



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS DE CAPACITACIÓN, CASO DE ESTUDIO

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN EFICIENCIA
ENERGÉTICA

JEAN CARLOS SIMANCAS VARGAS

jean-k.21@hotmail.com

DIRECTOR: DR. – ING. PAÚL MARCELO POZO PALMA

marcelo.pozo@epn.edu.ec

QUITO, MARZO 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **JEAN CARLOS SIMANCAS VARGAS** bajo mi supervisión.

Dr. - Ing. Paúl Marcelo Pozo Palma
DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, Jean Carlos Simancas Vargas, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jean Carlos Simancas Vargas

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedicó a Dios por haberme cuidado y guiado durante todo el transcurso de este proyecto, pudiendo culminarlo finalmente con éxito.

A mis padres Arturo Tirado y Digna Arévalo y mi madre Myrian Elizabeth Vargas, los cuales, siempre con su apoyo incondicional hicieron que todo este esfuerzo valga mucho la pena.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme estar con vida y poder disfrutar de esta meta importante en mi vida, por haberme ayudado con personas, lugares y momentos que hicieron posible que hoy este presente entregando el resultado final de este trabajo, el resultado final de este esfuerzo.

A mis padres Arturo Tirado y Digna Arévalo, por su apoyo incondicional en todo momento, siempre han sido y serán motivos para seguir adelante en mi camino.

A Maribel Chango, que con su amor, apoyo y paciencia, me animó a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mis amigos y familiares que con sus palabras de aliento me motivaron a terminar este proyecto en mi vida como es el Postgrado en Eficiencia Energética.

Al Ing. Washington Moreno, amigo que me motivó a seguir desarrollándome profesionalmente, y el cual impregnó en mí la idea de que la preparación y superación académica no tiene límites.

Al Ing. Alecksey Mosquera por su apoyo durante todo el transcurso de este trabajo, haciendo posible que lo pueda realizar de la mejor manera motivándome siempre a seguir adelante.

Al Dr. – Ing. Paúl Marcelo Pozo, por haberme ayudado a culminar tan importante proyecto en mi vida.

Y a la Escuela Politécnica Nacional, por haberme abierto las puertas y permitirme contar ahora con una herramienta más para el éxito en mi futuro y superación profesional.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Certificación	i
Declaración	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice de contenidos	v
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xii
Resumen	xiv
Abstract.....	xv
Presentación	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo general	1
1.2.1. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Justificación del Proyecto	2
1.4. Metodología.....	3
1.5. Normas aplicadas para el análisis de los sistemas	3
2. SISTEMAS ENERGÉTICOS UTILIZADOS EN EL EDIFICIO DEL SECAP - ADMINISTRACIÓN CENTRAL	4
2.1. Descripción del edificio de administración central del SECAP	4
2.2. Máquinas eléctricas de mayor consumo.....	5
2.2.1. Características de los ascensores del SECAP	6
2.2.1.1. Funcionamiento de los ascensores del SECAP	7
2.2.2. Características de las bombas de agua principales del SECAP	8
2.2.2.1. Determinación de las curvas de operación “H vs. Q” y “Q vs. H” para las bombas principales.....	10
2.2.3. Características de la bomba de agua secundaria.....	12
2.2.3.1. Determinación de las curvas “H vs. Q” y “Q vs. H” para la bomba secundaria	14

2.3. Análisis de la facturación eléctrica	16
2.3.1. Tipo de tarifa eléctrica para el edificio del SECAP	17
3. MEDICIONES PREVIAS Y PROCESAMIENTO	18
3.1. Medición del estado inicial de la iluminación en las aulas de capacitación del SECAP	18
3.1.1. Consumo eléctrico inicial de iluminación en un aula de capacitación.....	20
3.2. Medición del estado inicial de las bombas de agua principales	21
3.3. Medición del estado inicial de la bomba de agua secundaria	25
3.4. Medición del estado inicial de los motores de los ascensores	28
3.4.1. Subidas y bajadas antes de eficiencia energética	28
3.4.2. Análisis para el ascensor 1.....	29
3.4.2.1. Análisis de potencia para el ascensor 1	29
3.4.2.2. Ascensor 1 en reposo	30
3.4.2.3. Ascensor 1 en movimiento (Subida o Bajada)	31
3.4.3. Análisis de potencia para el ascensor 2	32
3.4.3.1. Ascensor 2 en reposo	34
3.4.3.2. Ascensor 2 en movimiento (Subida o Bajada)	34
3.5. Registro de energía en los motores de los ascensores	35
3.5.1. Análisis del consumo de energía para ascensor 1	35
3.5.2. Análisis del consumo de energía para ascensor 2	38
3.6. Propuestas de mejora para reducir el consumo eléctrico en los sistemas energéticos del SECAP	40
3.6.1. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en las aulas de capacitación	40
3.6.2. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en las bombas de agua principales.....	41
3.6.3. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en la bomba de agua secundaria.....	42

3.6.4. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en los ascensores.....	43
4. MEDICIONES POSTERIORES Y RESULTADOS OBTENIDOS	44
4.1. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética	44
4.1.1. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en iluminación	44
4.1.1.1. Instalación del sistema automático de control para iluminación	45
4.1.1.2. Operación del sistema de control automático de iluminación	45
4.1.2. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en las bombas de agua principales	48
4.1.3. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en la bomba de agua secundaria	49
4.1.4. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en los ascensores	49
4.2. Mediciones del consumo de energía eléctrica posterior a los correctivos de eficiencia energética	49
4.2.1. Medición de la potencia y del consumo de energía eléctrica del aula posterior a la instalación del sistema automático de control.....	50
4.2.2. Consumo eléctrico posterior a los correctivos de eficiencia energética en las bombas de agua principales	51
4.2.3. Medición del consumo eléctrico posterior a los correctivos de eficiencia energética en la bomba de agua secundaria	54
4.2.4. Determinación del consumo eléctrico posterior a los correctivos de eficiencia energética en los ascensores	57
4.3. Comparación de los resultados antes y después de aplicar las propuestas de eficiencia energética	57
4.3.1. Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica del aula de estudio.....	57
4.3.2. Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica en las bombas principales...59	
4.3.3 Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica en la bomba secundaria de 2 hp.....	60
4.3.4. Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica en ascensores	63

4.4. Ahorro económico en el edificio del SECAP por aplicar las propuestas de eficiencia energética	64
4.4.1. Ahorro económico del consumo eléctrico en aulas de capacitación del SECAP edificio de administración central	64
4.4.2. Ahorro económico del consumo eléctrico de las bombas de agua principales del SECAP edificio de administración central	66
4.4.3. Ahorro económico del consumo eléctrico de la bomba de agua secundaria del SECAP edificio de administración central	67
4.4.4. Ahorro económico del consumo eléctrico de los ascensores del SECAP edificio de administración central	68
4.5. Ahorro económico total en el consumo eléctrico del SECAP edificio de administración central	69
4.6. Análisis de rentabilidad si se aplicaran las propuestas de eficiencia energética a los sistemas energéticos del SECAP	70
4.6.1. Análisis de rentabilidad al instalar el sistema de control de iluminación en las aulas de capacitación del SECAP	70
4.6.2. Análisis de rentabilidad al aplicar correctivos de eficiencia energética en las bombas de agua principales del SECAP	72
4.6.3. Análisis de rentabilidad al aplicar correctivos de eficiencia energética en la bomba de agua secundaria del SECAP	74
4.6.4. Análisis de rentabilidad al aplicar correctivos de eficiencia energética a los ascensores del SECAP	76
4.7. Análisis de las planillas de consumo eléctrico del SECAP antes y después de la aplicación de eficiencia energética.....	78
4.8. Ahorro económico de la demanda del SECAP a nivel nacional	81
4.8.1. Ahorro económico en el uso eficiente de bombas a nivel nacional.....	81
4.8.2. Ahorro económico en el uso eficiente de iluminación en las aulas de capacitación del SECAP a nivel nacional	82
4.8.3. Ahorro económico en el uso eficiente de los ascensores del SECAP a nivel nacional	85
4.8.4. Ahorro económico total a nivel nacional en un año	86

4.9. Análisis exergético de los sistemas analizados en el edificio del SECAP administración central	86
4.9.1. Análisis exergético en bombas principales de 7.5 hp	86
4.9.2. Análisis exergético en bomba secundaria de 2 hp.....	87
4.9.3. Análisis exergético en ascensores	87
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Edificio de administración central del SECAP.....	4
Figura 2.2. Ubicación del edificio de administración central del SECAP	5
Figura 2.3. Descripción de rieles del ascensor	7
Figura 2.4. Cabina y contrapeso del ascensor	8
Figura 2.5. Ubicación del cuarto de máquinas y descripción de movimiento del ascensor	8
Figura 2.6. Curva característica de las bombas principales de 7.5 hp	9
Figura 2.7. Gráfica de la curva “Altura vs. Caudal” para las bombas de 7.5 hp	10
Figura 2.8. Curva de la gráfica Q vs. H – 1	11
Figura 2.9. Curva de la gráfica Q vs. H – 2	12
Figura 2.10. Curva de la gráfica Q vs. H – 3	13
Figura 2.11. Curva de funcionamiento de la bomba secundaria	13
Figura 2.12. Curva de la gráfica H vs. Q – 1	14
Figura 2.13. Curva de la gráfica H vs. Q – 2	15
Figura 2.14. Curva de la gráfica Q vs. H – 1	16
Figura 2.15. Curva de la gráfica Q vs. H – 2	17
Figura 2.16. Tarifa \$/kWh aplicado al SECAP	17
Figura 3.1. Ocho luminarias de 60x60 cm	18
Figura 3.2. Luminarias de 11x12 cm	18
Figura 3.3. Distribución de los puntos de iluminación y mesas de estudio	19
Figura 3.4. Ubicación de los puntos de iluminación sobre las mesas de estudio	19
Figura 3.5. Medición inicial en luxes sobre las mesas de estudio	20
Figura 3.6. Análisis del consumo de potencia desde las 15H30 hasta las 18H30.....	20
Figura 3.7. Análisis del consumo de energía desde las 15H30 hasta las 18H30	21
Figura 3.8. Análisis del funcionamiento de las bombas principales.....	24
Figura 3.9. Funcionamiento de la bomba de 2 hp	27
Figura 3.10. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de la fase 1 (08h00 – 08h15).....	29
Figura 3.11. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de la fase 2 (08h00 – 08h15).....	30
Figura 3.12. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de la fase 3 (08h00 – 08h15).....	30
Figura 3.13. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de las 3 fases (08h00 – 08h15).....	31
Figura 3.14. Potencia total del ascensor 1 registrada desde las 08h00 hasta las 08h15	32
Figura 3.15. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de la fase 1 (08h00 – 08h15).....	32
Figura 3.16. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de la fase 2 (08h00 – 08h15).....	33

Figura 3.17. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de la fase 3 (08h00 – 08h15).....	33
Figura 3.18. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de las 3 fases (08h00 – 08h15).....	34
Figura 3.19. Gráfica de P. Total vs. T del ascensor 2 (08h00 – 08h15).....	35
Figura 3.20. Energía por fase del ascensor 1	36
Figura 3.21. Consumo de energía respecto al total - ascensor 1	37
Figura 3.22. Energía consumida por fase del ascensor 2	38
Figura 3.23. Consumo de energía respecto al total - ascensor 2	40
Figura 3.24. Propuesta distribución de los sensores por zonas	41
Figura 3.25. Propuesta de mejora para las bombas principales	42
Figura 4.1. Nivel de iluminación recomendado para un aula de estudio.....	44
Figura 4.2. Encendido de Zona 1	46
Figura 4.3. Encendido de Zona 2	46
Figura 4.4. Encendido de Zona 3	47
Figura 4.5. Sticker de concientización para uso de energía eléctrica en ascensores	49
Figura 4.6. Registro de potencia del aula estudio posterior a eficiencia energética	50
Figura 4.7. Registro de consumo de energía del aula estudio posterior a eficiencia energética	51
Figura 4.8. Análisis del funcionamiento de la bomba 2	55
Figura 4.9. Análisis del funcionamiento de la bomba secundaria.....	56
Figura 4.10. Análisis de ahorro en potencia	58
Figura 4.11. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en el aula de estudio	58
Figura 4.12. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en las bombas de agua principales	61
Figura 4.13. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en la bomba de agua secundaria	61
Figura 4.14. Cuadro comparativo antes y después bomba de agua secundaria.....	62
Figura 4.15. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en los ascensores.....	63
Figura 4.16. Porcentaje de ahorro total en kWh/mes	69
Figura 4.17. Planilla de consumo eléctrico mes de marzo 2016.....	78
Figura 4.18. Planilla de consumo eléctrico mes de abril 2016.....	79
Figura 4.19. Planilla de consumo eléctrico mes de mayo 2016	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Número de aulas en el edificio de administración central del SECAP	5
Tabla 2.2. Motor de inducción trifásico SUPER LINE	6
Tabla 2.3. Motor trifásico BALDOR.....	6
Tabla 2.4. Motor monofásico BALDOR	6
Tabla 3.1. Resultados obtenidos del cálculo del funcionamiento de las bombas de agua principales	24
Tabla 3.2. Resultados obtenidos del cálculo del funcionamiento del motor de la bomba de agua secundaria	27
Tabla 3.3. Funcionamiento de la bomba de 2 hp	28
Tabla 3.4. Subidas y bajadas de los ascensores en un día de trabajo	29
Tabla 3.5. Potencia del ascensor 1 en reposo y en movimiento.....	31
Tabla 3.6. Resumen de potencias del ascensor 2 en reposo y en movimiento	34
Tabla 3.7. Energía total consumida por fase del ascensor 1.....	35
Tabla 3.8. Ascensor 1 en reposo, energía consumida en el horario de 08h00 a 16h00	36
Tabla 3.9. Ascensor 1 en movimiento, energía consumida en el horario de 08:00 a 16:00	37
Tabla 3.10. Energía total consumida por el ascensor 1 (reposo más movimiento)	37
Tabla 3.11. Energía total consumida por el ascensor 2	38
Tabla 3.12. Ascensor 2 en reposo, energía consumida en el horario de 08:00 a 16:00	39
Tabla 3.13. Ascensor 2 en movimiento, energía consumida en el horario de 08:00 a 16:00	39
Tabla 3.14. Energía total consumida por el ascensor 2 (reposo más movimiento)	39
Tabla 3.15. Propuesta de mejora para la eficiencia de la bomba de 2 hp	42
Tabla 4.1. Análisis de la bomba principal posterior al aplicar eficiencia energética	54
Tabla 4.2. Análisis de la bomba secundaria posterior al aplicar eficiencia energética	55
Tabla 4.3. Funcionamiento de la bomba secundaria posterior al aplicar eficiencia energética	56
Tabla 4.4. Registro del número subidas y bajadas en ascensores	57
Tabla 4.5. Análisis porcentaje de ahorro en Wh para el aula de estudio.....	59
Tabla 4.6. Análisis de los resultados antes y después de aplicar eficiencia energética a las bombas de agua principales	59
Tabla 4.7. Análisis de la potencia eléctrica de las bombas de agua principales antes y después de aplicar eficiencia energética	60
Tabla 4.8. Análisis del consumo de energía de las bombas de agua principales antes y después de aplicar eficiencia energética	60

Tabla 4.9. Análisis de eficiencia de las bombas de agua principales antes y después de aplicar eficiencia energética	60
Tabla 4.10. Análisis antes y después en el consumo de energía bomba de agua secundaria.....	61
Tabla 4.11. Análisis antes y después en el consumo de energía de los ascensores 1 y 2	63
Tabla 4.12. Número de ambientes de capacitación	64
Tabla 4.13. Análisis facturación en las aulas de capacitación del edificio administración central después de aplicar eficiencia energética.....	65
Tabla 4.14. Ahorro económico mensual por consumo energético, en bombas de agua principales.....	66
Tabla 4.15. Ahorro económico mensual por consumo energético.....	67
Tabla 4.16. Análisis del consumo mensual de energía eléctrica en ascensores 1 y 2	68
Tabla 4.17. Resultado ahorro en kWh y económico total en el edificio del SECAP administración central	69
Tabla 4.18. Honorario por hora del profesional	70
Tabla 4.19. Tiempo de montaje y número de sensores.....	70
Tabla 4.20. Costo de programación y montaje.....	70
Tabla 4.21. Costo total del sistema de control de iluminación.....	71
Tabla 4.22. Honorario por hora del profesional	72
Tabla 4.23. Costo por ajuste de presión	72
Tabla 4.24. Costo por eficiencia en bombas principales.....	73
Tabla 4.25. Honorario por hora del profesional alquiler de analizador y tiempo de ajuste	74
Tabla 4.26. Costo por ajuste de presión	74
Tabla 4.27. Costo por eficiencia en bombas principales.....	75
Tabla 4.28. Honorarios, tiempo de montaje y cantidad de biométricos	76
Tabla 4.29. Costo de instalación para control en ascensores	77
Tabla 4.30. Ahorro en bombas de 2 hp a nivel nacional.....	82
Tabla 4.31. Número de ambientes de capacitación a nivel nacional.....	83
Tabla 4.32. Ahorro económico en aulas a nivel nacional después de eficiencia energética.....	84
Tabla 4.33. Ahorro económico total con eficiencia energética a nivel nacional.....	86
Tabla 4.34. Análisis de ahorro exergético en las bombas de agua principales y secundaria	87
Tabla 5.1 Parámetros de entrada y salida de sistemas energéticos	89

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza los sistemas energéticos que tiene el edificio de administración central del SECAP y se encuentra el punto de operación de los sistemas energéticos. Se realizaron mediciones de consumo de energía eléctrica. Con los resultados obtenidos se plantean propuestas de eficiencia energética que optimizan la operación de los sistemas haciéndolos más eficientes y produciendo la disminución del consumo de energía eléctrica en la planilla mensual. Luego de lo cual se implementan los correctivos de eficiencia propuestos y se midió el consumo de energía posterior a la aplicación de los mismos. Los resultados obtenidos fueron: un ahorro de 1392,71 kWh/mes en iluminación (\$115,59 mensuales), 16,34 kWh/día en uso de ascensores (\$40,68 mensuales), 1,69 kWh/mes en bombas de agua principales (\$0,14 mensuales) y 8,05 kWh/mes en bomba de agua secundaria (\$0,67 mensuales). Se determina la rentabilidad de aplicar las propuestas de eficiencia energética utilizando los indicadores económicos TIR y VAN, proyectando en las propuestas de eficiencia una durabilidad de 10 años si el SECAP aplica los correctivos de eficiencia energética propuestos, determinando un TIR% y (\$VAN) respectivamente de 4,34% (\$5410,68 iluminación), 1,01% (\$8,50 ascensores), 1,45% (\$8,50 bombas principales) y 3,57% (\$28,65 bomba secundaria).

Palabras clave: Auditoría Energética, Eficiencia Energética.

ABSTRACT

In the present document the Energy Systems of SECAP Central Administration Building are analyzed. As part of this study, the point of operation of these Energy Systems is found by measuring their consumption of electric energy. With the obtained results, proposals are made for energy efficiency that allow optimize the operation of the systems making them more efficient. In this way, reduction of the electric energy consumption in the monthly invoice detail, is obtained. After that, correctives action plan are implemented, and the consumption is measured through a comparison of energy after the application of this plan. The results obtained were savings of: 1392,71 kWh / month in lighting (\$115,59 per month), 16,34 kWh / day in the use of elevators (\$40,68 per month), 1,69 kWh / month in main water pumps (\$0,14 per month) and 8,05 kWh / month in secondary water pump (\$0,67 per month). The rentability obtained using the proposals is analyzed using IRR and NPV economic indicators. For this computation, efficiency proposals were projected with a durability of 10 years, considering that SECAP will apply this action plan. Obtained results for IRR (in percentage %) and NPV (in US dollars \$) respectively were: 4,34% and \$5410,68 for illumination, 1,01% and \$8,50 for elevators, 1,45% and \$8,50 for main pumps, and finally 3,57% and \$28,65 for secondary pumps.

Keywords: Energy Audit, Energy Efficiency.

PRESENTACIÓN

El SECAP es una entidad del Estado que tiene como misión contribuir al desarrollo del país impulsando la transformación productiva y fortaleciendo el servicio público, a través de los servicios de perfeccionamiento, capacitación, y certificación de personas, con excelencia.

Además, en su política de calidad promueve la mejora continua de los servicios de perfeccionamiento, capacitación y certificación de personas por competencias laborales, con personal altamente capacitado, dirigido a: cumplir con la normativa vigente a sus procesos y servicios; mejorar entornos de trabajo y fortalecer la inserción del talento humano en el sistema laboral. Lo mencionado anteriormente se lo puede verificar en la página web del SECAP, actualizada hasta enero del 2017.

Esta tesis se realiza para ayudar al SECAP a reducir su consumo de energía eléctrica, aplicando correctivos de eficiencia energética y de paso aumentando la vida útil de sus sistemas energéticos.

Para un mejor entendimiento de la tesis realizada se ha dividido el trabajo total en diferentes capítulos, los cuales ayudan a simplificar su contenido, a continuación, se explica el contenido de los mismos.

La problemática a analizar, los objetivos, la justificación del problema se encuentran en el Capítulo 1.

La teoría necesaria relacionada con los sistemas energéticos que tiene el edificio del SECAP, se encuentra en el Capítulo 2.

Las mediciones iniciales de los sistemas energéticos y las propuestas de eficiencia energética se encuentran en el Capítulo 3.

Las mediciones posteriores a aplicar los correctivos de eficiencia energética, el análisis comparativo del antes y el después, el análisis de ahorro obtenido tanto económico como energético, y el análisis de rentabilidad al aplicar las propuestas de eficiencia energética se encuentran en Capítulo 4.

