciona a una tensión de 24 VDC, ya que al realizar el diseño con 12 VDC para el sitio de estudio N° 1, se

requieren 3 paneles en paralelo y 1 en serie, es decir, que para que el sistema funcione se requiere como mínimo 3 paneles, a diferencia del diseño con 24 VDC, donde para el mismo sitio de estudio se requieren, 1 panel en serie y 1 en paralelo, es decir, que con un solo panel podemos producir el resultado deseado para el bombeo en DC.

- Se determinó que las tensiones armónicas producidos durante el tiempo en que permanece encendida la bomba de AC, no exceden los límites establecidos por la normativa establecida por el CONELEC y por la IEEE 591-2014 para evaluación de la calidad de energía en función de las tensiones armónicas, es decir, se mantienen dentro del parámetro establecido, menor al 5% del armónico individual y el THD se mantiene menor al 8 %.
- Se determinó que las corrientes armónicas producidos durante el tiempo en que permanece encendida la bomba de AC, exceden los límites establecidos por la normativa establecida por el CONELEC y por la IEEE 591-2014 para evaluación de la calidad de energía en función de las corrientes armónicas, es decir, para los armónicos de orden 3 al 9 son los que no se mantienen dentro del parámetro establecido de menos del 4% y el THD no se mantiene menor al 5%, esto puede produce calentamiento adicional en la bomba, reducción del tiempo del vida útil y limita la eficiencia de la misma.
- Se demostró en la bomba que opera con tensión de DC, que mientras se aumenta la altura de bombeo, la potencia que consume también se incrementa, es decir, casi siguiendo una tendencia lineal ascendente, además, al continuar aumentando la altura el caudal empezará a disminuir, es decir, casi siguiendo una tendencia lineal descendente. De esta manera se verificó que los datos del fabricante se acercan a la realidad.

- Se determinó con el análisis energético que una unidad de generación de la planta Celso Castellano produce 1517,77 [MWh] al año, además, el consumo en conjunto de Lago Agrio puede oscilar entre 1131,38 [MWh] y 1540,88 [MWh], es decir, al sustituir el sistema de bombeo doméstico tradicional de AC por un sistema de bombeo domestico fotovoltaico de DC, se dejar de necesitar una unidad de generación de la planta Celso Castellano o alguna unidad de generación con la energía equivalente que se sustituiría.
- Se calculó que para generar 1517,77 [MWh] con una unidad de la central de generación Celso Castellanos, se necesitan 115.597,38 [gal] de Diesel. Al transformar el diesel consumido en Ton CO₂, se obtiene un equivalente de 1252,10 [Ton CO₂], es decir, deja de enviar al ambiente las Ton CO₂ calculadas, con lo que se obtendría un mejor ambiente y se contribuiría al mejoramiento del cambio climático.
- Se comprobó financieramente que el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico mixto, es decir, un sistema de bombeo de agua con tensión de DC y que también funcione en AC, resulta ser el sistema de bombeo más rentable, debido a que, el valor del VAN genera un resultado positivo, el periodo de recuperación resulta de 6 años y el TIR tiene un porcentaje 16%, estas condiciones financieras, hacen que el proyecto sea financieramente aceptable.
- Se determinó que al implementar el sistema de bombeo de DC, se lograría reducir en 1252,10 ton CO₂ las emisiones de CO₂ que se liberan al ambiente, actualmente se pueden obtener 1252,10 CER's y al precio promedio de \$ 0,57 dólares, produce un costo total al año de \$ 713,79 dólares por el proyecto con MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio). Al contrastar este valor con el año 2012, cuando el costo de los CER's se encontraba a \$ 14,75 dólares, dónde se pudo obtener un ingreso de \$ 18.468,47 dólares. Estos datos demuestran, que al

buscar otro tipo de financiamiento adicional para un proyecto con MDL, el financiamiento será mínimo.