Las conclusiones y las recomendaciones de esta tesis se encuentran en el Capítulo 5.

1. INTRODUCCIÓN

En los edificios públicos del Estado Ecuatoriano se tiene como barrera el desconocimiento para identificar oportunidades de ahorro de energía, como lo indica el artículo "Eficiencia energética en edificios" publicado por el MEER en mayo del 2013. Iniciar un estudio y análisis al consumo de energía eléctrica que se tiene actualmente en estos edificios permitirá implementar las conclusiones que se obtengan de este estudio a más edificios públicos, apoyando así al cambio de la matriz energética promovido en el Ecuador desde el año 2009.

1.1. Antecedentes

La actual crisis económica por la que atraviesa el país debido al decaimiento significativo del precio del petróleo, hace indispensable que se investiguen medidas de eficiencia energética que ayuden a mitigar el gasto público contribuyendo al ahorro de recursos provenientes del Estado. En el 2015 el SECAP edificio de administración central tuvo un consumo eléctrico promedio mensual de 25,488 kW con un costo de \$1,936.90 en la planilla de energía eléctrica, esto se evidencia en el anexo A, donde se muestra la carta de aceptación del estudio de tesis firmada por la máxima autoridad Ing. Carlos Echeverría.

Este consumo se asemeja al del año 2,014 cuando existían muchos más funcionarios que en la actualidad, haciendo evidente un ineficiente consumo de energía.

Por ello es apremiante realizar una investigación sobre el adecuado uso de energía eléctrica en el SECAP edificio de administración central y así dar cumplimiento con el Decreto Ejecutivo No.1681 el cual establece que *"las entidades y organismos de la Administración Pública Central deben implementar tecnologías de eficiencia energética, así como programas de capacitación sobre uso racional de la energía dirigidos a todos sus funcionarios"*.

1.2. Objetivo general

- Analizar el uso de la energía eléctrica en edificios de capacitación, caso SECAP edificio de administración central.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Determinar las características principales de los sistemas energéticos utilizados en un edificio de capacitación.
- Definir parámetros de entrada y salida de los diferentes sistemas energéticos de un edificio de capacitación.
- Determinar los perfiles de consumo de energía eléctrica en un edificio de capacitación.
- Desarrollar indicadores para el uso eficiente de la energía en dichos sistemas.
- Proponer y analizar diferentes medidas de eficiencia energética aplicadas a la iluminación de un edificio de capacitación.
- Comparar entre dos ambientes de capacitación de similares patrones de utilización con y sin medidas de eficiencia energética, determinar las diferencias y las causas de estas.

1.3. Justificación del Proyecto

El presente estudio tiene como objetivo analizar el uso de la energía eléctrica en edificios de capacitación, caso SECAP "Edificio de Administración Central", a través de parámetros que determinen las características principales de los sistemas energéticos utilizados en un edificio de capacitación y desarrollando indicadores que permitan establecer el uso eficiente de energía eléctrica para los sistemas energéticos de estos edificios.

Además, permitirá encontrar mecanismos de ahorro energético y económico para el Estado Ecuatoriano, reduciendo costos de energía, producción y operación en los edificios públicos de capacitación; contribuirá además con el medio ambiente, disminuyendo el consumo de recursos naturales y el impacto de los gases de efecto invernadero aportando a la reducción del cambio climático. El ahorro de fondos públicos permitirá contar con mayor capital de inversión para proyectos de desarrollo a nivel nacional.

El estudio presente adicionalmente permitirá desarrollar una metodología para analizar el uso eficiente de energía eléctrica en iluminación que puede ser replicable a diferentes casos de estudio, por lo que el sector que trabaja en la temática de eficiencia energética también se verá beneficiado.

1.4. Metodología

Se empieza realizando un levantamiento del estado actual del funcionamiento del edificio y consumos eléctricos, luego de lo cual se realiza una medición detallada que nos permite determinar los perfiles de consumo actuales e identificar los elementos de mayor consumo en el edificio del SECAP. Posteriormente se efectúa una evaluación de la operación de los sistemas determinando si estos funcionan correctamente e identificando potenciales propuestas para ahorro o medidas de eficiencia energética.

Finalmente se evalúa estas medidas y se estima la potencial inversión y el potencial de ahorro a largo plazo analizando la rentabilidad en cada una de las propuestas de ahorro.

1.5. Normas aplicadas para el análisis de los sistemas

Para el análisis de iluminación de un aula de capacitación, se utilizaron los lineamientos recomendados por el "Energy Management Handbook", en el Capítulo 4 sección 4.1.1., el cual propone un rango de luminiscencia óptimo para un ambiente de capacitación. (Turner & Doty, 2007, pág. 355)

Para el análisis del consumo eléctrico en los motores de las bombas, la Norma ASHRAE 90.1 menciona que se debe lograr que las bombas operen en su punto de mejor eficiencia.

Esta norma se aplica en el Capítulo 4 sección 4.1.2. y 4.1.3. en donde se propone mejorar la eficiencia de las bombas de agua principales y secundaria.

2. SISTEMAS ENERGÉTICOS UTILIZADOS EN EL EDIFICIO DEL SECAP - ADMINISTRACIÓN CENTRAL

En el presente capítulo se realiza una descripción de los sistemas de energía eléctrica que posee el edificio del SECAP, describiendo previamente la configuración del edificio, permitiendo así identificar el potencial de ahorro energético del mismo. La estructura externa del edificio se muestra en la figura 2.1.

2.1. Descripción del edificio de administración central del SECAP



Figura 2.1. Edificio de administración central del SECAP
Fuente: Autor

El SECAP con un alto compromiso de atención a las y los servidores y trabajadores promueve la mejora continua de los servicios de perfeccionamiento, capacitación y certificación de personas por competencias laborales, con personal altamente capacitado, dirigido a: cumplir con la normativa vigente a sus procesos y servicios; mejorar entornos de trabajo y fortalecer la inserción del Talento Humano en el Sistema Laboral. El edificio de administración central del SECAP en Quito se encuentra ubicado entre las calles José Arízaga E3-24 y Londres como se muestra en la figura 2.2.

El edificio cuenta con 27 aulas de capacitación con potencial de ahorro energético repartidas en 10 pisos de todo el edificio, esto se detalla en la tabla 2.1, la altura de cada piso es de 2.5 m dando un total de 25 m. Posee dos subsuelos de 4 m de altura cada uno y una cisterna de 3 m de altura en la parte superior del décimo piso, dando 36 m de altura

total del edificio. Este dato se lo utilizará más adelante para el cálculo del funcionamiento de las bombas de agua principales ubicadas en el subsuelo. El área del terreno sobre el cual está construido es de 1,319 m², con un área de construcción de 7,524.37 m² en total.

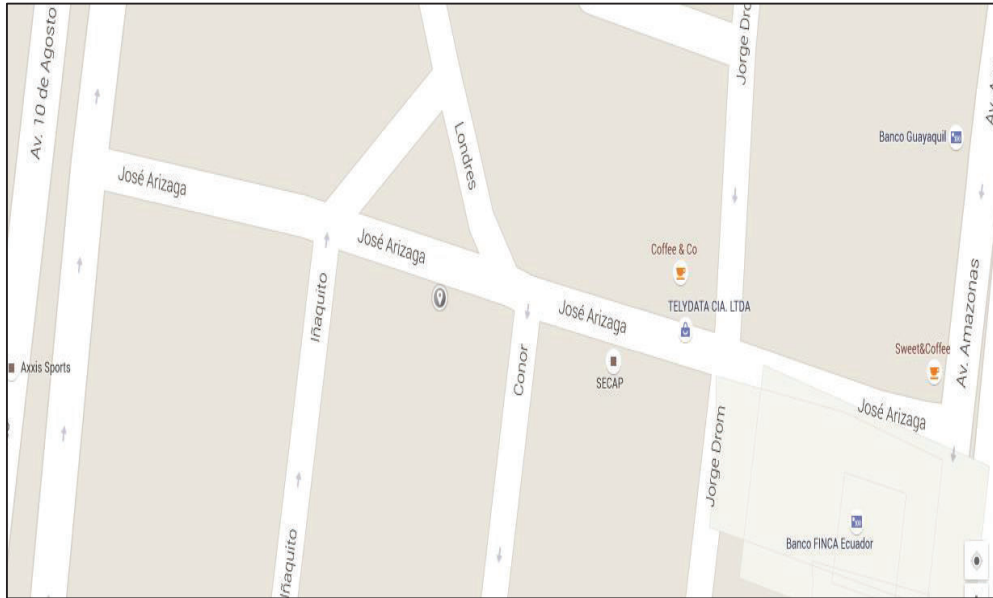


Figura 2.2. Ubicación del edificio de administración central del SECAP
Fuente: (Google Maps, 2016)

Tabla 2.1. Número de aulas en el edificio de administración central del SECAP

Piso	Taller	Aulas	Laboratorios
Sub-1-A	3	1	1
Sub-1-B	4	1	0
P2	1	0	0
P3	6	1	2
P4	1	3	0
P5	0	3	0
Total	15	9	3

(Fuente: Autor)

2.2. Máquinas eléctricas de mayor consumo

Las máquinas eléctricas de mayor potencia instalada en el edificio son:

- Ascensores, cada uno impulsado por un motor de características descritas en la tabla 2.2.
- Dos bombas de agua principales, con las características descritas en la tabla 2.3.

Tabla 2.2. Motor de inducción trifásico SUPER LINE

RPM	1,610	365
Potencia	7.50 kW	1.20 kW
Voltaje	220 V	220 V
Corriente	29 A	24.5 A
Frecuencia	60 Hz	60 Hz

(Fuente: Autor)

Tabla 2.3. Motor trifásico BALDOR

Potencia	7,5 hp	7,5 hp
Voltaje	(208 - 230) V	460 V
Corriente	(19.1 - 17.4) A	8.7 A
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
RPM	3,430	3,430
Factor de Potencia	92%	92%

(Fuente: Autor)

- Una bomba de agua secundaria, con las características de la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Motor monofásico BALDOR

Potencia	2 hp	2 hp
Voltaje	115 V	230 V
Corriente	22.6 A	11.3 A
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
RPM	3,450	3,450

(Fuente: Autor)

2.2.1. Características de los ascensores del SECAP

El edificio de administración central del SECAP, utiliza dos ascensores con un motor de 7.5 kW cada uno. Estos motores se encuentran en un área con ventilación natural permitiendo que estos se enfríen casi al instante después de operar. Por esta razón no se considera necesario tomar correctivos de obra civil o instalación de equipos adicionales para aumentar la ventilación de los motores de los ascensores.

Además, estos ascensores tienen un mantenimiento cada 4 meses y cuando un ascensor se encuentra en mantenimiento funciona únicamente el otro ascensor que este habilitado. Estos mantenimientos duran un día por ascensor y se los realiza los días sábados y domingos, ya que los domingos no se permite el acceso a los usuarios.

2.2.1.1. Funcionamiento de los ascensores del SECAP

Los ascensores del SECAP edificio de administración central son del tipo “Electromecánicos”, siendo el funcionamiento de estos como se explica a continuación:

- Posee motores con engranajes y llega a desplazar la cabina a una velocidad máxima de 2.5 metros por segundo.
- Su desplazamiento inicia desde el subsuelo.
- Los rieles se encuentran ubicados en dos caras opuestas del hueco de circulación del ascensor y por las cuales se desplaza una estructura similar a la empleada por los trenes convencionales como se muestra en la figura 2.3.

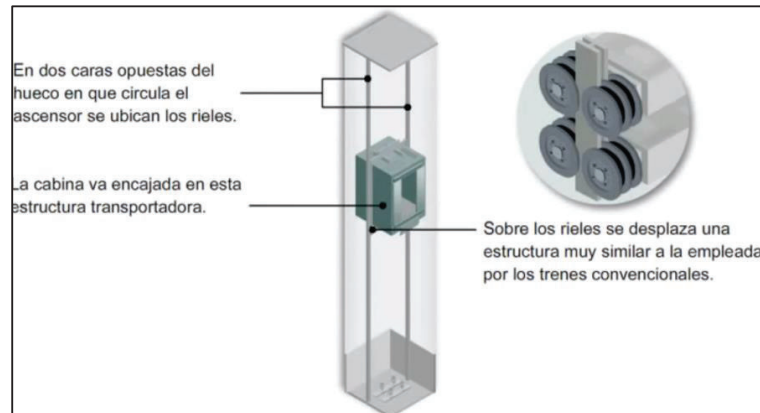


Figura 2.3. Descripción de rieles del ascensor

Fuente: (Cardenas, 2012)

- Como se ilustra en la figura 2.4, la cabina tiene asignado un contrapeso que circula por carriles iguales a los de la cabina, pero en sentido inverso. Este contrapeso tiene un peso aproximado equivalente al peso de la cabina más el cincuenta por ciento del peso máximo que el motor puede elevar.
- La cabina y el contrapeso están unidos por cables de acero, y en la sala de máquinas se encuentra un motor de tracción que actúa como polea. Esto se ilustra en la figura 2.5.

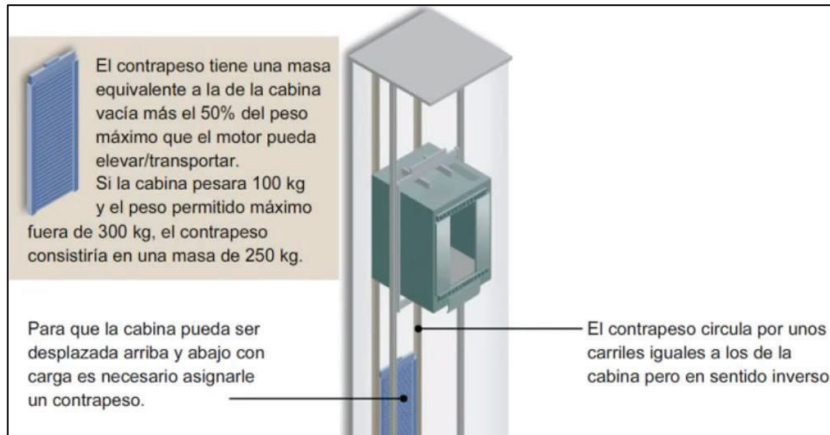


Figura 2.4. Cabina y contrapeso del ascensor
Fuente: (Cardenas, 2012)

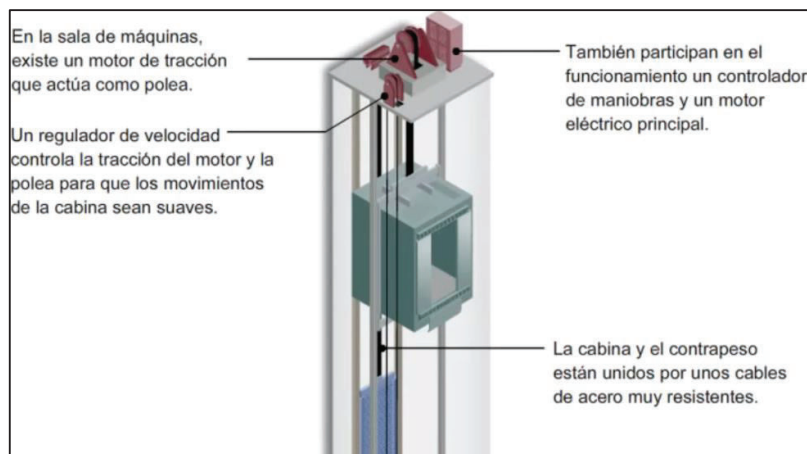


Figura 2.5. Ubicación del cuarto de máquinas y descripción de movimiento del ascensor
Fuente: (Cardenas, 2012)

2.2.2. Características de las bombas de agua principales del SECAP

En el edificio de administración central del SECAP, se utilizan dos bombas de 7.5 hp para el sistema de bombeo principal encargado de llenar la cisterna en el décimo piso del edificio.

Estas bombas se encuentran ubicadas en el subsuelo 2, su función es llenar la cisterna del décimo piso cuando esta ha alcanzado un nivel por debajo de los 4 m³ de agua, convirtiendo la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión. Su curva de funcionamiento corresponde a la curva 12C-7 de la figura 2.6.

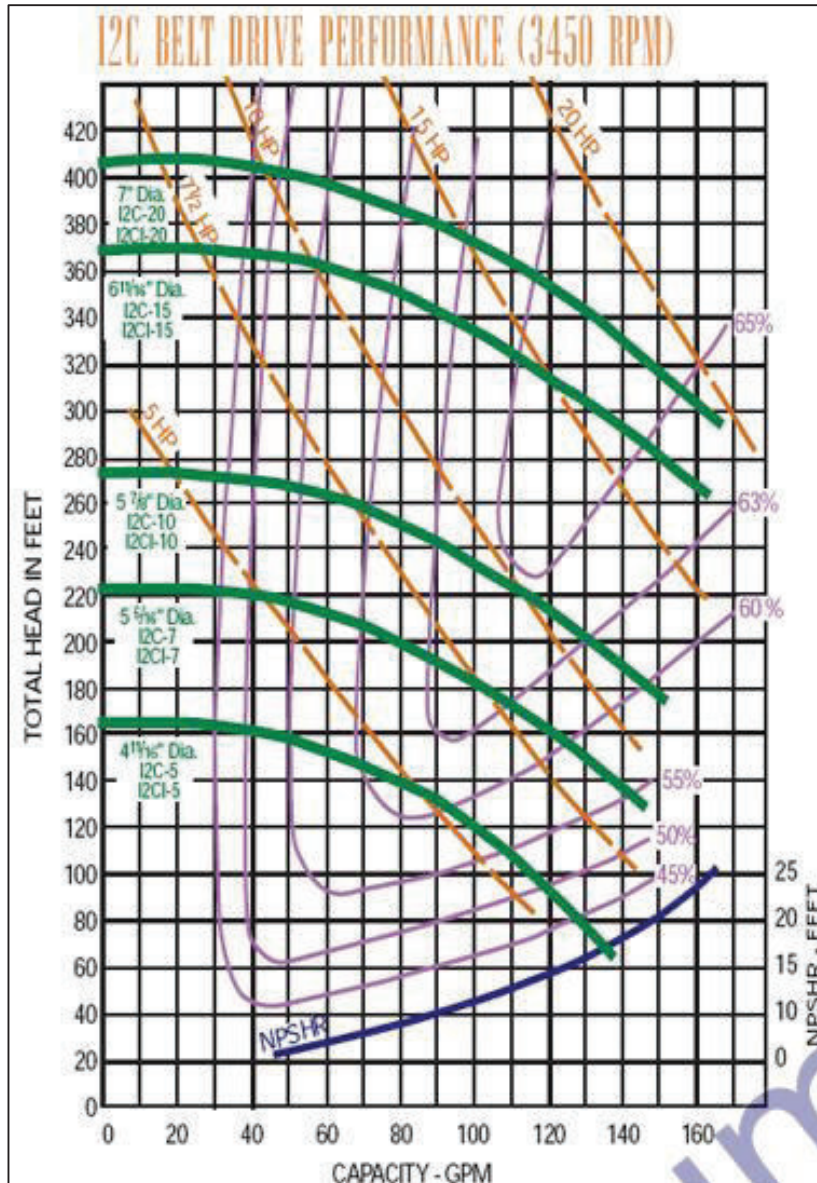


Figura 2.6. Curva característica de las bombas principales de 7.5 hp
Fuente: (PUMPBIZ, 2016)

Los motores de las dos bombas de agua principales se enfrían casi al instante después de operar, debido a la ventilación natural a la que se encuentran expuestos. Por esta razón no se considera necesario realizar correctivos de obra civil o instalación de equipos adicionales para aumentar la ventilación de los motores de las bombas principales.

Además, las bombas principales tienen un mantenimiento cada 12 meses y cuando una bomba se encuentra en mantenimiento funciona únicamente la otra bomba que esté habilitada. Estos mantenimientos duran un día por las dos bombas y se los realiza el día domingo en el cual no se permite el acceso a los usuarios.

2.2.2.1. Determinación de las curvas de operación “H vs. Q” y “Q vs. H” para las bombas principales

Se determinó la ecuación para la curva de funcionamiento “altura vs. caudal” “H vs. Q” de las bombas principales de 7.5 hp, comparando entre dos gráficas y ecuaciones mostradas en el anexo B, encontrándose como más aproximada a la ecuación 2.1.

$$H = 0.00000019Q^4 - 0.00004770Q^3 - 0.00186535Q^2 + 0.06821782Q + 222.57906371 \quad (2.1)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.1 se obtiene el dato de “altura calculada”, los datos del error porcentual de la ecuación 2.1 se muestran en el anexo C. La gráfica de la curva “altura vs. caudal” para las bombas de 7.5 hp quedó como se ilustra en la figura 2.7.