7.2. RECOMENDACIONES

- Se podría implementar el sistema de bombeo de DC para otras localidades, donde no exista un buen suministro de agua potable o en comunidades rurales alejadas.
- Se podría buscar formas de reducir costos, con acuerdos entre el Estado y los fabricantes de los equipos fotovoltaicos, debido al elevado número de materiales que se podrían requerir, para implementar los sistemas de bombeo en las viviendas convencionales.
- Se podría trabajar directamente con las empresas de agua potable, para diseñar un sistema que se adecue a las necesidades de los clientes y que permita potencializar la distribución de agua.
- Se debería estimular el estudio de este tipo de sistemas, los cuales están basados en el uso de energía renovable, tomando en cuenta que el agotamiento de recursos no renovables y la contaminación que causa la energía convencional, pues, se está llegando a niveles críticos donde se produce una afectación directa al entorno donde nos desarrollamos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldabe, S., & Aramendia, P. (2013). *Química 1 - Fundamentos*. Colihue.
- Alliance to Save Energy. (2013). *Water and Energy Efficiency*. Obtenido de <http://www.ase.org/resources/water-and-energy-efficiency>
- Alonso Abella, M. (2005). *Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. SAPT Publicaciones Técnicas.
- Alonso, M., & Chenlo, F. (2009). *CIEMAT - Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45334/componente45332.pdf
- AME. (2014). *Municipio de Lago Agrio*. Obtenido de <http://www.ame.gob.ec/ame/index.php/ley-de-transparencia/56-mapa-cantones-del-ecuador/mapa-sucumbios/196-canton-lago-agrio>
- Aqueveque, E. (2009). *Bombeo de agua para riego en Cerro Calán utilizando energía solar fotovoltaica*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE CHILE TESIS: www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-aqueveque_em/sources/cf-aqueveque_em.pdf
- Arija, D. (2010). *Prototipo de Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Proyectos de Cooperación al Desarrollo*. Obtenido de <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20Avid%20Arija>
- Asamblea Nacional. (2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador*. Obtenido de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Banco Central del Ecuador. (2014). *Cifras del Sector Ecuatoriano*. Obtenido de <http://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cspe201484.pdf>
- Barber Lloret, P. (2008). *Maquinaria de obras públicas III*. Club Universitario.
- Benalcázar, D., & Guerra, A. (2012). *Biblioteca Digital EPN*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4510/1/CD-4129.pdf>

Benavides, E., & Rosario, H. (2010). *Implementación de un Sistema de Regulación para el Seguimiento del Punto De Máxima Potencia en Paneles Fotovoltaicos*. Obtenido de Biblioteca Digital EPN:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2656/1/CD-3339.pdf>

Berru, R., & Uteras, S. (2009). *Diseño y Construcción de un Sistema de Bombeo de Agua con Energía Solar Fotovoltaica para el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM*. Obtenido de Repositorio Digital ESPE:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/337/1/T-ESPE-027403.pdf>

Brun, X., Elvira, O., & Puig, X. (2008). *Matemática Financiera y Estadística Básica*. Barcelona: Bresca.

CENIDET. (2009). *Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. Obtenido de
http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/233MC_jch.pdf

Centro de Ecotecnologías y Desarrollo Sustentable. (2007). *DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA*. Obtenido de
<http://cecodes.net/files/cap4%20captacion%20de%20agua%20de%20lluvia.pdf>

Chuquín, N., & Márquez, F. (2011). *Diseño, Construcción y Pruebas de un Sistema Publicitario Alimentado con Energía Solar*. Obtenido de
<http://dSPACE.espe.edu.ec/bitstream/123456789/888/1/15T00466.pdf>

CNEL Sucumbíos. (2014). *Informe de Consumo Energético y Número de Clientes*. Lago Agrio.

CONELEC . (2014). *Pliego Tarifario para Empresas Eléctricas de Distribución*. Obtenido de
http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10708_PLIEGO_TARIFARIO_SE_2014.pdf

CONELEC. (2008). *Atlas Solar del Ecuador*. Obtenido de
http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf

CONELEC. (2013). *Boletín Estadístico 2013*. Obtenido de
http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/doc_10485_est2013.pdf

CONELEC. (2014). *Balance Estadístico de Energía del SNI*. Obtenido de
<http://geportal.regulacioneolica.gob.ec/visor/index.html>

- CONELEC. (2014). *Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución (Regulación No. CONELEC 004/01)*. Obtenido de http://www.conelec.gob.ec/normativa_detalle.php?cd_norm=23
- CONELEC. (2014). *Número de Clientes Anuales con Servicio Eléctrico*. Obtenido de http://sismo.conelec.gob.ec:8080/jpivot/STPivot?query=precio_medio_energia_clientes_finales_anual&tipo=anual
- CONELEC. (2014). *Resumen de Energía Producida*. Obtenido de http://sismo.conelec.gob.ec:8080/jpivot/STPivot?query=clientes_finales_anual_01&tipo=anual
- CONELEC. (2015). *Cargos Tarifarios*. Obtenido de http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10709_Cargos%20Tarifarios.pdf
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: MacGranHil.
- FAO Corporate Document Repository. (2007). *SOLAR POWER*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/010/ah810e/AH810E11.htm>
- Fink, D. (2010). *MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA*. México: MCGRAW-HILL.
- García, M., & Arribas, L. (1999). *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*. IEPALA Editorial.
- Giles, R. V. (2003). *MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E HIDRÁULICA*. Madrid: Mcgraw-HILL.
- Gutiérrez, A. (2008). *Calculos Hidráulicos*. Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45605/componente45603.pdf
- IEEE STANDARDS ASSOCIATION. (2014). *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Obtenido de Normativa IEEE 519-2014 : <http://academic.udru.ac.th/~banyat/Tips/IEEEStd519-2014.pdf>

- INEN. (1997). *Código de Práctica para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.cpe.5.9.2.1997.pdf>
- INEN. (2009). *Tubería Plástica. Tubos de PVC Rígido Unión por Rosca. Cedula 80*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2497.2009.pdf>
- INEN. (2010). *Uso Eficiente de Energía en Bombas centrífugas de Agua Potable de Uso Residencial*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2517.2010.pdf>
- Ingenecanica. (2013). *Cálculo de Instalaciones de Bombeo de Agua*. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html#seccion32>
- International Conference on Environmental Science and Development. (2013). *Renewable Energy for Pump Stations Operation in Delta Region in the Nile*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212670813000912>
- ITACA Asesoramiento Energético. (2009). *Guía de Proyectos de Bombeo Agua con Energía Fotovoltaica*. Obtenido de http://www.itacanet.org/esp/electricidad/Guia_Bombeo_Agua_Energia_Fotovoltaica_Vol1_Libro_de_consulta.pdf
- Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. (2011). *Design of Photovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered Pump*. Obtenido de <http://jjmie.hu.edu.jo/files/v5n3/JJMIE%20252-09.pdf>
- Lillo Bravo, I. (2010). *Metodología de diseño de Instalaciones PV Aisladas*. España: Universidad de Sevilla.
- Madrid, A. (2009). *Energías renovables: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2013). *Balance Energético Nacional 2013*. Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/Balance-Energe%CC%81tico-Nacional-2013-base-2012.pdf>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/empresarios-alemanes-intercambian-con-sectores-estrategicos-experiencias-en-energia-renovable/>. Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/empresarios-alemanes-intercambian-con-sectores-estrategicos-experiencias-en-energia-renovable/>