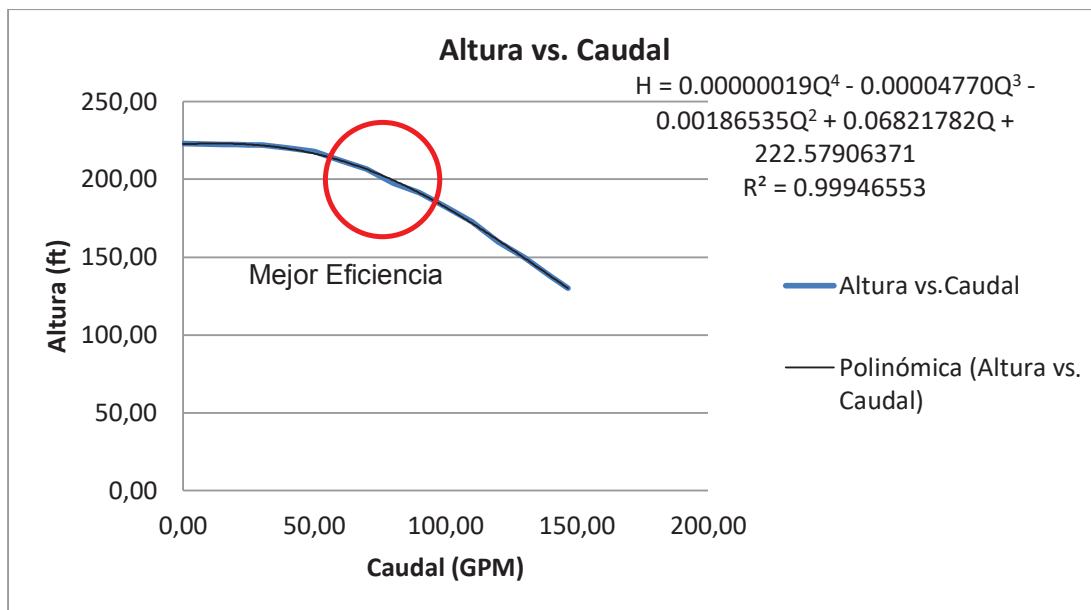


Figura 2.7. Gráfica de la curva “Altura vs. Caudal” para las bombas de 7.5 hp
Fuente: Autor

Para una mayor eficiencia el caudal deseado es de 80 GPM, colocando este valor en la ecuación 2.1, se obtiene una altura extrapolada de 199.46 ft. Ahora se procede a encontrar la curva inversa “Caudal vs. Altura” “Q vs. H”, para lo cual fue necesario dividir los datos de la gráfica en tres partes para reducir el error de la ecuación encontrada para la curva “Caudal vs. Altura” “Q vs. H”. La parte 1 se ilustra en la ecuación 2.2.

Parte 1:

$$Q = 8.6911H^2 - 3.9000 \times 10^3 H + 4.3750 \times 10^5 \quad (2.2)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.2 se obtuvo el dato de “Caudal Calculado” parte 1, los datos del error porcentual de la ecuación 2.2 se muestran en el anexo D. La gráfica de la curva “Caudal vs. Altura” parte 1, para las bombas de 7.5 hp se ilustra en la figura 2.8.

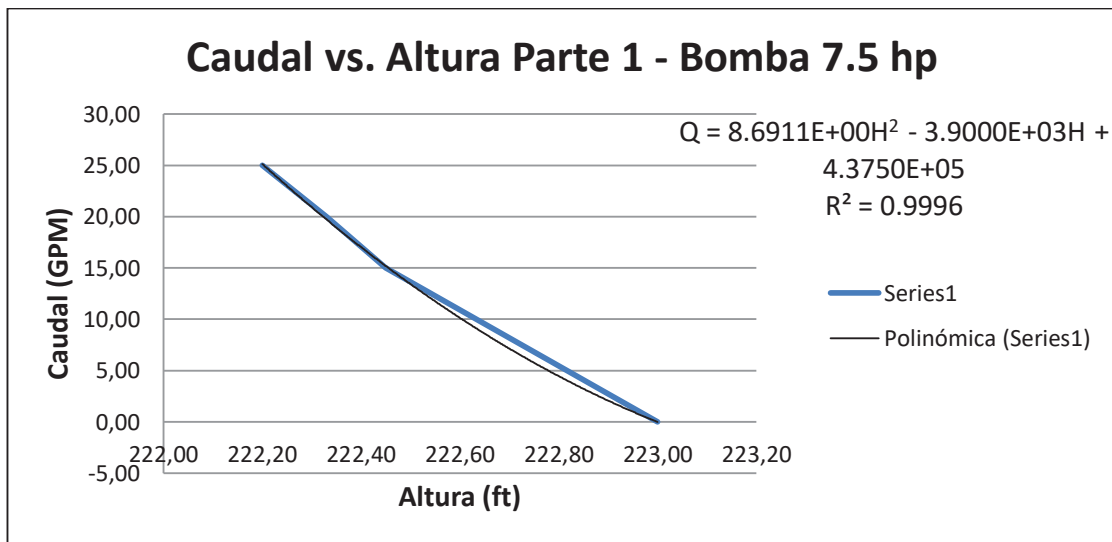


Figura 2.8. Curva de la gráfica Q vs. H – 1
Fuente: Autor

Parte 2:

$$Q = -3.9020 \times 10^{-1} H^2 + 1.6625 \times 10^2 H - 1.7649 \times 10^4 \quad (2.3)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.3 se obtuvo el dato de “Caudal Calculado” parte 2, los datos del error porcentual de la ecuación 2.3 se muestran en el anexo E. La gráfica de la curva “Caudal vs. Altura” parte 2, para las bombas de 7.5 hp se ilustra en la figura 2.9.

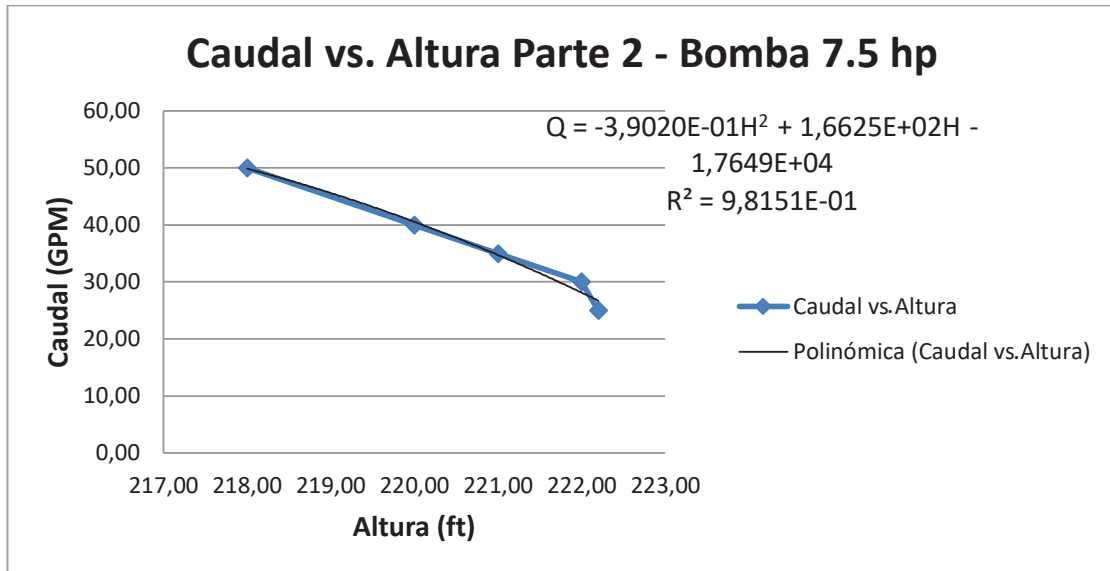


Figura 2.9. Curva de la gráfica Q vs. H – 2
Fuente: Autor

Parte 3:

$$Q = 3.3017 \times 10^4 H^4 - 2.9384 \times 10^{-4} H^3 + 8.7656 \times 10^{-2} H^2 - 1.1745 \times 10^1 H + 7.4348 \times 10^2 \quad (2.4)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.4 se obtiene el dato de “Caudal Calculado” parte 3, los datos del error porcentual de la ecuación 2.4 se muestran en el anexo F. La gráfica de la curva “Caudal vs. Altura” parte 3, para las bombas de 7.5 hp se ilustra en la figura 2.10.

2.2.3. Características de la bomba de agua secundaria

En el edificio de administración central del SECAP, se utiliza una bomba de 2 hp para el sistema de bomba a presión constante del edificio. Esta bomba se encuentra ubicada en el último piso del edificio (décimo piso), y su función es mantener la presión en dos hidroneumáticos entre (25 – 34) psi. Su curva de funcionamiento corresponde a la curva QP20 de la figura 2.11.

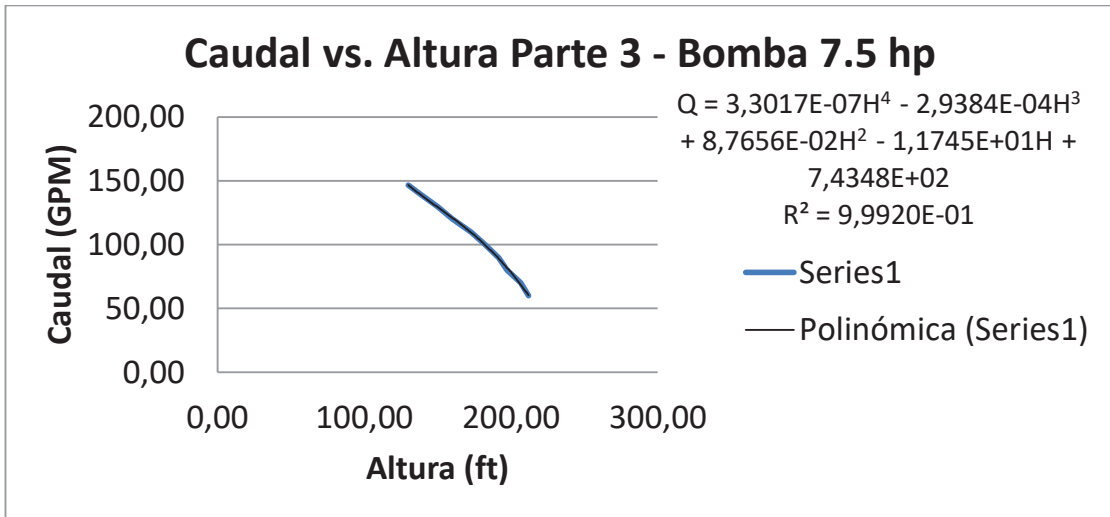


Figura 2.10. Curva de la gráfica Q vs. H – 3
Fuente: Autor

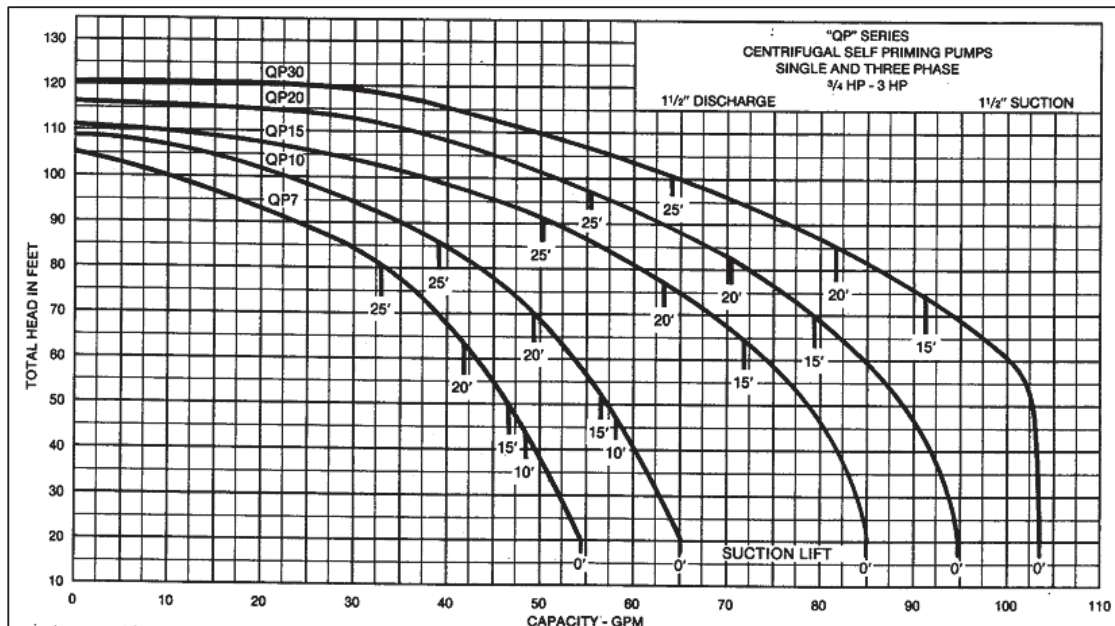


Figura 2.11. Curva de funcionamiento de la bomba secundaria
Fuente: (Pentair Myers, 2013)

Este conjunto motor bomba se encuentra en un área con ventilación natural, lo que permite que después de operar se enfríe casi al instante. Por este motivo no se considera necesario realizar modificaciones de obra civil o instalar equipos adicionales para aumentar la ventilación del motor de la bomba secundaria.

El mantenimiento para esta bomba se da cada 12 meses y dura un día. Este mantenimiento se lo realiza los días domingos en el cual no se permite el acceso a los usuarios.

2.2.3.1. Determinación de las curvas “H vs. Q” y “Q vs. H” para la bomba secundaria

Se determinó la ecuación para la curva de funcionamiento “Altura vs Caudal” “H vs. Q” de la bomba secundaria de 2 hp, comparando entre dos gráficas y ecuaciones mostradas en el anexo G y para lo cual se requirió dividir la curva en dos partes, encontrándose la ecuación 2.5 para la parte 1, y la ecuación 2.6 para la parte 2.

Parte 1:

$$H = -2.5045 \times 10^{-5} Q^3 - 6.7474 \times 10^{-3} Q^2 + 1.2829 \times 10^{-1} Q + 1.1538 \times 10^2 \quad (2.5)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.5 se obtuvo el dato de “altura calculada”, los datos del error porcentual de la ecuación 2.5 se muestran en el anexo H. La gráfica de la curva “altura vs. caudal” parte 1, para la bomba de 2 hp se ilustra en la ver figura 2.12.

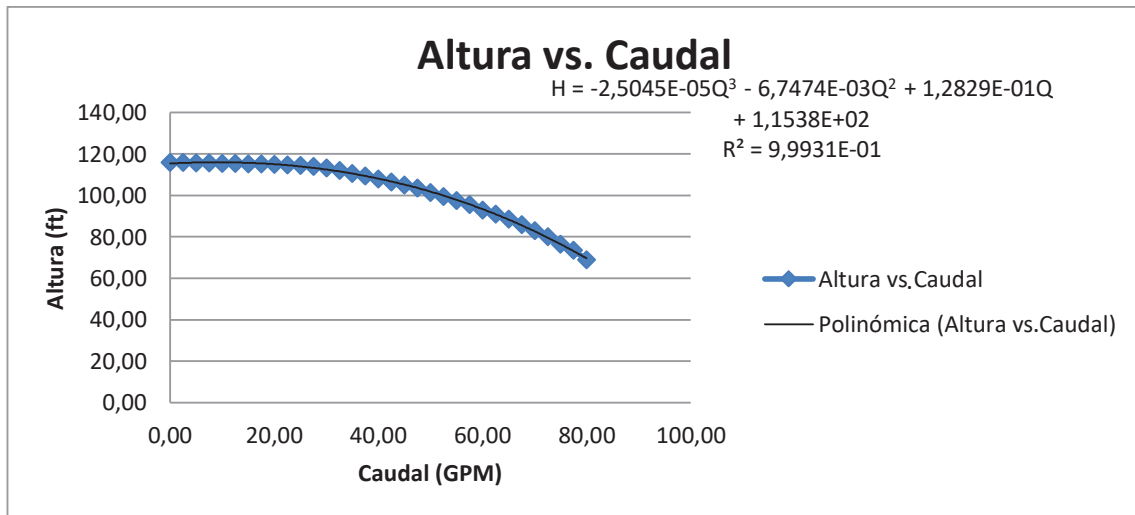


Figura 2.12. Curva de la gráfica H vs. Q – 1
Fuente: Autor

Parte 2:

$$H = 0.077704 Q^3 + 20.183 Q^2 - 1,748.5 Q + 5,057 \quad (2.6)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.6 se obtuvo el dato de “altura calculada” parte 2, los datos del error porcentual de la ecuación 2.6 se muestran en el anexo I. La gráfica de la curva “altura vs. caudal” parte 2, para la bomba de 2 hp se muestra en la figura 2.13.

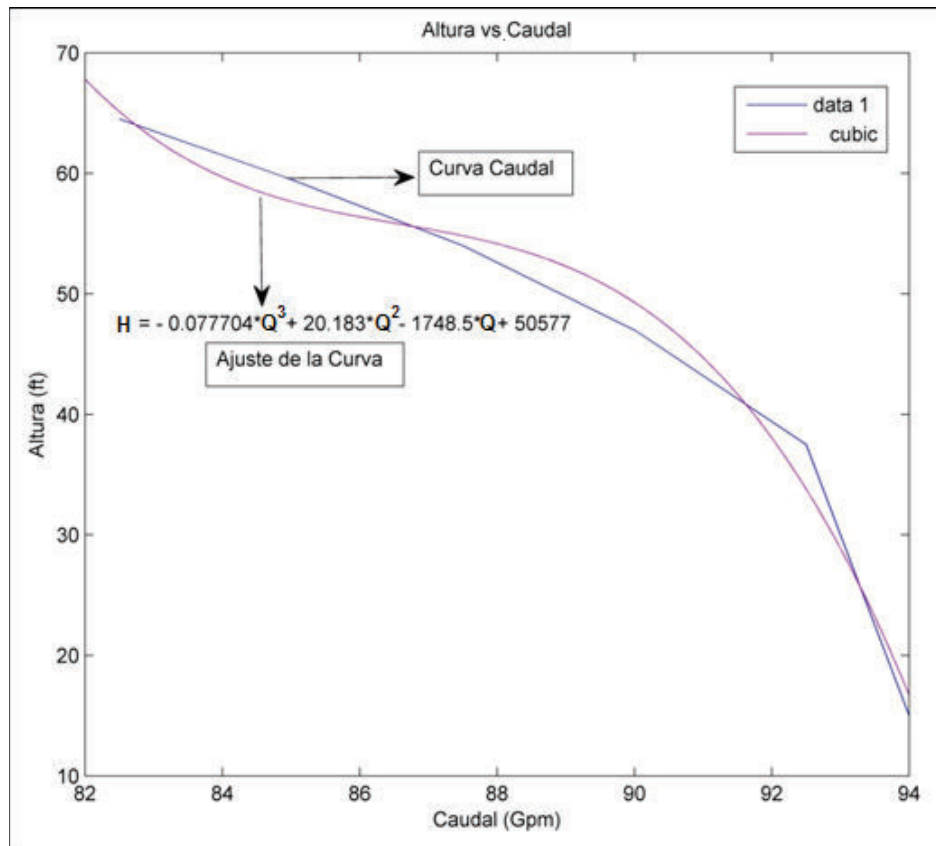


Figura 2.13. Curva de la gráfica H vs. Q – 2
Fuente: Autor

Posteriormente se procede a encontrar la curva inversa “caudal vs altura” “Q vs. H”, para lo cual fue necesario dividir los datos de la gráfica en dos partes, tal como se ilustra en las ecuaciones 2.7 y 2.8. El dividir la curva en dos partes redujo el error porcentual de cada ecuación encontrada para la gráfica “caudal vs. altura” “Q vs. H”.

Parte 1:

$$Q = 8.92862 \times 10^{-1} H^2 - 2.25644 \times 10^2 H + 1.41605 \times 10^4 \quad (2.7)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.7 se obtuvo el dato de “caudal calculado” parte 1, los datos del error porcentual de la ecuación 2.7 se muestran en el anexo J. La gráfica de la curva “caudal vs. altura” “Q vs. H” parte 1, para la bomba de 2 hp se ilustra en la figura 2.14.

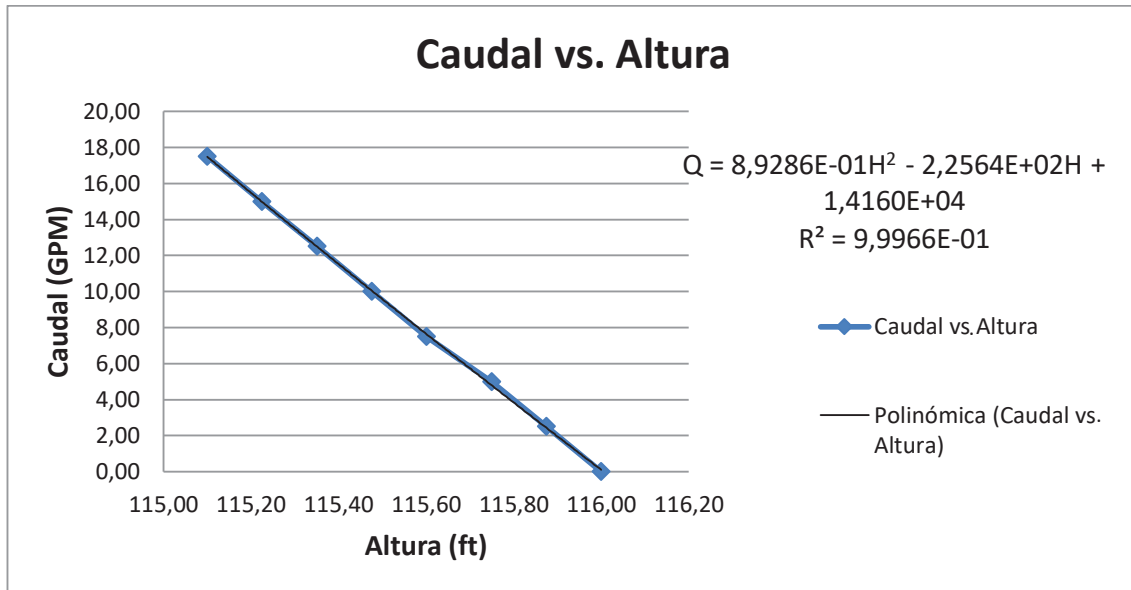


Figura 2.14. Curva de la gráfica Q vs. H – 1
Fuente: Autor

Parte 2:

$$Q = 9.3112 \times 10^{-5} H^3 + 0.0090257 H^2 - 0.45991 H + 100.15 \quad (2.8)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Con la ecuación 2.8 se obtuvo el dato de “caudal calculado” parte 2, los datos del error porcentual de la ecuación 2.8 se muestran en el anexo K. La gráfica de la curva “caudal vs. altura” “Q vs. H” parte 2, para la bomba de 2 hp se ilustra en la figura 2.15.