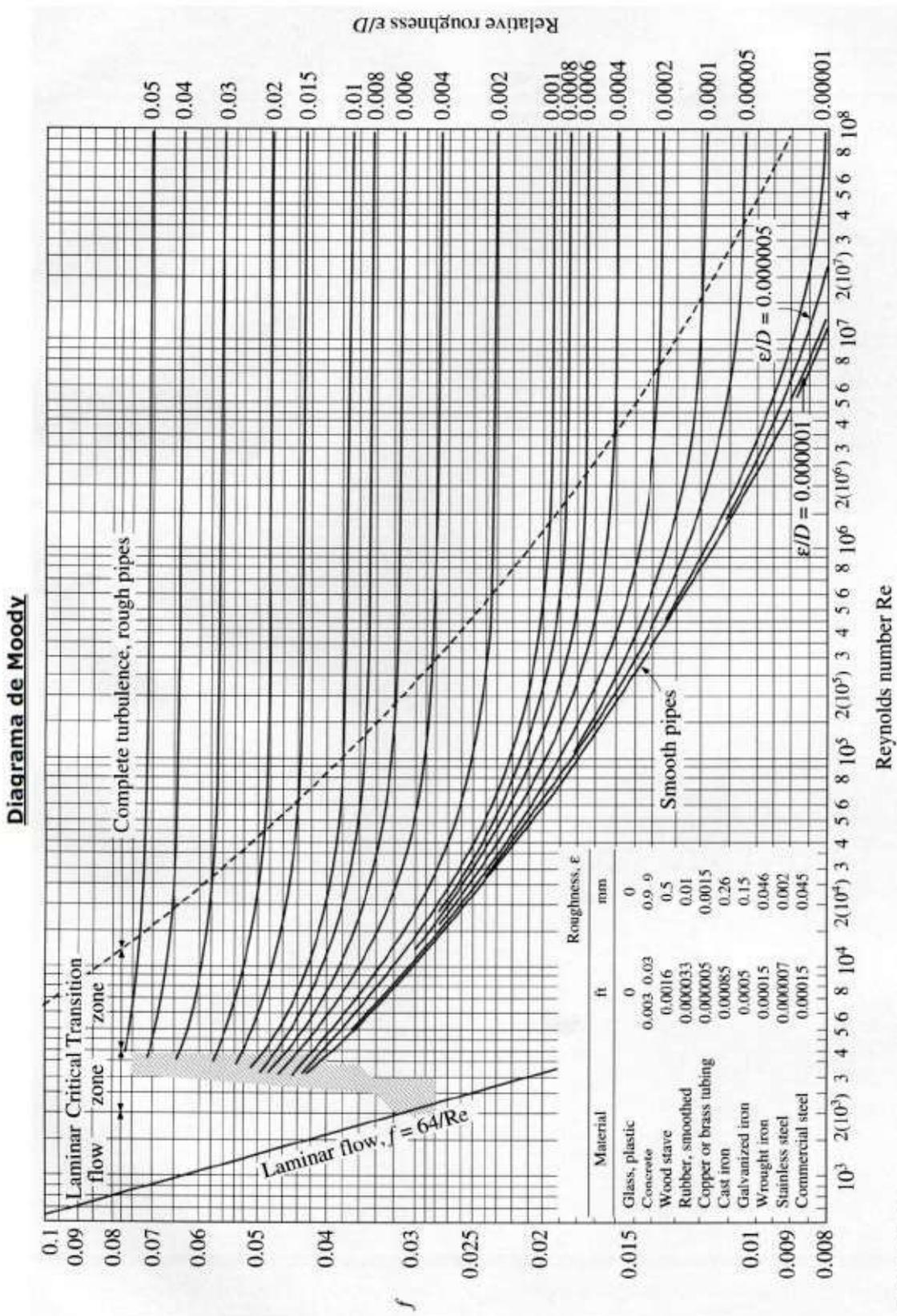
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2011). *Estado actual y perspectivas de la energía solar térmica en el Ecuador*. Obtenido de <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Current%20Status%20and%20Perspectives%20of%20Solar%20Thermal%20%20in%20Ecuador%20%282011%29.ppt>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2012). *Informe De Rendición De Cuentas 2012*. Obtenido de <http://190.152.98.92/PORTAL/rc2013.pdf>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Proyecto Eólico Baltra Santa Cruz*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/cero-combustibles-fosiles-en-galapagos-2/>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Proyecto Eólico Villonaco*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/villonaco-inicio-operaciones/>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Proyecto Fotovoltaico - Puerto Ayora*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/cero-combustibles-fosiles-en-galapagos-2/>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Proyecto Piñon - Galápagos*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/direccion-energia-renovable/>
- Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. (2015). *Electrificación Rural con Energías Renovables*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/>
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Mecanismo de Desarrollo Limpio: Oportunidades para el Ecuador*. Obtenido de http://www.tech4cdm.com/userfiles/SesionMDL_oportunidades_para_Ecuador.pdf
- Municipio de Lago Agrio. (2014). *Informe de Suministro de Agua Potable*. Lago Agrio.
- Normativa Electrica de la Construccion NEC. (2011). *NORMA HIDROSANITARIA NHE*. Obtenido de <http://www.cimeg.org.ec/normasne/NEC2011-CAP.16-NORMA%20HIDROSANITARIA%20NHE%20AGUA-021412.pdf>
- Pérez, A. (2009). *Ingeniería del medio ambiente*. Club Universitario.

- Petroecuador. (2015). *Precios de Venta del Combustible en Ecuador*. Obtenido de http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh_docsusogeneral/002220.pdf
- Presidencia de la Republica de Ecuador. (2015). *Fortalecimiento de las Capacidades Estratégicas Institucionales*. Obtenido de http://www.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/k5_proyecto_actualizado_fortalecimiento_05_03_15_senplades.pdf
- Repositorio Digital PUCE. (2010). *Aplicación de la Energía Solar Fotovoltaica a un Sistema de Bombeo de Agua Potable*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/22000/2664/1/T-PUCE-3424.pdf>
- SENDECO. (2015). *Sistema Electrónico de Negociación de Emisión de CO2*. Obtenido de <http://www.sendeco2.com/index.asp>
- Soriano, A., & Pancorbo, J. (2012). *Suministro, Distribución y Evacuación Interior de Agua Sanitaria*. España: Marcombo.
- United States Department of Agriculture. (2009). *Determining the Optimum Solar Water Pumping System for Domestic Use*. Obtenido de <http://naldc.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=46008&content=PDF>
- Universidad de Stanford. (2009). *SOLAR (PHOTOVOLTAIC) WATER PUMPING*. Obtenido de http://web.stanford.edu/group/solarbenin/references/solar_pv_waterpumping.pdf
- Universidad Estatal de Washington. (2014). *Solar Energy in Washington State*. Obtenido de http://www.energy.wsu.edu/documents/WSU%20Energy%20Program%20Report%20and%20Questions_Solar%20Energy%20in%20WA_June%2026%202014.pdf

ANEXOS

ANEXO A

DIAGRAMA DE MOODY



ANEXO B

CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA SUMERGIBLE SDS-T-128



.75 to 2.75 GPM
2.5 to 10.4 LPM

Quality First!

SDS-T SERIES DC SUBMERSIBLE PUMPS

- **Low Cost**
- **Super Strong Ryton & Stainless Steel Construction**
- **Fits In a 4" Well**
- **Flow Rates Up to 2.5 GPM and Heads Up to 230'**
- **316 SS Housing**



T-Series (Triplex)

3.8" (96.5mm) O.D.
12.25" (311mm) Ht.
11 lbs. (5kg) Wt.

SDS-T-135
2.45 GPM - 80' TDH

SDS-T-130
2.25 GPM - 115' TDH

SDS-T-128
1.6 GPM - 230' TDH

SunPumps SDS-T series pumps are low cost, high efficiency, positive displacement submersibles designed to be an economical solution for the "solar water pumping" industry. Constructed of Super Strong Ryton and 316 Stainless Steel these pumps are extremely durable and corrosion resistant.

The design is an off-spring of the already time proved SDS-Q series pump. There are three standard models to choose from using 316 Stainless Steel housings. The same pumps can be special ordered with the 316 Stainless Steel housing and 316 SS hardware for highly corrosive water.