2.3. Análisis de la facturación eléctrica

Se partió con la medición de la planilla de energía eléctrica (mes de marzo 2016), la cual servirá para comparar con la planilla del mes de mayo 2016 y concluir el nivel de ahorro energético que se obtendría una vez se realicen los correctivos de eficiencia energética que se proponen en el Capítulo 3. Datos de la planilla previa a los correctivos de eficiencia energética se encuentran más adelante en la figura 4.17.

El valor de la planilla del mes de marzo 2016 previo a los correctivos de eficiencia energética es de 1,963.84 dólares.

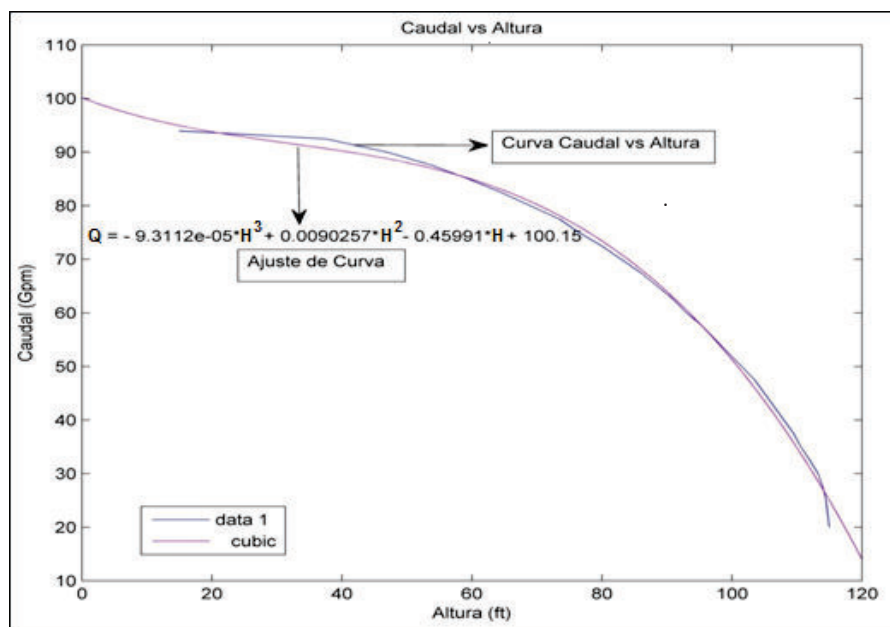


Figura 2.15. Curva de la gráfica Q vs. H – 2
Fuente: Autor

2.3.1. Tipo de tarifa eléctrica para el edificio del SECAP

La tarifa que se le aplica al SECAP por kWh de consumo es la tarifa G5 de 0.068 \$/kWh, como lo dispone el pliego tarifario de la EEQ mostrado en la figura 2.16.

B.2	TARIFA GENERAL BAJA TENSION CON DEMANDA (BTGD)
B.2.1	TARIFA G5
APLICACIÓN:	Esta tarifa se aplica a los abonados Comerciales, Industriales, Entidades Oficiales, Bombeo de Agua, Escenarios Deportivos, Servicio Comunitario, Autoconsumos y Abonados Especiales, cuya potencia contratada sea superior a 10 KW, que disponen de registrador de demanda máxima o para aquellos que tienen potencia calculada.
CARGOS:	
US\$ 1.414	por factura, en concepto de Comercialización, independiente del consumo de energía.
US\$ 4.182	mensuales por cada KW de demanda facturable como mínimo de pago, sin derecho a consumo.
US\$ 0.068	por cada KWh consumido en el mes.
7.0%	del valor de la planilla por consumo, en concepto de Alumbrado Público, para los abonados Industrial, Bombeo de Agua, Escenarios Deportivos, Autoconsumos y Abonados Especiales.

Figura 2.16. Tarifa \$/kWh aplicado al SECAP
Fuente: (Empresa Eléctrica Quito, 2016)

A esto se añade \$270.04 que es el costo de la demanda en las planillas del SECAP, y el impuesto por Servicio de Alumbrado Público, dando un valor por kWh de \$0.083, incluido impuestos. Este valor es el que usamos para los cálculos de ahorro económico en el Capítulo 4.

3. MEDICIONES PREVIAS Y PROCESAMIENTO

En el presente capítulo se analiza el consumo actual de los sistemas energéticos propuestos en el Capítulo 2, y se plantean propuestas de eficiencia energética que aprovechen el potencial de ahorro que estos sistemas dispongan.

Para analizar los parámetros como potencia (Watts), consumo (Wh), corriente (A), voltaje (V) y Factor de potencia (FP), se utiliza el equipo analizador de redes eléctricas AEMC-3945, cuyas especificaciones técnicas se detallan en el Anexo L.

3.1. Medición del estado inicial de la iluminación en las aulas de capacitación del SECAP

En un día de curso normal en horario de 15h30 hasta las 18h30, el interruptor enciende los nueve puntos de iluminación al mismo tiempo, sin importar que sea necesaria o no la iluminación en ciertos puntos del ambiente de capacitación. Los puntos de iluminación en los ambientes de capacitación son de dos tipos, ilustrados en las figuras 3.1 y 3.2.

- Ocho luminarias de 60x60 cm con cuatro tubos fluorescentes de 20 Watts.



Figura 3.1. Ocho luminarias de 60x60 cm
Fuente: (TUBOS FLUORESCENTES LED, 2008)

- Una luminaria de 11x122 cm con dos tubos fluorescentes de 36 Watts.



Figura 3.2. Luminarias de 11x12 cm
Fuente: (INDUSTRIAS REXEL, 2005)

Todos los ambientes de capacitación del edificio del SECAP tienen una estructura como la ilustrada en la figura 3.3.

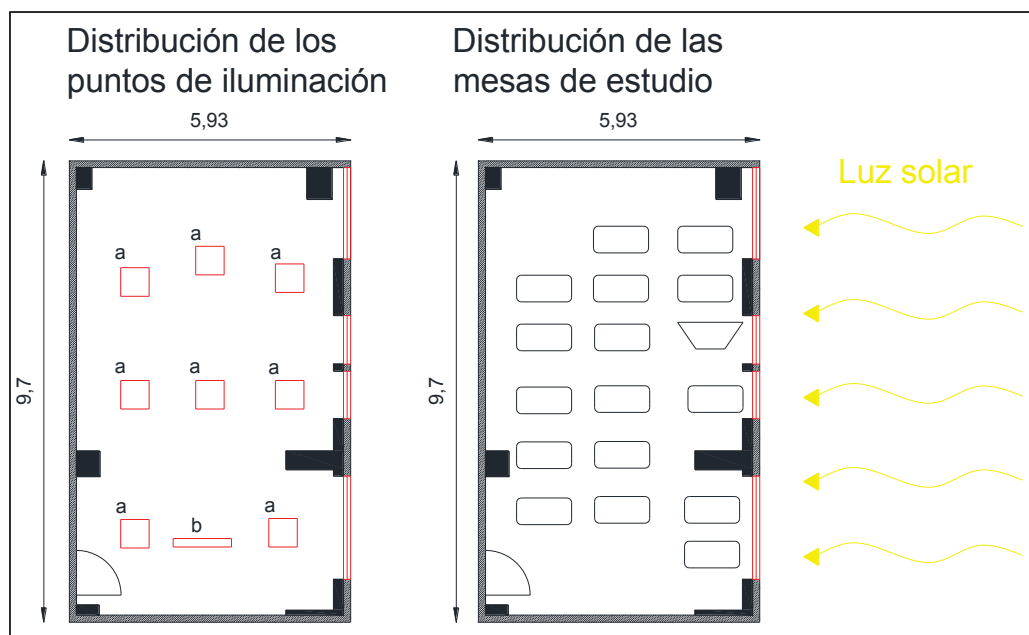


Figura 3.3. Distribución de los puntos de iluminación y mesas de estudio
Fuente: Autor

En las clases de 07h00 a 10h00 y de 15h30 a 18h30, es cuando se encienden todas las luminarias a la vez, ya que las aulas del SECAP cuentan con un solo interruptor que activa toda la iluminación. Los puntos de iluminación se ilustran en la figura 3.4.

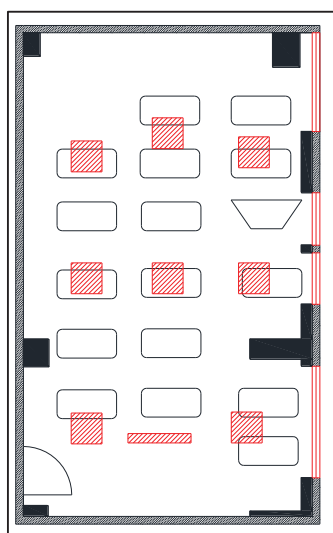


Figura 3.4. Ubicación de los puntos de iluminación sobre las mesas de estudio
Fuente: Autor

En vista de que la iluminación se enciende en dos horarios, el primero de 07h00 a 10h00 y el segundo de 15h30 a 18h30, se realiza la medición en uno de estos horarios. El horario elegido es el de las 15h30 a 18h30, obteniendo el resultado mostrado en la figura 3.5. Las luces se encendían a las 15h30 sin ser necesaria iluminación en el aula.

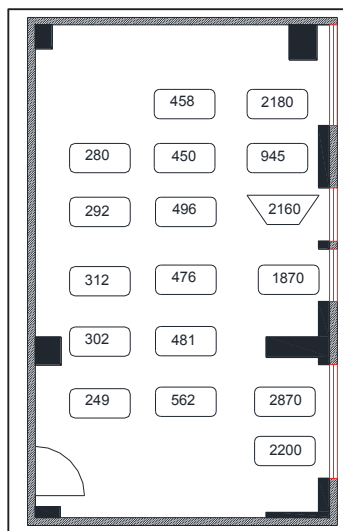


Figura 3.5. Medición inicial en luxes sobre las mesas de estudio
Fuente: Autor

3.1.1. Consumo eléctrico inicial de iluminación en un aula de capacitación

Antes de realizar las mejoras de eficiencia energética en la iluminación del ambiente de capacitación modelo para el análisis de la presente investigación, el resultado en la medición de potencia y del consumo de energía eléctrica se muestran en las figuras 3.6 y 3.7.

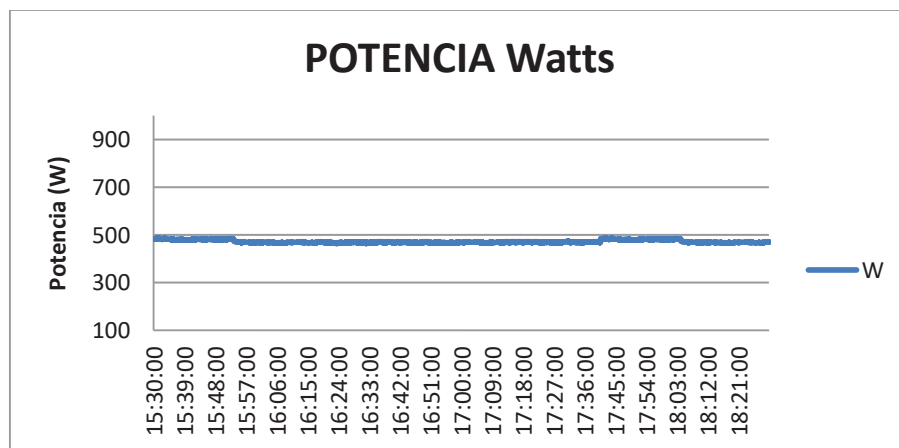


Figura 3.6. Análisis del consumo de potencia desde las 15H30 hasta las 18H30
Fuente: Autor

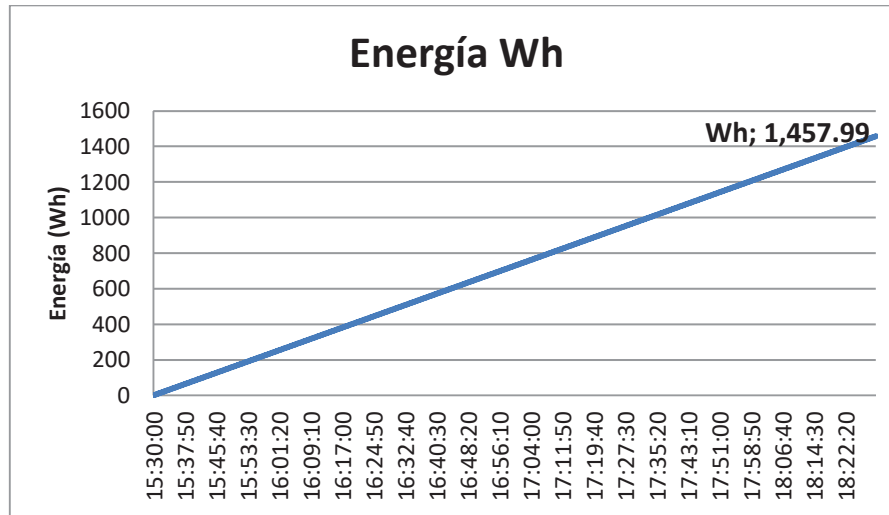


Figura 3.7. Análisis del consumo de energía desde las 15H30 hasta las 18H30
Fuente: Autor

En el horario entre las 15h30 y las 18h30 dio como resultado un consumo de 1,457.99 Wh.

3.2. Medición del estado inicial de las bombas de agua principales

Los datos arrojados por el analizador de redes se utilizan para realizar el análisis de energía consumida por las bombas de 7.5 hp cuando realiza un arranque y llenado de la cisterna en el décimo piso. Las dos bombas principales de 7.5 hp se encuentran en el subsuelo 2. Esta medición se realizó antes de los correctivos de eficiencia energética. Las dos bombas son de iguales características programadas con el mismo tiempo de encendido cada una. A continuación, se analizan los datos obtenidos y se los resume en la tabla 3.1.

Datos:

- Voltaje de operación: 210 V
- Altura Calculada, a través de la fórmula de la ecuación 3.1.

$$Altura\ Calc.\ (ft) = \frac{P(psi)}{\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right) \times g \frac{m}{s^2}} \times 22,620.59 \frac{psi \times ft}{\frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s^2}} = [ft] \quad (3.1)$$

- Caudal Calculado a través de las siguientes fórmulas:

- Para la parte 1, a través de la ecuación 3.2 (alturas comprendidas entre (223 – 222.33) ft).

$$Q = 8.6911H^2 - 3.9000 \times 10^3 H + 4.3750 \times 10^5 \quad (3.2)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

- Para la parte 2, a través de la ecuación 3.3 (alturas comprendidas entre (222.2 – 218) ft).

$$Q = -3.9020 \times 10^{-1} H^2 + 1.6625 \times 10^2 H - 1.7649 \times 10^4 \quad (3.3)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

- Para la parte 3, a través de la ecuación 3.4 (alturas comprendidas entre (212 – 130) ft).

$$Q = 3.3017 \times 10^4 H^4 - 2.9384 \times 10^{-4} H^3 + 8.7656 \times 10^{-2} H^2 - 1.1745 \times 10^1 H + 7.4348 \times 10^2 \quad (3.4)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

- Potencia Hidráulica calculada a través de la ecuación 3.5.

$$Pot \text{ Hidráulica} = P(\text{psi}) \times \text{Alt. calc. (ft)} \times 0.43 \frac{\text{Watts}}{\text{psi} \times \text{ft}} = [\text{Watts}] \quad (3.5)$$

- La potencia eléctrica medida antes de los correctivos de eficiencia energética arrojó un valor constante de 4,031.30 Watts cuando la bomba alcanzaba los 82 psi de presión inmediatamente iniciado el arranque de la misma, como se resume en la ecuación 3.6.

$$Pot. \text{ Eléctrica} = 4,031.30 \text{ Watts} \quad (3.6)$$

- Factor K ($\frac{\text{ft} \times \text{min}^2}{\text{GPM}^2}$), calculado a través de la ecuación 3.7.

$$K = \frac{\text{Altura Calc.}}{(\text{Caudal Calc.})^2} = \frac{ft \times min^2}{GPM^2} \quad (3.7)$$

- Altura de impulso inicial
 - Altura promedio de los pisos del edificio desde el Subsuelo 2 hasta el décimo piso. Ilustrado en ecuaciones 3.8 y 3.9.

$$\text{Altura total Edificio Adm. Central} = 3 \text{ m} * 12 \text{ pisos} = 36 \text{ m} \quad (3.8)$$

$$\text{Altura impulso inicial} = 36 \text{ m} = 118.11024 \text{ ft} \quad (3.9)$$

- Pérdidas Punto Mínimo, calculado a través de la ecuación 3.10.

$$\text{Pérd. Punto Min} = \frac{\text{Factor K mínimo}}{(\text{Caudal teórico})^2} + 118.11024 \text{ ft} \quad (3.10)$$

- Pérdidas Punto Máximo, calculado a través de la ecuación 3.11.

$$\text{Pérd. Punto Max} = \frac{\text{Factor K máximo}}{(\text{Caudal teórico})^2} \quad (3.11)$$

- Cálculo de la eficiencia en 82 psi (presión de operación) a través de la ecuación 3.12.

$$\eta(\%) = \frac{\text{Pot. Hidráulica}}{\text{Pot. Eléctrica}} \times 100 = \frac{3,244.29 \text{ Watts}}{4,031.30 \text{ Watts}} = 80.48\% \quad (3.12)$$

Se obtiene una eficiencia de 80.48% en el punto de operación constante de la bomba (82 psi), presión que se mantiene hasta que el sistema recibe la señal de un electrónivel ubicado en la cisterna del décimo piso, el cual una vez la cisterna alcanza los 22 m³ desactiva el contactor de la bomba de 7.5 hp haciendo que la misma se apague. Las dos bombas de 7.5 hp se encienden de forma alternada hasta que la cisterna alcanza los 22 m³. La gráfica del funcionamiento para las bombas de 7.5 hp se muestra en la figura 3.8.

Tabla 3.1. Resultados obtenidos del cálculo del funcionamiento de las bombas de agua principales

No.	Altura teórica (ft)	Caudal teórico (GPM)	Presión (psi)	Altura Calculada (ft)	Caudal Calculada (GPM)	Potencia Hidráulica (Watts)	Potencia Eléctrica (Watts)	Factor K (ft*min ² /GPM ²)	Pérdidas Punto Min.	Pérdidas Punto Máx.
1	223.00	0.00	8.00	18.47	554.68	1,908.09	4,031.30	0.0001	118.11	0.00
2	222.45	15.00	12.00	27.70	479.36	2,473.50	4,031.30	0.0001	118.12	5.03
3	222.33	20.00	16.00	36.93	415.09	2,855.81	4,031.30	0.0002	118.13	8.94
4	222.20	25.00	20.00	46.16	360.68	3,101.83	4,031.30	0.0004	118.15	13.97
5	222.00	30.00	24.00	55.40	315.00	3,250.77	4,031.30	0.0006	118.16	20.12
6	221.00	35.00	28.00	64.63	276.98	3,334.80	4,031.30	0.0008	118.18	27.39
7	220.00	40.00	32.00	73.86	245.60	3,379.51	4,031.30	0.0012	118.21	35.77
8	218.00	50.00	36.00	83.10	219.92	3,404.39	4,031.30	0.0017	118.26	55.89
9	212.00	60.00	40.00	92.33	199.03	3,423.36	4,031.30	0.0023	118.33	80.49
10	206.50	70.00	44.00	101.56	182.10	3,445.24	4,031.30	0.0031	118.40	109.55
11	197.50	80.00	48.00	110.79	168.33	3,474.28	4,031.30	0.0039	118.49	143.09
12	191.50	90.00	52.00	120.03	157.00	3,510.61	4,031.30	0.0049	118.60	181.09
13	182.50	100.00	56.00	129.26	147.46	3,550.75	4,031.30	0.0060	118.71	223.57
14	172.86	110.00	60.00	138.49	139.07	3,588.12	4,031.30	0.0072	118.84	270.52
15	160.00	120.00	64.00	147.73	131.31	3,613.53	4,031.30	0.0086	118.97	321.94
16	150.00	130.00	68.00	156.96	123.66	3,615.67	4,031.30	0.0103	119.12	377.84
17	137.50	140.00	72.00	166.19	115.68	3,581.60	4,031.30	0.0124	119.29	438.20
18	130.00	146.67	82.00	189.27	92.01	3,244.29	4,031.30	0.0224	119.40	480.92

(Fuente: Autor)

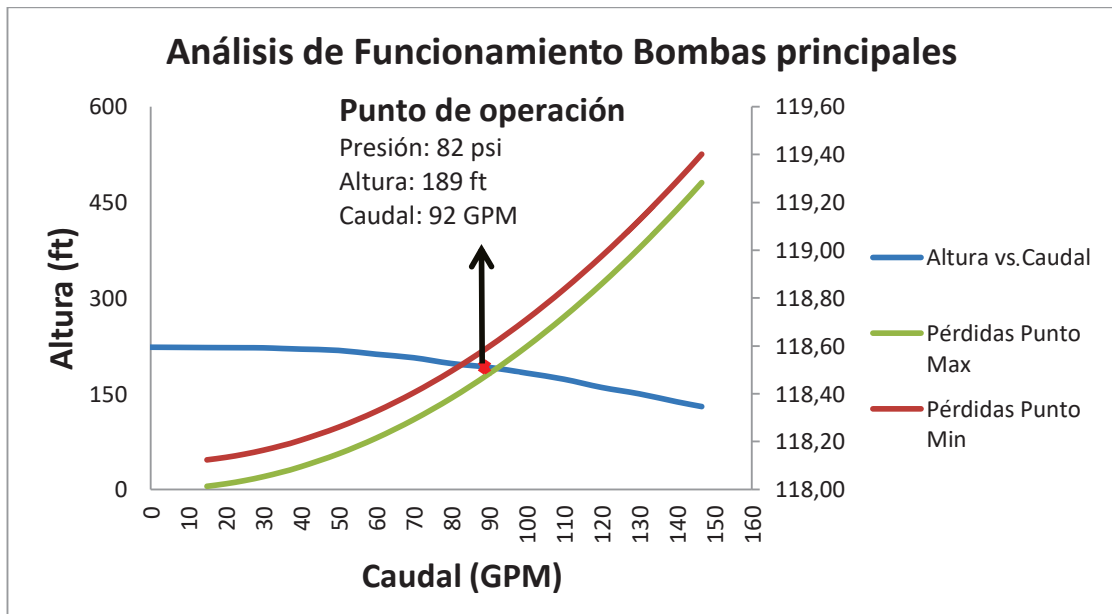


Figura 3.8. Análisis del funcionamiento de las bombas principales

Fuente: Autor

Como se pudo observar en el subcapítulo 2.2.2.1, el punto de mejor eficiencia de las bombas principales se da cuando la altura es de 199.46 ft y el caudal 80 GPM, estos dos valores dan una presión deseada de 86 psi. En esta presión las bombas de agua principales operarán en su punto de mejor eficiencia.

En la figura 3.8 se observa que las bombas principales no están operando en su punto de máxima eficiencia.

3.3. Medición del estado inicial de la bomba de agua secundaria

Se tomaron los datos obtenidos por el analizador de redes eléctricas para realizar el análisis de energía consumida por la bomba de 2 hp cuando realiza un arranque y llenado de los tanques hidroneumáticos. Esta medición se realizó antes de los correctivos de eficiencia energética. A continuación, se analizan los datos obtenidos y se los resume en la tabla 3.2.

Datos:

- Voltaje de operación: 210 V
- Altura Calculada, a través de la ecuación 3.13.

$$Altura\ Calc.\ (ft) = \frac{P(psi)}{\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right) \times g\ \frac{m}{s^2}} \times 22,620.59\ \frac{psi \times ft}{\frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s^2}} = [ft] \quad (3.13)$$

- Caudal Calculado, a través de la siguiente fórmula:
 - Para la parte 1, a través de la ecuación 3.14, para las alturas entre (116.00 – 115.10) ft.

$$Q = 8.92862 \times 10^{-1} H^2 - 2.25644 \times 10^2 H + 1.41605 \times 10^4 \quad (3.14)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

- Para la parte 2, a través de la ecuación 3.15, para las alturas entre (114.98 – 15.00) ft.

$$Q = 9.3112 \times 10^{-5} H^3 + 0.0090257 H^2 - 0.45991 H + 100.15 \quad (3.15)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

- Potencia Hidráulica calculada a través de la ecuación 3.16.

$$Pot \text{ Hidráulica} = P(\text{psi}) \times Alt. \text{ calc. (ft)} \times 0.43 \frac{\text{Watts}}{\text{psi} \times \text{ft}} = [\text{Watts}] \quad (3.16)$$

- Potencia eléctrica calculada a través de la ecuación 3.17.

$$Pot. \text{ Eléctrica} = I(A) \times F. P. \times 210 (V) = \text{Watts} \quad (3.17)$$

- Eficiencia (%), calculada a través de la ecuación 3.18.

$$\eta(\%) = \frac{Pot. \text{ Hidráulica}}{Pot. \text{ Eléctrica}} \times 100 \quad (3.18)$$

- Factor K ($\frac{ft \times min^2}{GPM^2}$), calculado a través de la ecuación 3.19.

$$K = \frac{Altura \text{ Calc.}}{(Caudal \text{ Calc.})^2} = \frac{ft \times min^2}{GPM^2} \quad (3.19)$$

En la tabla 3.2 se observa que se obtiene una eficiencia de 71.86% en el punto final antes de llegar a los 34 psi, presión en la cual inmediatamente se apaga el motor de la bomba de 2 hp.

Para la gráfica del funcionamiento de la bomba de 2 hp se organizan los datos en la tabla 3.3, posterior a lo cual se muestra la gráfica del funcionamiento de la bomba en la figura 3.9.

En la figura 3.9 se observa que la bomba secundaria no está operando en su punto de máxima eficiencia.

Tabla 3.2. Resultados obtenidos del cálculo del funcionamiento del motor de la bomba de agua secundaria

Presión (psi)	Altura Calculada (ft)	Caudal Calculado (GPM)	P. Hidráulica (Watts)	Corriente (A)	FP	P. Eléctrica (Watts)	Eficiencia (%)	Factor K (ft ³ min ² /GPM ²)
25.00	57.71	85.77	922.07	22.20	0.49	2,275.06	40.53	0.00784
25.50	58.86	85.36	935.99	9.90	0.79	1,650.73	56.70	0.00808
26.00	60.01	84.93	949.52	9.90	0.79	1,646.57	57.67	0.00832
26.50	61.17	84.48	962.63	9.80	0.79	1,627.88	59.13	0.00857
27.00	62.32	84.00	975.30	9.80	0.79	1,625.82	59.99	0.00883
27.50	63.48	83.51	987.49	9.70	0.79	1,605.16	61.52	0.00910
28.00	64.63	82.99	999.20	9.70	0.79	1,605.16	62.25	0.00938
28.50	65.78	82.45	1,010.39	9.60	0.79	1,586.59	63.68	0.00968
29.00	66.94	81.88	1,021.03	9.60	0.79	1,584.58	64.44	0.00998
29.50	68.09	81.28	1,031.10	9.60	0.79	1,582.56	65.15	0.01031
30.00	69.25	80.66	1,040.57	9.50	0.78	1,564.08	66.53	0.01064
30.50	70.40	80.02	1,049.42	9.50	0.78	1,562.09	67.18	0.01100
31.00	71.55	79.34	1,057.61	9.50	0.78	1,560.09	67.79	0.01137
31.50	72.71	78.63	1,065.11	9.50	0.78	1,558.10	68.36	0.01176
32.00	73.86	77.90	1,071.90	9.40	0.78	1,537.75	69.71	0.01217
32.50	75.02	77.13	1,077.93	9.40	0.78	1,533.80	70.28	0.01261
33.00	76.17	76.33	1,083.19	9.30	0.78	1,515.53	71.47	0.01307
33.50	77.33	75.50	1,087.63	9.30	0.78	1,513.58	71.86	0.01356
34.00	78.48	74.64	1,091.23	8.30	0.70	1,218.36	89.57	0.01409

(Fuente: Autor)

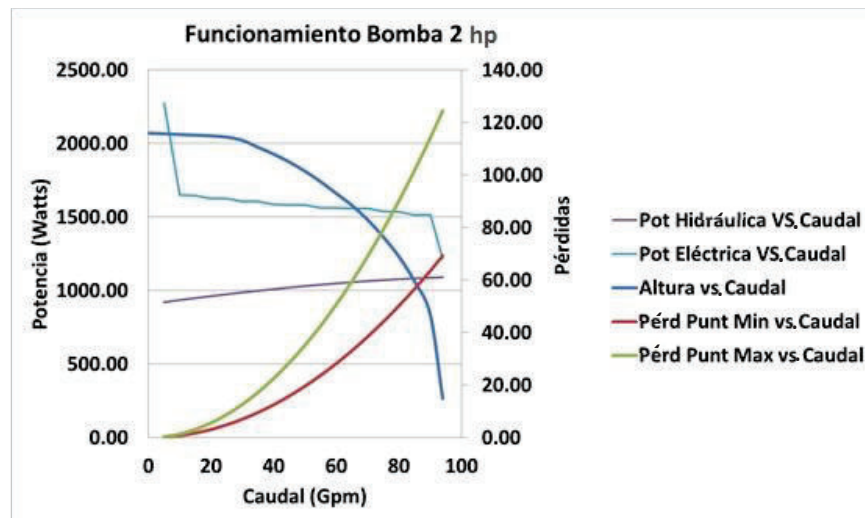


Figura 3.9. Funcionamiento de la bomba de 2 hp

Fuente: Autor

Tabla 3.3. Funcionamiento de la bomba de 2 hp

No.	Altura teórica (ft)	GPM	Presión (psi)	Altura Calc. (ft)	Caudal Calc. (GPM)	Potencia Hidráulica (Watts)	Potencia Eléctrica (Watts)	Factor K (ft ³ min ² /GPM ²)	Pérdidas Punto Min.	Pérdidas Punto Máx.
1	116.00	0.00								
3	115.75	5.00	25.00	57.71	85.77	922.07	2,275.06	0.007844	0.20	0.35
5	115.475	10.00	25.50	58.86	85.36	935.99	1,650.73	0.008078	0.78	1.41
7	115.225	15.00	26.00	60.01	84.93	949.52	1,646.57	0.008320	1.76	3.17
9	114.975	20.00	26.50	61.17	84.48	962.63	1,627.88	0.008571	3.14	5.63
11	114.475	25.00	27.00	62.32	84.00	975.30	1,625.82	0.008831	4.90	8.80
13	113.25	30.00	27.50	63.48	83.51	987.49	1,605.16	0.009102	7.06	12.68
15	110.60	35.00	28.00	64.63	82.99	999.20	1,605.16	0.009384	9.61	17.26
17	108.00	40.00	28.50	65.78	82.45	1,010.39	1,586.59	0.009678	12.55	22.54
19	105.00	45.00	29.00	66.94	81.88	1,021.03	1,584.58	0.009985	15.88	28.53
21	101.50	50.00	29.50	68.09	81.28	1,031.10	1,582.56	0.010306	19.61	35.22
23	97.50	55.00	30.00	69.25	80.66	1,040.57	1,564.08	0.010642	23.73	42.61
25	93.00	60.00	30.50	70.40	80.02	1,049.42	1,562.09	0.010996	28.24	50.71
27	88.50	65.00	31.00	71.55	79.34	1,057.61	1,560.09	0.011367	33.14	59.52
29	83.00	70.00	31.50	72.71	78.63	1,065.11	1,558.10	0.011759	38.43	69.03
31	76.50	75.00	32.00	73.86	77.90	1,071.90	1,537.75	0.012172	44.12	79.24
33	69.00	80.00	32.50	75.02	77.13	1,077.93	1,533.80	0.012609	50.20	90.16
35	59.50	85.00	33.00	76.17	76.33	1,083.19	1,515.53	0.013072	56.67	101.78
37	47.00	90.00	33.50	77.33	75.50	1,087.63	1,513.58	0.013564	63.53	114.10
39	15.00	94.00	34.00	78.48	74.64	1,091.23	1,218.36	0.014087	69.31	124.47

(Fuente: Autor)

3.4. Medición del estado inicial de los motores de los ascensores

En los anexos M y N, se encuentra el registro de la medición de la potencia y del consumo de energía para los dos ascensores de 7.5 kW en el horario comprendido entre las 08:00:00 y las 16:00:00. Para el análisis de la potencia en cada arranque del motor se toman las mediciones en un intervalo de 15 minutos, ya que el comportamiento es el mismo durante el transcurso del día.

3.4.1. Subidas y bajadas antes de eficiencia energética

El número de veces que cada ascensor sube y baja durante un día de trabajo se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Subidas y bajadas de los ascensores en un día de trabajo

Ascensor Izquierdo (2)		Ascensor Derecho (1)	
Sube	Baja	Sube	Baja
427	405	358	340

(Fuente: Autor)

3.4.2. Análisis para el ascensor 1

Los resultados de la potencia registrada en este intervalo son los mostrados en el anexo M.

3.4.2.1. Análisis de potencia para el ascensor 1

Para la gráfica de “Potencia vs. Tiempo” de la “Fase 1” ver figura 3.10.

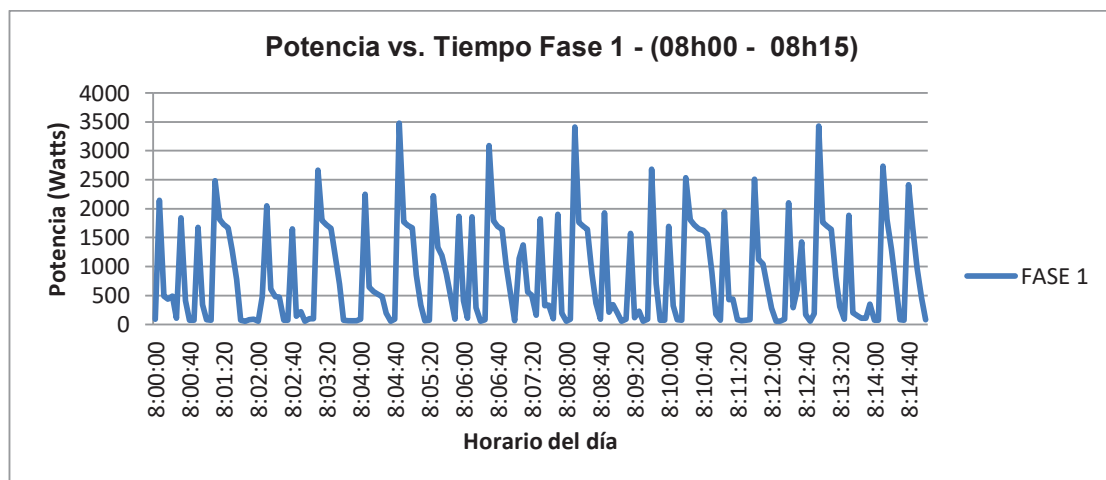


Figura 3.10. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de la fase 1 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

Alcanzando su pico máximo a las 08:04:45 con una potencia de 3,478.11 Watts. El gráfico “Potencia vs. Tiempo” de la “Fase 2” se muestra la figura 3.11.

Alcanzando su pico máximo a las 08:04:45 con una potencia de 3,572.76 Watts. El gráfico “Potencia vs. Tiempo” de la “Fase 3” se muestra en la figura 3.12.

Alcanzando su pico máximo a las 08:04:45 con una potencia de 3,915.68 Watts. El gráfico “Potencia vs. Tiempo” de las tres fases se muestra en la figura 3.13.

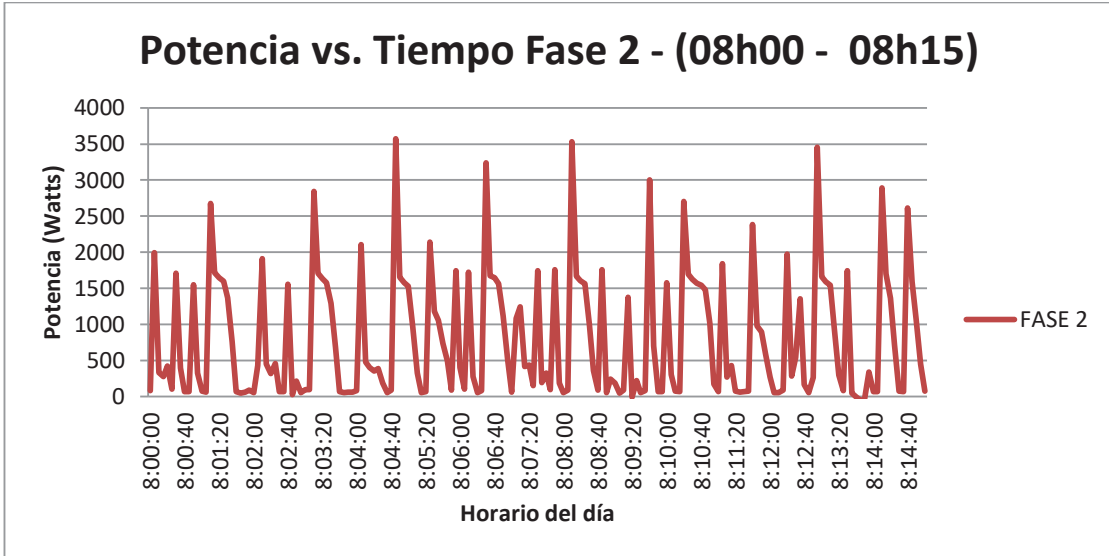


Figura 3.11. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de la fase 2 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

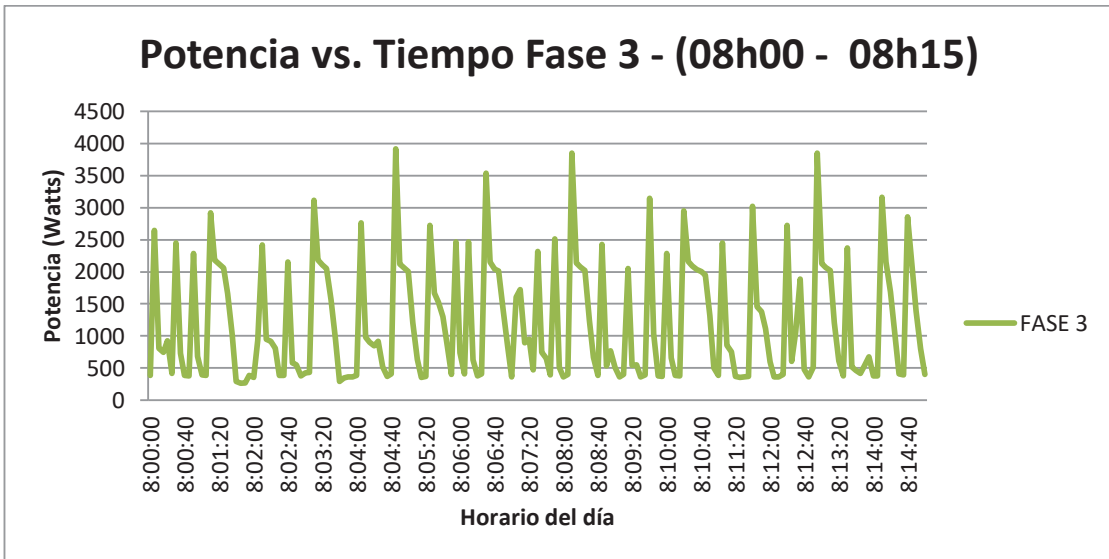


Figura 3.12. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de la fase 3 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

3.4.2.2. Ascensor 1 en reposo

Utilizando los valores de la potencia registrada por el analizador de redes AEMC-3947, se pudo determinar la potencia que consume el ascensor 1 cuando está en reposo, obteniendo el resultado mostrado en la tabla 3.5.

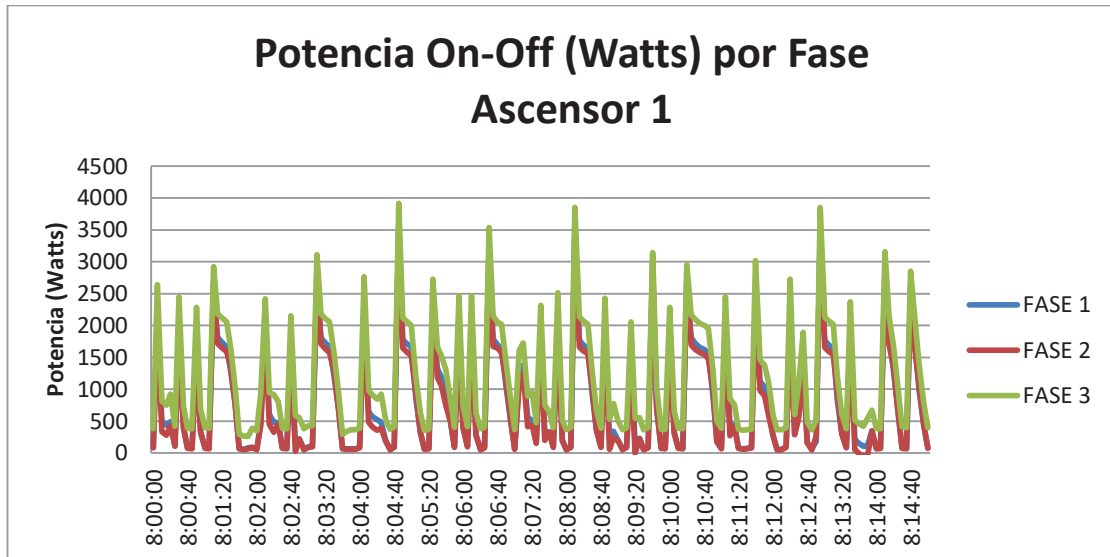


Figura 3.13. Gráfica de P vs. T del ascensor 1 de las 3 fases (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

Tabla 3.5. Potencia del ascensor 1 en reposo y en movimiento

DESCRIPCIÓN	Hora	(Watts)			
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	P. Total
Reposo	8:00:00	89.88	82.96	381.94	554.78
Movimiento	8:04:45	3,478.11	3,572.76	3,915.68	10,966.55

(Fuente: Autor)

3.4.2.3. Ascensor 1 en movimiento (Subida o Bajada)

Utilizando los valores de la potencia registrada por el analizador de redes AEMC-3947, se pudo determinar la potencia que consume el ascensor 1 cuando está en movimiento, obteniendo el resultado mostrado en la tabla 3.5.

Se observa que la potencia registrada en la fase 3 cuando el ascensor está en reposo es mayor con un 80% a las potencias registradas por las fases 1 y 2, pero esta tiende a equilibrarse cuando el ascensor está en movimiento, “ya sea de bajada o de subida”. Esto debido a que el sistema de iluminación y el de control dentro del ascensor están conectados a la fase 3 del ascensor 1.

La potencia total del ascensor 1 registrada en el horario muestra de 08:00:00 hasta las 08:15:00 se ilustra en la figura 3.14.