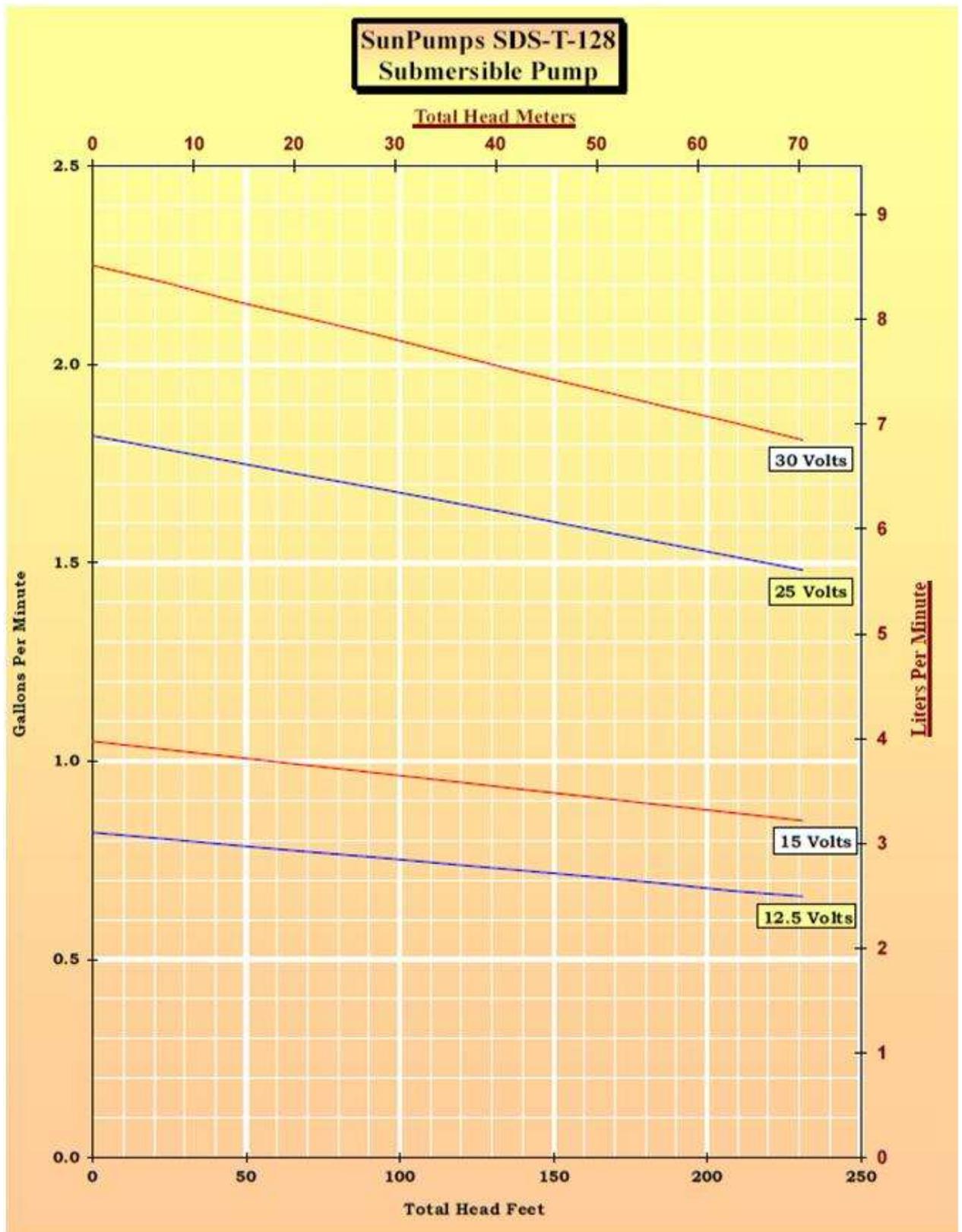
They operate on 12 to 30 volts DC that may be supplied from a variety of independent sources including solar panels or batteries. It is the ideal way to provide water for remote homes, campsites, livestock, small farms or for many other needs beyond the power grid.

**Independent Water
Pumping Systems**

Made In America

Phone: (928) 348-9652

Fax: (928) 348-9653



12 Volt Battery

PSI	TDH Feet	TDH Meters	Motor Voltage	Motor Amps	U.S. GPM	LPM	Motor Watts	Peak Panel Watts*	System Efficiency
0	0	0.0	12.5	0.96	0.86	3.3	12	15	0%
10	23	7.0	12.5	1.24	0.81	3.1	16	19	23%
20	46	14.1	12.5	1.56	0.77	2.9	20	24	34%
30	69	21.1	12.5	1.86	0.74	2.8	23	29	42%
40	92	28.2	12.5	2.14	0.72	2.7	27	33	47%
50	116	35.2	12.5	2.40	0.70	2.6	30	38	51%
60	139	42.3	12.5	2.71	0.68	2.6	34	42	52%
70	162	49.3	12.5	2.99	0.66	2.5	37	47	54%
80	185	56.3	12.5	3.25	0.64	2.4	41	51	55%
90	208	63.4	12.5	3.52	0.62	2.3	44	55	55%
100	231	70.4	12.5	3.83	0.60	2.3	48	60	55%

17 Volt Panel Direct

PSI	TDH Feet	TDH Meters	Motor Voltage	Motor Amps	U.S. GPM	LPM	Motor Watts	Peak Panel Watts*	System Efficiency
0	0	0.0	15	1.04	1.04	3.9	16	20	0%
10	23	7.0	15	1.33	0.97	3.7	20	25	21%
20	46	14.1	15	1.64	0.94	3.5	25	31	33%
30	69	21.1	15	1.95	0.91	3.4	29	37	41%
40	92	28.2	15	2.22	0.89	3.4	33	42	47%
50	116	35.2	15	2.47	0.87	3.3	37	46	51%
60	139	42.3	15	2.75	0.85	3.2	41	52	54%
70	162	49.3	15	3.05	0.83	3.1	46	57	55%
80	185	56.3	15	3.40	0.81	3.1	51	64	55%
90	208	63.4	15	3.68	0.79	3.0	55	69	56%
100	231	70.4	15	4.10	0.78	3.0	62	77	55%

24 Volt Battery

PSI	TDH Feet	TDH Meters	Motor Voltage	Motor Amps	U.S. GPM	LPM	Motor Watts	Peak Panel Watts*	System Efficiency
0	0	0.0	25	1.25	1.73	6.5	31	39	0%
10	23	7.0	25	1.54	1.65	6.2	39	48	19%
20	46	14.1	25	1.88	1.59	6.0	47	59	29%
30	69	21.1	25	2.22	1.54	5.8	56	69	36%
40	92	28.2	25	2.45	1.50	5.7	61	77	43%
50	116	35.2	25	2.72	1.47	5.6	68	85	47%
60	139	42.3	25	2.97	1.44	5.5	74	93	51%
70	162	49.3	25	3.25	1.41	5.3	81	102	53%
80	185	56.3	25	3.50	1.38	5.2	88	109	55%
90	208	63.4	25	3.85	1.35	5.1	96	120	55%
100	231	70.4	25	4.15	1.32	5.0	104	130	55%

34 Volt Panel Direct

PSI	TDH Feet	TDH Meters	Motor Voltage	Motor Amps	U.S. GPM	LPM	Motor Watts	Peak Panel Watts*	System Efficiency
0	0	0.0	30	1.35	2.04	7.7	41	51	0%
10	23	7.0	30	1.67	1.96	7.4	50	63	17%
20	46	14.1	30	2.00	1.89	7.2	60	75	27%
30	69	21.1	30	2.35	1.85	7.0	71	88	34%
40	92	28.2	30	2.60	1.80	6.8	78	98	40%
50	116	35.2	30	2.82	1.76	6.7	85	106	45%
60	139	42.3	30	3.07	1.72	6.5	92	115	49%
70	162	49.3	30	3.33	1.69	6.4	100	125	51%
80	185	56.3	30	3.60	1.66	6.3	108	135	53%
90	208	63.4	30	3.90	1.63	6.2	117	146	55%
100	231	70.4	30	4.21	1.60	6.1	126	158	55%

* Using a 70% deration factor

SDS-T-128 Exploded View Ryton / 304 Stainless Steel



Parts List

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	40425	Motor, SDS Long
2	1	41275	End Cap, Triplex
3	4	38845	O-Ring, Housing, 234
4	1	41300	Motor Adapter, Triplex
5	2	20850	10-32 X 2 SHCS SS
6	5	21775	Washer, AN-660 #10 FM SS
7	1	40350	Housing, SDS SS
8	1	41245	Discharge Head Cap
9	1	41081	Salt Screw, 3/8-16 X 1/2
10	1	41125	Cam Assembly, T-128
11	1	41360	Outer Piston Assembly
13	1	41225	Diaphragm, SDS-T-128 (Rtd)
14	1	41180	Check Valve Assembly, SDS-T
15	3	20650	10-32 X 1 FH Piston Screw
16	1	41375	Retier Valve Assembly, T-128
17	1	41425	Suction Screen, Triplex
18	1	19880	1-Box 1/4 X 1 & Nut Assembly
19	3	20630	10-32 X 3.5 SHCS SS
20	1	41335	O-Ring, Triplex CV 2 X 36mm
21	8	41437	Screw, 8-32 X 3/8
22	1	41430	Cable Guard, Triplex
23	1	41250	Discharge Head, SDS-T, NPT
24	1	38805	O-Ring, Retier Valve O15
25	6	38800	O-Ring, 000
26	3	41355	Piston, Triplex Brass

SunPumps, Inc.
 TITLE: SDS-T-128 Parts List
 APPROVED: [Signature]
 DATE: 5/16/50
 SCALE: C
 SHEET: 1 OF 1