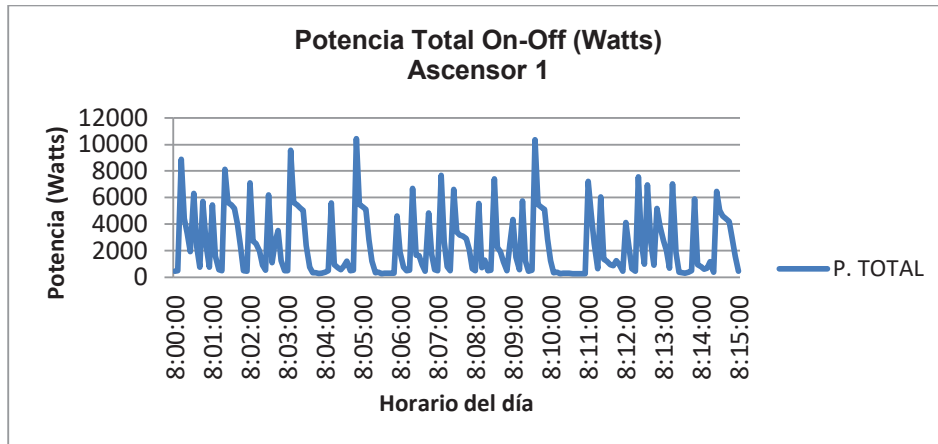


Figura 3.14. Potencia total del ascensor 1 registrada desde las 08h00 hasta las 08h15
Fuente: Autor

Los picos altos de potencia son en el arranque del motor, ya sea que el ascensor suba o baje.

3.4.3. Análisis de potencia para el ascensor 2

De igual manera que para el ascensor 1, se toma un intervalo de tiempo de 15 minutos para el análisis de la potencia, ya que el que el comportamiento de la potencia en el arranque y encendido del motor es el mismo en el transcurso del día. El registro de la potencia en este intervalo de tiempo se muestra en el anexo N.

Con los valores del registro de potencia podemos obtener la gráfica “Potencia vs. Tiempo” de la “Fase 1” para el ascensor 2, la cual se ilustra en la figura 3.15.

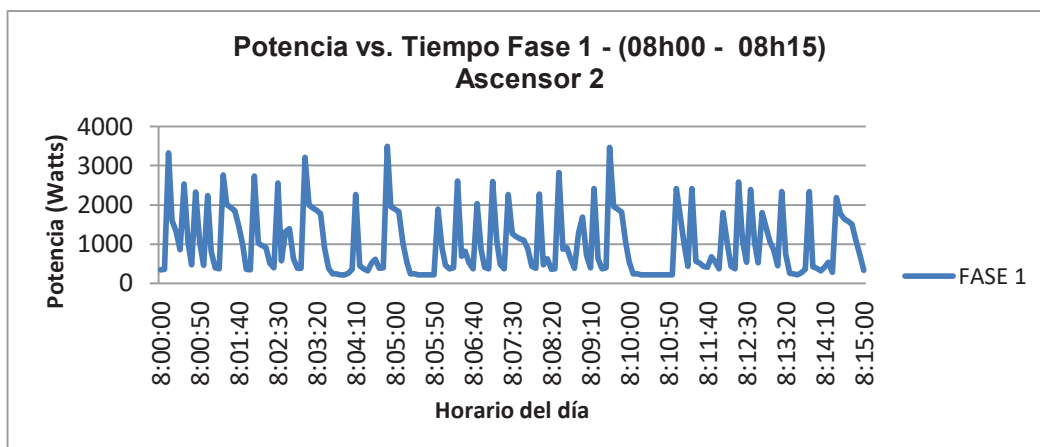


Figura 3.15. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de la fase 1 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

Alcanzando su pico máximo a las 08:04:50 con una potencia de 3,493.98 Watts. El gráfico “Potencia vs. Tiempo” de la “Fase 2” del ascensor 2 se muestra en la figura 3.16.

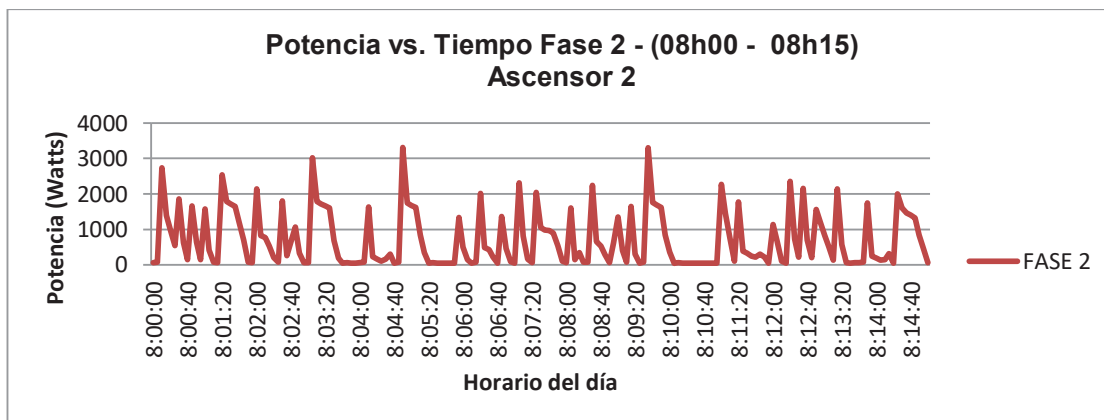


Figura 3.16. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de la fase 2 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

Alcanzando su pico máximo a las 08:04:45 con una potencia de 3,311.62 Watts. El gráfico “Potencia vs. Tiempo” de la “Fase 3” del ascensor 2 se muestra en la figura 3.17.

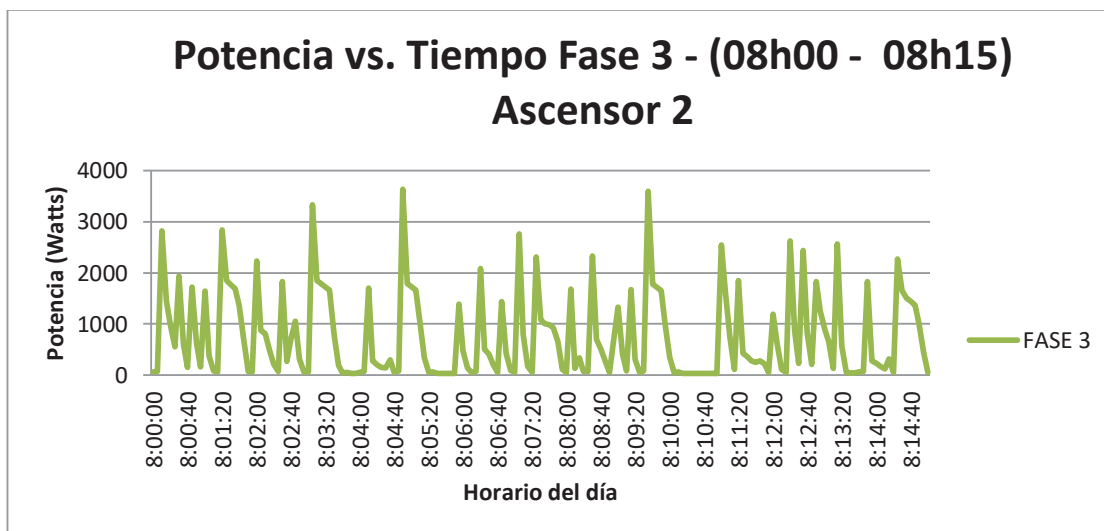


Figura 3.17. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de la fase 3 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

Alcanzando su pico máximo a las 08:04:45 con una potencia de 3,635.22 Watts. El gráfico de la “Potencia vs. Tiempo” de las tres Fases del ascensor 2 se muestra en la figura 3.18.

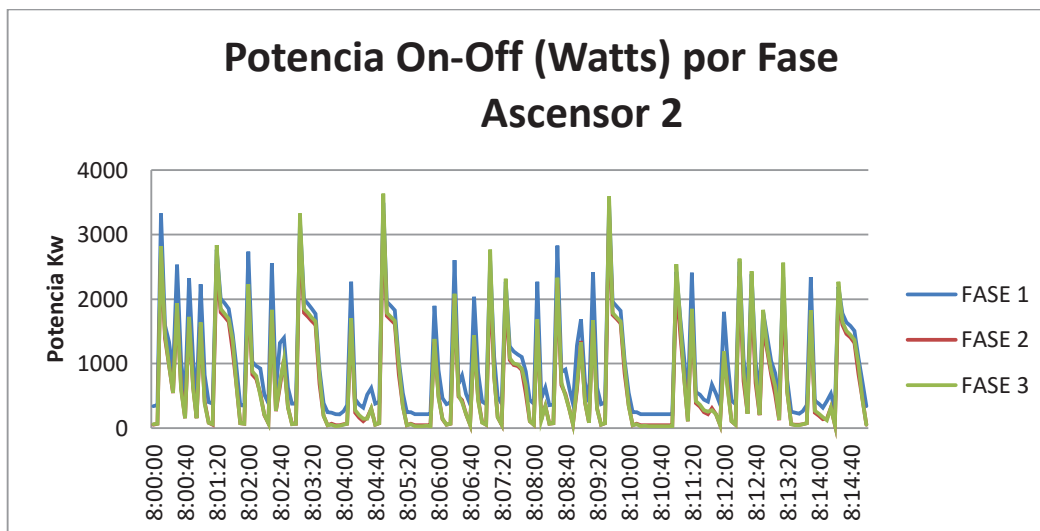


Figura 3.18. Gráfica de P vs. T del ascensor 2 de las 3 fases (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

3.4.3.1. Ascensor 2 en reposo

Utilizando los valores de la potencia registrada por el analizador de redes AEMC-3947, se pudo determinar la potencia que consume el ascensor 2 cuando está en reposo, obteniendo el resultado mostrado en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Resumen de potencias del ascensor 2 en reposo y en movimiento

DESCRIPCIÓN	Hora	(Watts)			
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	P. Total
Reposo	8:00:00	338.99	56.04	58.7	453.73
Movimiento	8:04:50	3,493.98	3,311.62	3,635.22	10,440.82

(Fuente: Autor)

3.4.3.2. Ascensor 2 en movimiento (Subida o Bajada)

Utilizando los valores de la potencia registrada por el analizador de redes AEMC-3947, se pudo determinar la potencia que consume el ascensor 2 cuando está en movimiento, obteniendo el resultado mostrado en la tabla 3.6.

Se observa que la potencia registrada en la fase 1 cuando el ascensor está en reposo es mayor con un 80% a las potencias registradas por las fases 2 y 3, pero esta tiende a equilibrarse cuando el ascensor está en movimiento, “ya sea de bajada o de subida”. Esto es producido porque los sistemas de iluminación y de control dentro del ascensor, están conectados a la fase 1 del ascensor 2.

La potencia total del ascensor 2 registrada en el horario muestra de 08:00:00 hasta las 08:15:00, se visualiza en la figura 3.19.

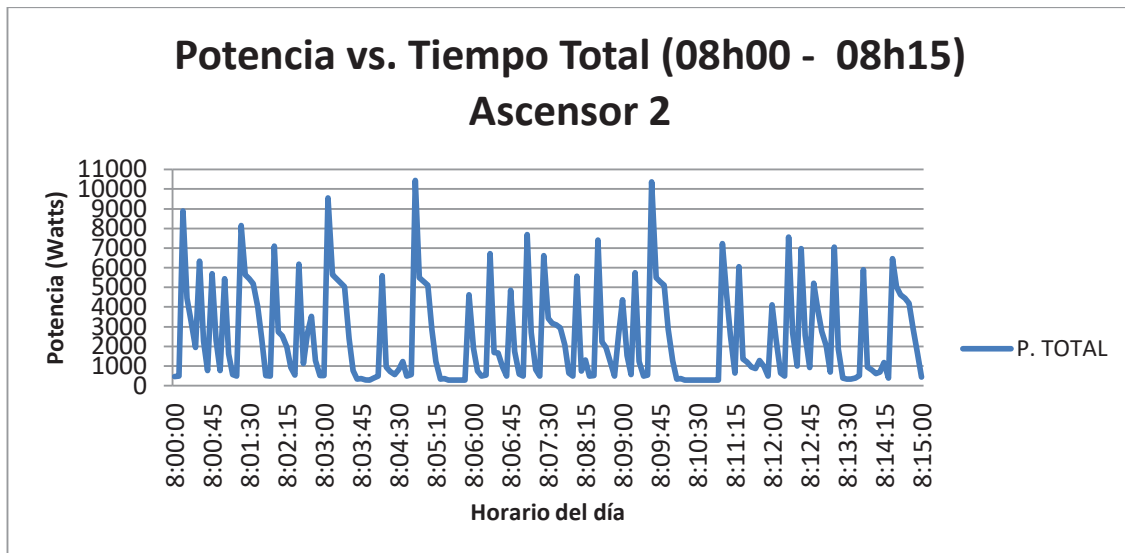


Figura 3.19. Gráfica de P. Total vs. T del ascensor 2 (08h00 – 08h15)
Fuente: Autor

Los picos altos de potencia se producen en el momento de arranque del motor, ya sea que el ascensor suba o baje.

3.5. Registro de energía en los motores de los ascensores

Se procedió a medir el consumo de energía eléctrica de los ascensores en el horario entre 08h00 – 16h00, que es el horario de trabajo en jornada normal de los servidores del SECAP.

3.5.1. Análisis del consumo de energía para ascensor 1

Se analizó el consumo de energía total por fase cuando el ascensor 1 está en reposo y cuando está en movimiento, los resultados se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Energía total consumida por fase del ascensor 1

	(Wh)	(kWh)
Fase 1	4,893.55	4.89355
Fase 2	4,739.65	4.73965
Fase 3	7,580.18	7.58018
Total	17,213.38	17.21338

(Fuente: Autor)

El consumo de energía por fase del ascensor 1 cuando este se encuentra en reposo se detalla en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Ascensor 1 en reposo, energía consumida en el horario de 08h00 a 16h00

	(Wh)	(kWh)
Fase 1	323.43	0.32343
Fase 2	292.09	0.29209
Fase 3	1,345.53	1.34553
Total	1,961.05	1.96105

(Fuente: Autor)

Se observa un consumo de 1.961 kWh al final de la jornada, esto debido a que cuando el motor se detiene, se enciende el sistema reductor de velocidad, además el sistema de iluminación y control se mantienen encendidos durante todo el día.

En la figura 3.20 se ilustran los resultados de las mediciones realizadas.

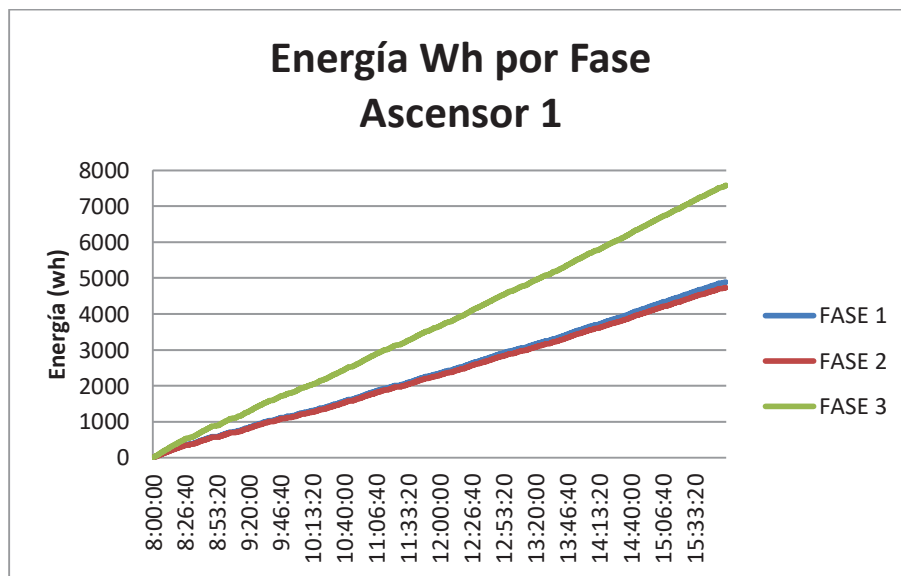


Figura 3.20. Energía por fase del ascensor 1
Fuente: Autor

El consumo de energía por fase del ascensor 1 cuando este se encuentra en movimiento se detalla en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Ascensor 1 en movimiento, energía consumida en el horario de 08:00 a 16:00

	(Wh)	(kWh)
Fase 1	4,570.12	4.57012
Fase 2	4,447.56	4.44756
Fase 3	6,234.65	6.23465
Total	15,252.33	15.25233

(Fuente: Autor)

Se comprobó el resultado sumando la energía consumida cuando el ascensor está en reposo con la energía consumida cuando el ascensor está en movimiento. Estos resultados se ilustran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Energía total consumida por el ascensor 1 (reposo más movimiento)

	(Wh)	(kWh)
Encendido	15,252.33	15.25233
Reposo	1,961.05	1.96105
Total	17,213.38	17.21338

(Fuente: Autor)

El porcentaje de la energía consumida respecto al total cuando está reposo en comparación a la energía consumida cuando está en movimiento se calcula mediante las ecuaciones 3.20 y 3.21, y se ilustran en la figura 3.21.

$$\%Energ. \text{Reposo} \left(\frac{\text{Energía reposo}}{\text{Energía total}} \right) \times 100 = \frac{1,961.05}{17,213.38} \times 100 = 11.39\% \quad (3.20)$$

$$\%Energ. \text{Movimiento} = 100\% - 11.39\% = 88.61\% \quad (3.21)$$

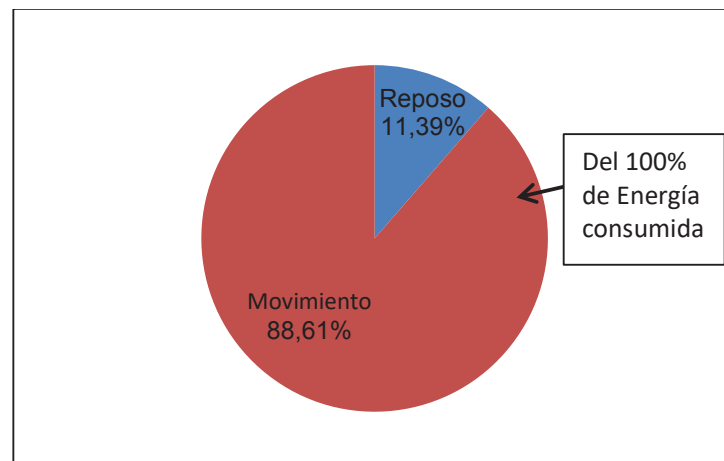


Figura 3.21. Consumo de energía respecto al total - ascensor 1

Fuente: Autor

Para el posterior análisis de eficiencia energética se plantea el escenario en el cual se reduzca significativamente el número de subidas del ascensor 1, proyectando un ahorro significativo al reducir los arranques de los motores.

3.5.2. Análisis del consumo de energía para ascensor 2

La energía total consumida por el ascensor 2 se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Energía total consumida por el ascensor 2

	(Wh)	(kWh)
Fase 1	5,902.08	5.90208
Fase 2	3,883.23	3.88323
Fase 3	4,066.03	4.06603
Total	13,851.34	13.85134

(Fuente: Autor)

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.22.

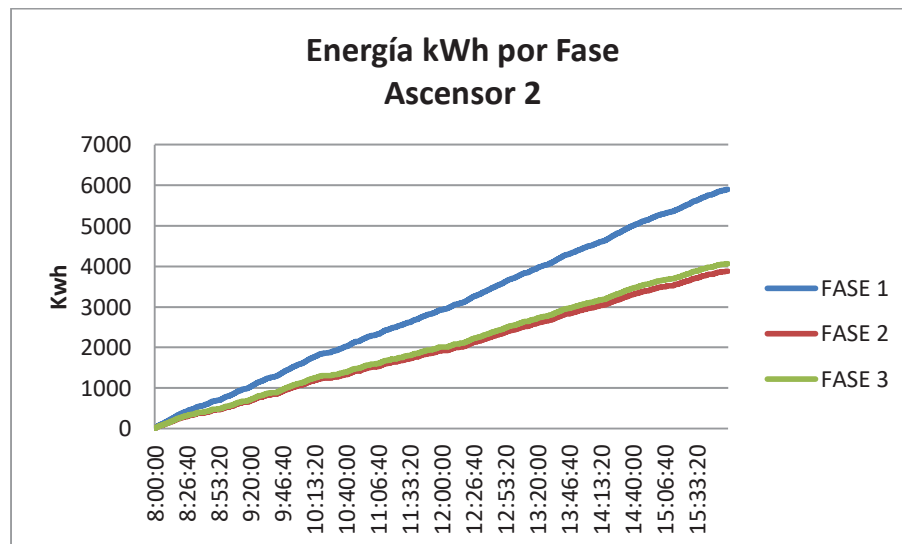


Figura 3.22. Energía consumida por fase del ascensor 2

Fuente: Autor

Analizando el consumo de energía cuando el ascensor 2 está en reposo y cuando está en movimiento se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas 3.12. y 3.13.

Dando un consumo de 1,871.23 Wh al final de la jornada en la tabla 3.12, esto debido a que cuando el motor se detiene, se enciende el sistema reductor de velocidad, además el sistema de iluminación y control se mantienen encendidos durante todo el día.

Tabla 3.12. Ascensor 2 en reposo, energía consumida en el horario de 08:00 a 16:00

	(Wh)	(kWh)
Fase 1	1,320.42	1.32042
Fase 2	290.41	0.29041
Fase 3	260.4	0.2604
Total	1,871.23	1.87123

(Fuente: Autor)

Tabla 3.13. Ascensor 2 en movimiento, energía consumida en el horario de 08:00 a 16:00

	(Wh)	(kWh)
Fase 1	4,581.66	4.58166
Fase 2	3,592.83	3.59283
Fase 3	3,805.64	3.80564
Total	11,980.13	11.98013

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.13 se obtuvo un consumo de 11,980.13 Wh al final de la jornada. En el presente análisis se consideró la energía consumida en todas las subidas y bajadas del ascensor durante el tiempo comprendido entre las 08:00:00 y las 16:00:00 (jornada normal de trabajo), esto se ilustra en la tabla 3.14. Finalmente se comprobó los resultados sumando la energía consumida cuando el ascensor 2 está en reposo con la energía consumida cuando el ascensor 2 está en movimiento.

Tabla 3.14. Energía total consumida por el ascensor 2 (reposo más movimiento)

	(Wh)	(kWh)
Encendido	11,980.13	11.98013
Reposo	1,871.23	1.87123
Total	13,851.36	13.85136

(Fuente: Autor)

El porcentaje de la energía consumida respecto al total cuando el ascensor 2 está en reposo en comparación a la energía consumida cuando está en movimiento se calcula a través de las ecuaciones 3.22 y 3.23, y se muestra en la figura 3.23.

$$\%Energ. \text{ Reposo} \left(\frac{\text{Energía reposo}}{\text{Energía Total}} \right) \times 100 = \frac{1,871.23}{13,851.36} \times 100 = 13.51\% \quad (3.22)$$

$$\%Energ. \text{ Movimiento} = 100\% - 13.51\% = 86.49\% \quad (3.23)$$

Para el posterior análisis de eficiencia energética, se plantea el escenario en el cual se reduzca significativamente el número de subidas del ascensor 2, proyectando un ahorro significativo al reducir los arranques de los motores.

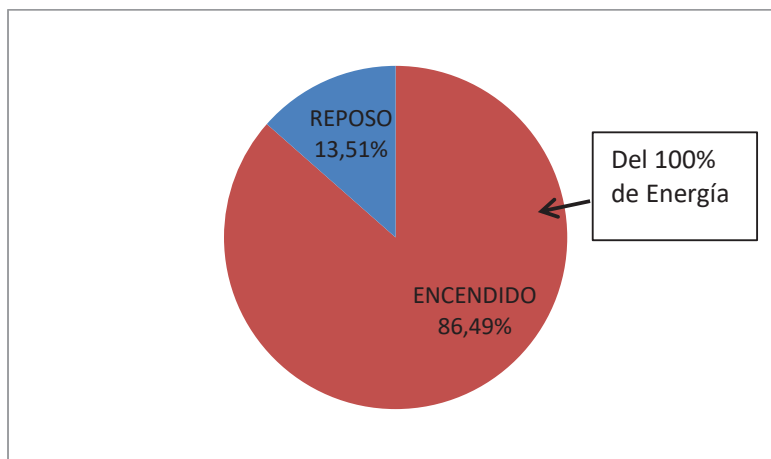


Figura 3.23. Consumo de energía respecto al total - ascensor 2
Fuente: Autor

3.6. Propuestas de mejora para reducir el consumo eléctrico en los sistemas energéticos del SECAP

A continuación, se propone medidas de eficiencia energética para ser aplicadas a los diferentes sistemas energéticos que tiene el edificio del SECAP.

3.6.1. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en las aulas de capacitación

Se observó en el subcapítulo 3.1 que, al medir el consumo de energía eléctrica del aula de capacitación, todas las luminarias se encienden al mismo tiempo, consumiendo energía innecesariamente.

Se propone instalar un sistema de control que permita encender las luminarias por zonas, únicamente cuando cada zona muestre un nivel de iluminación por debajo de 320 luxes. Estas zonas serían tres, la primera más cercana a las ventanas donde existe mayor iluminación, la segunda en la mitad del aula, y la tercera en la zona más alejada de las ventanas. Se espera que de esta manera el consumo de energía eléctrica por eficiencia en iluminación se reduzca considerablemente. La distribución de los sensores por zonas se muestra en la figura 3.24.

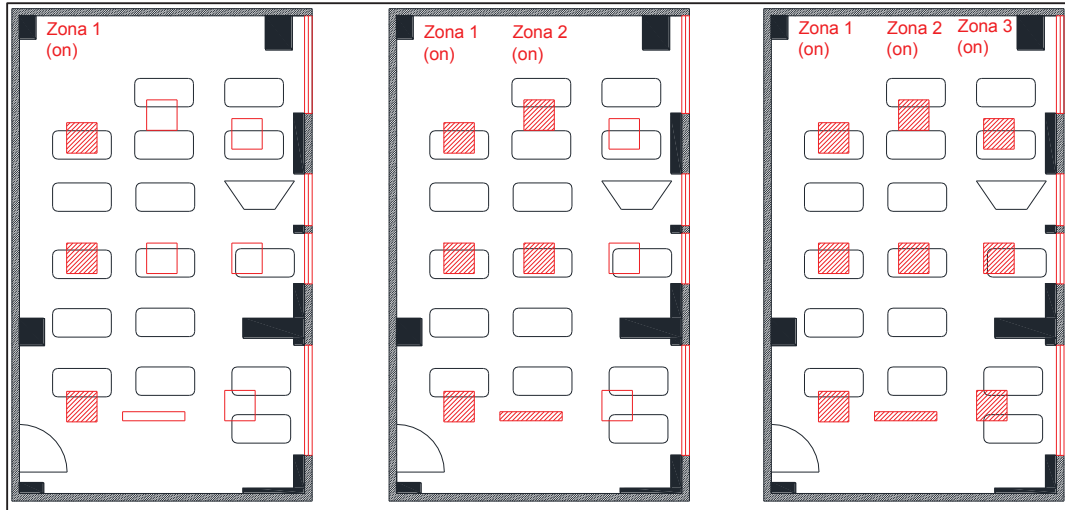


Figura 3.24. Propuesta distribución de los sensores por zonas
Fuente: Autor

Para esto se emplea la ayuda de un luxómetro que mida la intensidad lumínica en luxes sobre cada mesa de estudio, y de sensores de luminosidad ubicados cada uno en una zona distinta. Las mediciones del luxómetro y del sensor se realizan en intervalos de 15 minutos a partir de las 15h30 mientras disminuye la cantidad de luz proveniente del sol a fin de determinar los valores de seteo para que los sensores permitan la activación o no activación de las luminarias correspondientes a su zona. La medición termina a las 18h30, momento en el que terminan las clases de los cursos del SECAP.

3.6.2. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en las bombas de agua principales

Se recomienda setear la presión de trabajo de las bombas principales en el valor de 86 psi, presión en la cual las bombas principales operan en el punto de mejor eficiencia y por ende se espera un menor consumo de energía eléctrica de las mismas. El gráfico de la figura 3.25 muestra la propuesta de eficiencia energética seteando la presión de trabajo de las bombas principales en 86 psi.

Se realiza la medición del consumo de energía en un arranque de una de las bombas con la ayuda del analizador de redes AEMC-3947, esta medición la comparamos con la medición posterior a los correctivos de eficiencia energética para un arranque de las bombas principales.

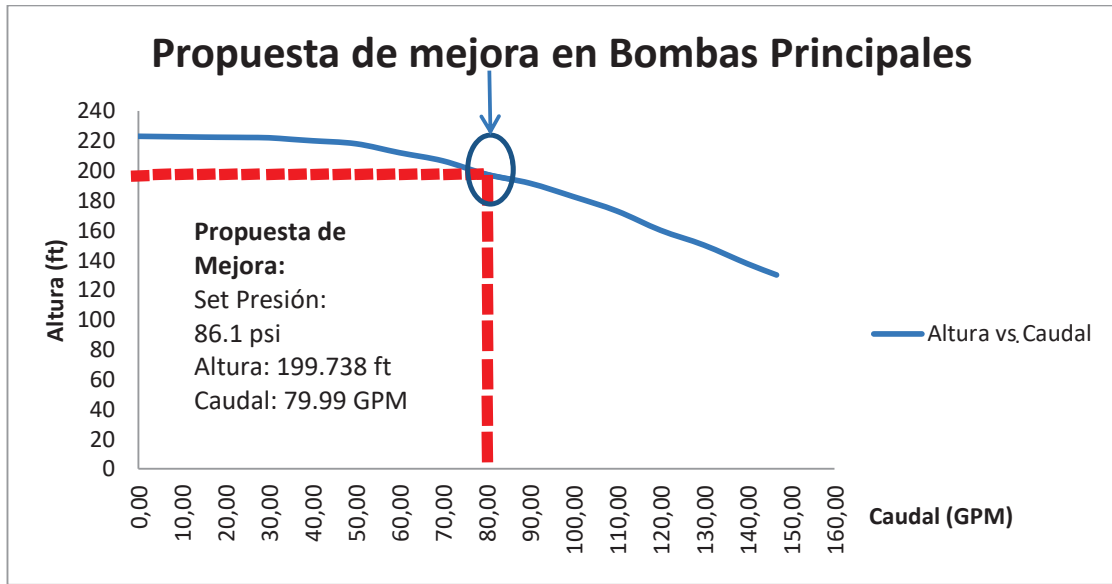


Figura 3.25. Propuesta de mejora para las bombas principales
Fuente: Autor

3.6.3. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en la bomba de agua secundaria

Siguiendo los valores de la Tabla 3.2 se proyecta el punto donde se daría la máxima eficiencia, como se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Propuesta de mejora para la eficiencia de la bomba de 2 hp

Presión (PSI)	Altura Calc. (ft)	Caudal Calc. (GPM)	Potencia Hidráulica (Watts)	Corriente (A)	FP	Potencia Eléctrica (Watts)	Eficiencia (%)	Factor K (ft*min ² /G PM ²)
35	80.79	72.81	1,095.74	9.2	0.774	1,495.37	73.28%	0.015240527
36	83.10	70.83	1,096.45	9.1	0.773	1,477.20	74.22%	0.016563234
37	85.40	68.70	1,093.05	9.0	0.772	1,459.08	74.91%	0.018094266
38	87.71	66.42	1,085.24	8.9	0.771	1,440.99	75.31%	0.019884632
39	90.02	63.96	1,072.69	8.8	0.770	1,422.96	75.38%	0.022002
40	92.33	61.34	1,055.08	8.7	0.769	1,404.96	75.10%	0.02453696
41	94.64	58.54	1,032.07	8.6	0.768	1,387.01	74.41%	0.027615095
42	96.95	55.55	1,003.30	8.5	0.767	1,369.10	73.28%	0.031412393
43	99.25	52.37	968.40	8.4	0.766	1,351.22	71.67%	0.036183334
44	101.56	49.00	927.00	8.3	0.765	1,333.40	69.52%	0.042307082
45	103.87	45.41	878.70	8.2	0.764	1,315.61	66.79%	0.050369417

(Fuente: Autor)

Se propone mejorar la eficiencia llevando las presiones de seteo hasta los valores entre (30 - 39) psi, con esta propuesta de eficiencia energética se espera mejorar la eficiencia de la bomba de 71.86% a 75% aproximadamente.

Se realiza la medición del consumo de energía en un arranque de la bomba con la ayuda del analizador de redes AEMC-3947, esta medición se la comparará con la medición posterior a los correctivos de eficiencia energética para un arranque de la bomba secundaria.

3.6.4. Recomendaciones para reducir el consumo de energía eléctrica en los motores de los ascensores

Se recomienda reducir el número de bajadas y subidas de los ascensores, se estima que aplicando esta medida de ahorro energético se logre ahorrar hasta un 5% del consumo total de la planilla de energía eléctrica. Para esto se plantea las siguientes medidas:

- Concientizar a los usuarios que el uso del ascensor sea solo para subir, haciendo uso del mismo para bajar solo cuando sea estrictamente necesario, por medio de stickers o pegatinas informativas en la entrada de los ascensores.
- Avisos vía mail de mensajes informativos que promuevan el uso del ascensor sólo para subir y reducir el uso del mismo en las bajadas.
- Instalar un sistema de control automático que permita activar el pulsador de bajada con la colocación de huella digital, este acceso estaría permitido a personas con discapacidad, mujeres embarazadas, tercera edad y gerencia. Con este sistema el resto de personas tendrían que usar las escaleras para bajar y el ascensor únicamente para subir, disminuyendo el consumo de los motores de los ascensores al reducir significativamente el uso de los mismos.

Estas recomendaciones son una medida de conservar la energía que como resultado se ahorra energía eléctrica, pero limitando el servicio a los usuarios. Se plantearán estas soluciones de ahorro de energía a las autoridades para que tomen la decisión de aplicar una, dos o las tres opciones, y se realizará la proyección del consumo en kWh de los ascensores luego de que los usuarios reduzcan el uso de los mismos.

4. MEDICIONES POSTERIORES Y RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo se aplican las propuestas de eficiencia energética descritas en el Capítulo 3, para posteriormente analizar y comparar los resultados de las mediciones antes y después de aplicar los correctivos de eficiencia energética a los sistemas objeto de nuestro estudio.

4.1. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética

A continuación, se describe el proceso que se realizó para aplicar las propuestas de mejora de eficiencia energética en los sistemas energéticos del edificio del SECAP.

4.1.1. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en iluminación

Se tomó como referencia los valores del gráfico de la figura 4.1 que ilustra un resumen del rango de luminiscencia aconsejable por el libro “Energy Management Handbook”. (Turner & Doty, 2007, pág. 355)

Tabla 13.1 Niveles de luz recomendados para tareas visuales	
	Orientación lumínica
	Distancia
Tipo de Edificio/Espacio	(footcandles)
Interiores Comerciales	
Galerías de Arte	30 - 100
Bancos	50-150
Hoteles (habitaciones y vestíbulos)	10-50
Oficinas	30-100
-Promedio de lectura y escritura	50-75
-Pasillos	10-20
-Habitaciones con computadoras	20-50
Restaurantes (comedores)	20-50
Tiendas (General)	20-50
Mercancías	100-200
Interiores Institucionales	
Auditorios/lugares de montaje	15-30
Hospitales (áreas generales)	10-15
Laboratorios/áreas de mantenimiento	50-100
Bibliotecas	30-100
Escuelas	30-150

Figura 4.1. Nivel de iluminación recomendado para un aula de estudio
Fuente: (Turner & Doty, 2007, pág. 355)

Al ser objeto de estudio un aula de capacitación, se emplea como referencia el nivel de iluminación de entre 30 – 150 footcandles (fc), equivalentes a 323 – 1,615 luxes. Con esta información se puede regular el consumo de energía eléctrica en un aula de capacitación controlando el encendido de las lámparas de tal manera que la iluminación en los sitios de trabajo se encuentre entre los rangos recomendados por la “Energy Management Handbook”. (Turner & Doty, 2007, pág. 355)

4.1.1.1. Instalación del sistema automático de control para iluminación

Se utilizó el hardware ARDUINO UNO para programar el encendido de los 9 puntos de iluminación de un ambiente de capacitación que se escogió para estudio.

El encendido se realiza por zonas, siendo la zona 1 (zona más alejada de la entrada de luz solar), zona 2 (zona central del ambiente de estudio) zona 3 (zona más cercana a la entrada de luz solar). Se armó el sistema de control ARDUINO UNO siguiendo el esquema del anexo O. Se constató la funcionalidad del sistema revisando en el software Arduino los valores dados por los sensores de luminosidad y que se ilustran en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

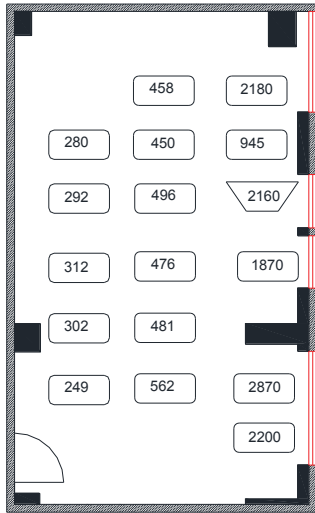
El ARDUINO UNO recibe las señales análogas en luxes de tres sensores de luminosidad, correspondiente a la ubicación de los sensores en cada zona. Luego compara si esa señal es menor a la deseada y desactiva las zonas con iluminación superior a la misma, y no permite su activación hasta que la luminosidad sea menor al valor programado.

La descripción en detalle del hardware ARDUINO UNO se encuentra en el anexo P.

4.1.1.2. Operación del sistema de control automático de iluminación

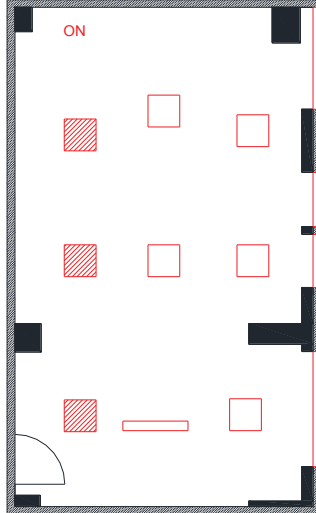
Se realizó la medición desde las 15h30 hasta las 18h30 en cada uno de los puntos por debajo de las luminarias existentes a la altura de las mesas de estudio. Estas mediciones se realizaron con el sistema automático de iluminación instalado. Los resultados fueron los siguientes:

15:25 - 15:30
Sistema Apagado



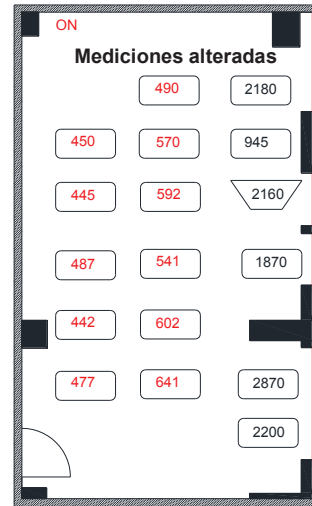
a. Inicio apagado Zona 1

Luminarias encendidas Zona 1



b. Luminarias Zona 1

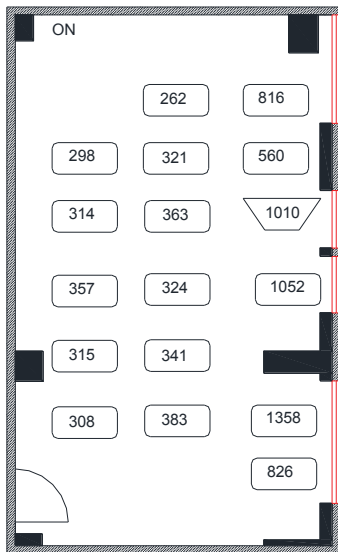
15:30 - 15:35
Encendido de Zona 1



c. Zona 1 On

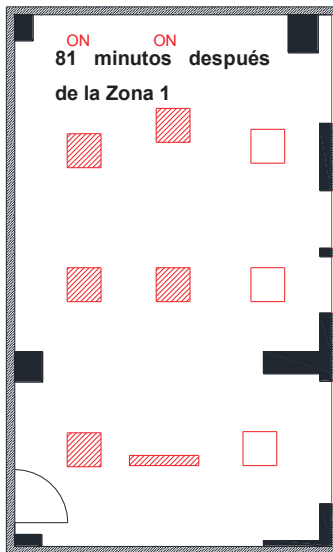
Figura 4.2. Encendido de Zona 1
Fuente: Autor

16:50 - 16:53
Inicia Zona 1 - ON



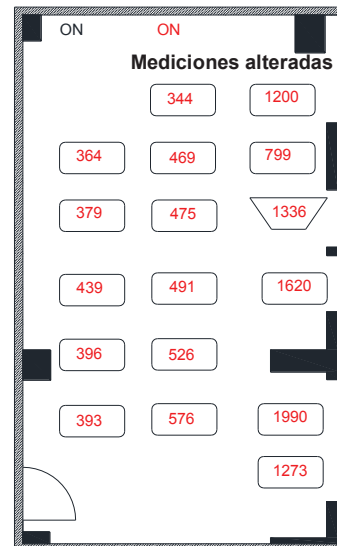
a. Inicio apagado Zona

Luminarias encendidas Zona 1, 2



b. Luminarias Zona 1 y 2

16:54 - 16:58
Encendido de Zona 1 y 2 - ON



c. Zona 1 y 2 On

Figura 4.3. Encendido de Zona 2
Fuente: Autor

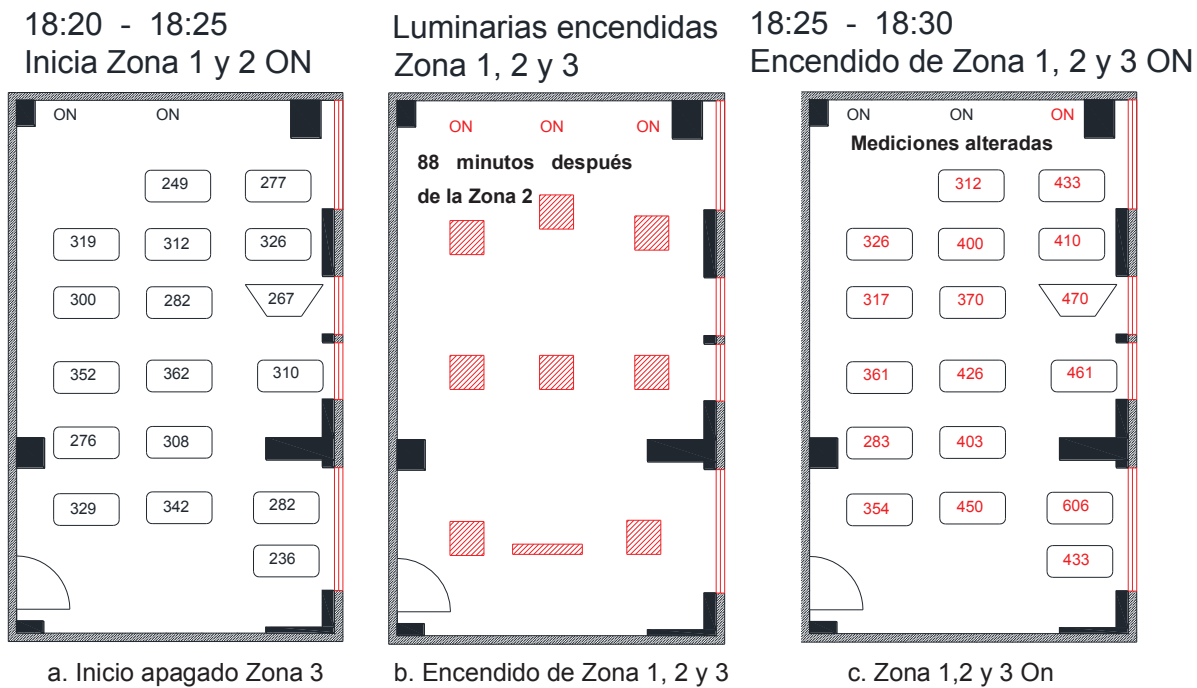


Figura 4.4. Encendido de Zona 3
Fuente: Autor

Los datos numéricos mostrados sobre los puntos de las mesas de estudio son valores obtenidos en luxes.

El sensor de luminosidad de cada zona detecta una luminosidad por debajo de los 320 lux a la altura de la mesa de trabajo, este envía una señal al relé de activación que permite el paso de los 120 Vac que enciende cada una de las respectivas zonas del ambiente de capacitación.

Posteriormente se procede a comparar el resultado arrojado por cada uno de los sensores de luminosidad y de un luxómetro ubicado por debajo del mismo, para poder determinar los valores de seteo de cada una de las zonas de luminosidad diseñadas para el aula de estudio. Los resultados fueron los siguientes:

ZONA 1:

La medición del sensor 1 cuando el luxómetro dio 329 lux, fue de 147 lux, siguiendo con los parámetros recomendados en el subcapítulo 4.1.1, el valor de luminosidad mínimo para un aula de capacitación es de 320 lux a la altura de la mesa de estudio, por lo que se calibró el encendido del sensor 1 en el valor de 135 lux para la zona 1; la zona 1 se enciende cuando el punto más oscuro a la altura de una mesa de estudio está en 280 lux para esta

zona. Una vez encendida la zona 1 el punto de menor luminosidad alcanza los 450 lux como se muestra en la figura 4.2, mejorando el confort y la visibilidad del capacitado.

ZONA 2:

Para esta medición la zona 1 ya se encuentra encendida. La medición del sensor 2 cuando el luxómetro da 339 lux, es de 170 lux, siguiendo con los parámetros recomendados en el subcapítulo 4.1.1, el valor de luminosidad mínimo para un aula de capacitación es de 320 lux a la altura de la mesa de estudio, por lo que se calibró el encendido del sensor 2 en el valor de 160 lux para la zona 2; la zona 2 se enciende cuando el punto más oscuro a la altura de una mesa de estudio está en 262 lux para esta zona.

Una vez encendida la zona 2 el punto de menor luminosidad alcanza los 344 lux, mejorando el confort y la visibilidad del capacitado.

ZONA 3:

Para esta medición la zona 1 y zona 2 ya se encuentran encendidas. La medición del sensor 3 cuando el luxómetro dio 345 lux, fue de 147 lux, siguiendo con los parámetros recomendados en el subcapítulo 4.1.1, el valor de luminosidad mínimo para un aula de capacitación es de 320 lux a la altura de la mesa de estudio, por lo que se calibró el encendido del sensor 3 en el valor de 100 lux para la zona 3; la zona 3 se enciende cuando el punto más oscuro a la altura de una mesa de estudio está en 267 lux. Una vez encendida la zona 3 el punto de menor luminosidad alcanza los 410 lux, mejorando el confort y la visibilidad del capacitado.

4.1.2. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en las bombas de agua principales

Se procede a setear la presión de trabajo de las bombas principales en el valor de 86 psi, para que así que las bombas operen en el punto de mayor eficiencia y con por ende reducir el consumo de energía eléctrica de las mismas. Tal como se plantea en el Capítulo 3.

4.1.3. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en la bomba de agua secundaria

Se procede a setear el rango de trabajo de la bomba entre las presiones 30 psi y 39 psi, buscando así que la bomba opere en el punto de mayor eficiencia y con lo cual se espera reducir el consumo de energía eléctrica de la misma.

4.1.4. Aplicación de las propuestas de mejora para eficiencia energética en los ascensores

En el tema de ascensores vimos en el Capítulo 3 que el consumo de potencia de un ascensor al subir y al bajar es equivalente, por lo que no se obtiene una medida de eficiencia energética como tal, pero aplicando la disminución en el uso de los ascensores por parte de los usuarios del edificio, se puede lograr reducir el consumo de energía eléctrica. Esta medida no es una medida de eficiencia energética como tal, pero sí una medida de conservación de la energía que lleva como resultado a un ahorro en el consumo de energía eléctrica. A continuación, se muestra en la figura 4.5 los stickers que se utilizaron para concientizar a los usuarios en el uso moderado de los ascensores.



Figura 4.5. Sticker de concientización para uso de energía eléctrica en ascensores
Fuente: Autor

Se recomienda realizar esta medida de ahorro de energía eléctrica en caso de necesitar un ahorro más elevado, porque se presentará inconformidad a los usuarios y empleados del edificio.

4.2. Mediciones del consumo de energía eléctrica posterior a los correctivos de eficiencia energética

Se toman a continuación las mediciones del consumo de energía eléctrica de cada uno de los sistemas posterior a la aplicación de las propuestas de eficiencia energética descritas en el Capítulo 3.

4.2.1. Medición de la potencia y del consumo de energía eléctrica del aula posterior a la instalación del sistema automático de control

Se procedió a medir la potencia y el consumo de energía eléctrica en el horario entre 15h30 – 18h30, que es el horario de los cursos que el SECAP edificio de administración central brinda a la ciudadanía de Quito en sus instalaciones.

Los resultados al medir la potencia en el rango comprendido entre las 15h30 – 18h30 fueron los mostrados en la figura 4.6.

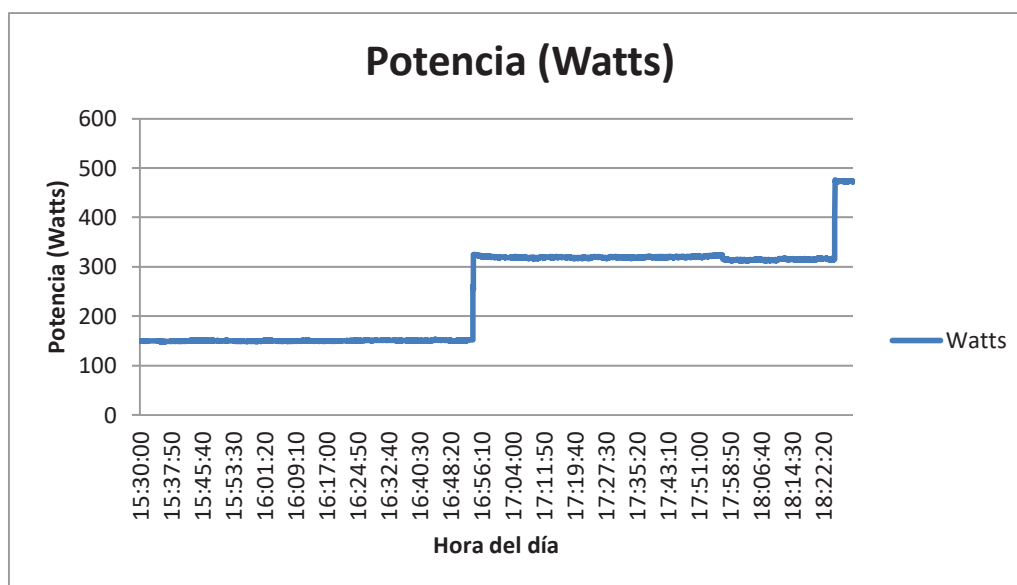


Figura 4.6. Registro de potencia del aula estudio posterior a eficiencia energética
Fuente: Autor

El sistema inició a las 15:30:00 a lo que de inmediato se encendió la zona 1, ya que a esa hora la luminosidad de esta zona es inferior a los 320 lux recomendados para la perfecta visibilidad en un aula de estudio.

Exactamente a las 16:54:04 como lo registra el analizador de energía, se enciende la zona 2, mejorando la visibilidad de la misma ya que sus niveles de luminosidad habían caído por debajo de los 320 lux recomendados para la perfecta visibilidad en un aula de estudio.

A las 18:25:24 el analizador de energía registra el encendido de la zona 3, mejorando la visibilidad de la misma ya que sus niveles de luminosidad habían caído por debajo de los 320 lux recomendados para la perfecta visibilidad en un aula de estudio.

Posteriormente se procedió a medir el consumo de energía eléctrica del aula, el resultado de la medición luego de aplicar los correctivos de eficiencia energética fue el mostrado en la figura 4.7.

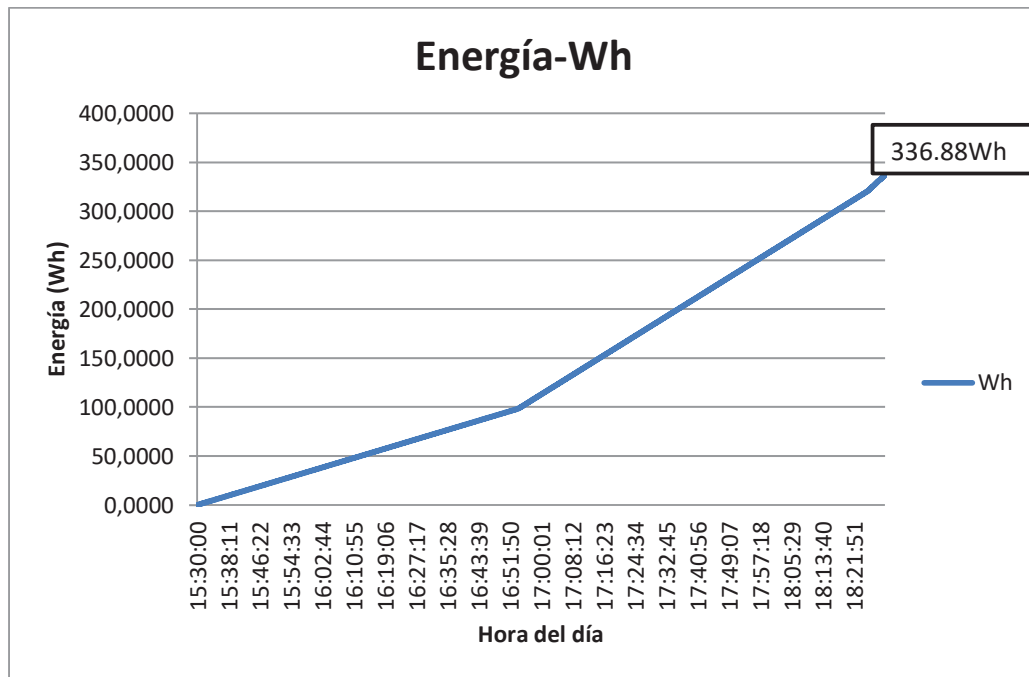


Figura 4.7. Registro de consumo de energía del aula estudio posterior a eficiencia energética
Fuente: Autor

Notando inmediatamente una reducción en el consumo de energía eléctrica en relación a la energía registrada antes de instalar el sistema de control de iluminación

4.2.2. Consumo eléctrico posterior a los correctivos de eficiencia energética en las bombas de agua principales

Los siguientes resultados se obtuvieron luego de setear la presión de trabajo de las bombas de 7.5 hp en el valor de 86 psi.

DATOS:

- Voltaje de operación: 210 V
- Altura Calculada a través de la ecuación 4.1.

$$\text{Altura Calc. (ft)} = \frac{P(\text{psi})}{\rho\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) \times g \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \times 2,2620.59 \frac{\text{psi} \times \text{ft}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = [\text{ft}] \quad (4.1)$$

- Caudal Calculado.

Para la parte 1; a través de la ecuación 4.2 (altura comprendida entre (223 – 222.33) ft)

$$Q = 8.6911H^2 - 3.9000 \times 10^3 H + 4.3750 \times 10^5 \quad (4.2)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Para la parte 2; a través de la ecuación 4.3 (altura comprendida entre (222.2 – 218) ft).

$$Q = -3.9020 \times 10^{-1} H^2 + 1.6625 \times 10^2 H - 1.7649 \times 10^4 \quad (4.3)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

Para la parte 3; a través de la ecuación 4.4 (altura comprendida entre (212 – 130) ft).

$$Q = 3.3017 \times 10^4 H^4 - 2.9384 \times 10^{-4} H^3 + 8.7656 \times 10^{-2} H^2 - 1.1745 \times 10^1 H + 7.4348 \times 10^2 \quad (4.4)$$

Donde, H: Altura [pies]; Q: Caudal [GPM]

- Potencia Hidráulica, calculada a través de la ecuación 4.5.

$$\text{Pot Hidráulica} = P(\text{psi}) \times \text{Alt. calc. (ft)} \times 0.43 \frac{\text{Watts}}{\text{psi} \times \text{ft}} = [\text{Watts}] \quad (4.5)$$

- La potencia eléctrica medida después de los correctivos de eficiencia energética arrojó un valor constante de 3,668.35 Watts cuando la bomba alcanza los 86 psi de presión inmediatamente iniciado el arranque de la misma. Esto se ilustra en la ecuación 4.6.

$$Pot. Eléctrica = 3,668.35 \text{ Watts} \quad (4.6)$$

- Factor K ($\frac{ft \times min^2}{GPM^2}$), calculado a través de la ecuación 4.7.

$$K = \frac{Altura \text{ Calc.}}{(Caudal \text{ Calc.})^2} = \frac{ft \times min^2}{GPM^2} \quad (4.7)$$

- Altura de impulso inicial, calculado a través de las ecuaciones 4.8, 4.9 y 4.10.

$$\begin{aligned} \text{Altura promedio de los pisos del edificio desde el Subsuelo - 2 hasta el piso 10} \\ = 3 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\text{Altura total Edificio Adm. Central} = 3 \text{ m} * 12 \text{ pisos} = 36 \text{ m} \quad (4.9)$$

$$\text{Altura impulso inicial} = 36 \text{ m} = 118.11024 \text{ ft} \quad (4.10)$$

- Pérdidas Punto Mínimo, calculado a través de la ecuación 4.11.

$$Pérd. Punto Min = \frac{\text{Factor K mínimo}}{(\text{Caudal teórico})^2} + 118.11024 \text{ ft} \quad (4.11)$$

- Pérdidas Punto Máximo, calculado a través de la ecuación 4.12.

$$Pérd. Punto Max = \frac{\text{Factor K máximo}}{(\text{Caudal teórico})^2} \quad (4.12)$$

Obteniendo los resultados que se pueden observar en la tabla 4.1.

El cálculo de eficiencia se muestra en ecuación 4.13, con 86 psi (presión de operación).

$$\eta(\%) = \frac{Pot. Hidráulica}{Pot. Eléctrica} \times 100 = \frac{2,969.79 \text{ Watts}}{3,668.35 \text{ Watts}} = 80.96\% \quad (4.13)$$

Se obtiene una eficiencia de 80.96% en el punto de operación constante de la bomba (86 psi), presión que se mantiene constante hasta que el sistema recibe la señal de un electronivel ubicado en la cisterna del décimo piso, este electronivel una vez la cisterna

alcanza los 22 metros cúbicos desactiva el contactor de la bomba de 7.5 hp haciendo que la misma se apague, y se encienda la otra bomba de 7.5 hp. Las dos bombas se encienden de forma alternada.

La gráfica de funcionamiento para las bombas de 7.5 hp después de los correctivos de eficiencia energética se muestra en la figura 4.8.

Tabla 4.1. Análisis de la bomba principal posterior al aplicar eficiencia energética

N°	Altura Teórica (ft)	Caud. Teórico (GPM)	Pres. (psi)	Altura Calculada (ft)	Caud. Calculado (GPM)	Pot. Hidráulica (Watts)	Factor K (ft ³ min ² /GPM ²)	Pérd. Punto Min	Pérd. Punto Max
1	223.00	0.00	20.00	46.16	360.68	3,101.83	0.000355	118.11	0.00
2	222.45	15.00	24.00	55.40	315.00	3,250.77	0.000558	118.19	6.93
3	222.33	20.00	28.00	64.63	276.98	3,334.80	0.000842	118.25	12.31
4	222.20	25.00	32.00	73.86	245.60	3,379.51	0.001224	118.33	19.24
5	222.00	30.00	36.00	83.10	219.92	3,404.39	0.001718	118.43	27.70
6	221.00	35.00	40.00	92.33	199.03	3,423.36	0.002331	118.54	37.70
7	220.00	40.00	44.00	101.56	182.10	3,445.24	0.003063	118.68	49.25
8	218.00	50.00	48.00	110.79	168.33	3,474.28	0.003910	119.00	76.95
9	212.00	60.00	52.00	120.03	157.00	3,510.61	0.004869	119.39	110.81
10	206.50	70.00	56.00	129.26	147.46	3,550.75	0.005945	119.85	150.82
11	197.50	80.00	60.00	138.49	139.07	3,588.12	0.007160	120.38	196.99
12	191.50	90.00	64.00	147.73	131.31	3,613.53	0.008568	120.98	249.31
13	182.50	100.00	68.00	156.96	123.66	3,615.67	0.010265	121.66	307.79
14	172.86	110.00	72.00	166.19	115.68	3,581.60	0.012418	122.40	372.43
15	160.00	120.00	82.00	189.27	92.01	3,244.29	0.022357	123.22	443.22
16	150.00	130.00	84.00	193.89	86.35	3,118.83	0.026006	124.11	520.17
17	137.50	140.00	85.00	196.20	83.38	3,047.37	0.028224	125.07	603.27
18	130.00	146.67	86.00	198.51	80.31	2,969.79	0.030779	125.74	662.09

(Fuente: Autor)

4.2.3. Medición del consumo eléctrico posterior a los correctivos de eficiencia energética en la bomba de agua secundaria

El registro de medición de la bomba de 2 hp después de los correctivos de eficiencia energética para un arranque de la bomba secundaria, arrojó los resultados mostrados en la tabla 4.2.

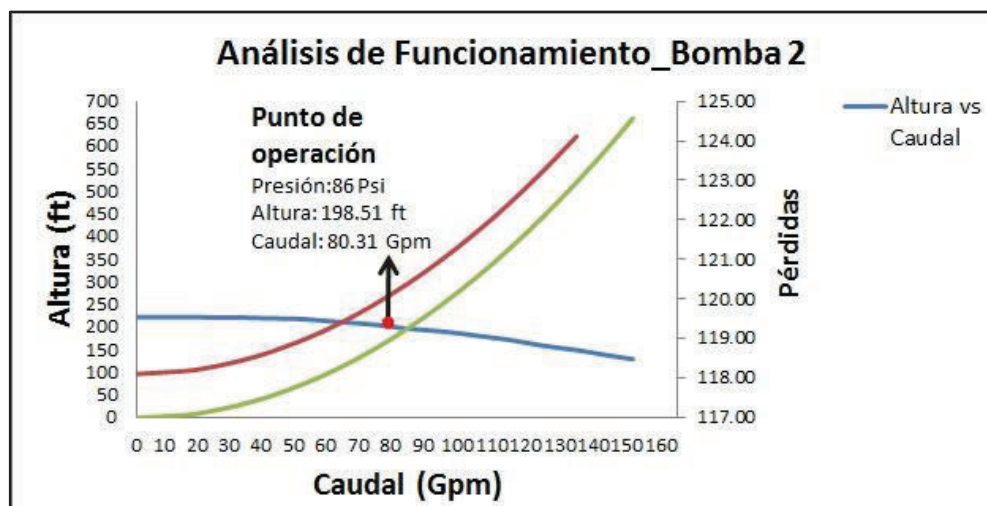


Figura 4.8. Análisis del funcionamiento de la bomba 2
 Fuente: Autor

Tabla 4.2. Análisis de la bomba secundaria posterior al aplicar eficiencia energética

Presión (psi)	Altura Calc. (ft)	Caudal Calc. (GPM)	Potencia Hidráulica (Watts)	Corriente (A)	FP	Potencia Eléctrica (Watts)	Eficiencia (%)	Factor K (ft ³ min ² / GPM ²)
30.0	69.25	80.66	1,040.57	22.20	0.773	3,603.73	28.87%	0.01064
30.5	70.40	80.02	1,049.42	10.10	0.772	1,637.41	64.09%	0.01100
31.0	71.55	79.34	1,057.61	10.00	0.771	1,619.10	65.32%	0.01137
31.5	72.71	78.63	1,065.11	9.50	0.770	1,536.15	69.34%	0.01176
32.0	73.86	77.90	1,071.90	9.40	0.769	1,518.01	70.61%	0.01217
32.5	75.02	77.13	1,077.93	9.40	0.768	1,516.03	71.10%	0.01261
33.0	76.17	76.33	1,083.19	9.30	0.765	1,494.05	72.50%	0.01307
33.5	77.33	75.50	1,087.63	9.30	0.764	1,492.09	72.89%	0.01356
34.0	78.48	74.64	1,091.23	9.20	0.762	1,472.18	74.12%	0.01409
34.5	79.63	73.74	1,093.95	9.20	0.761	1,470.25	74.41%	0.01464
35.0	80.79	72.81	1,095.74	9.20	0.761	1,470.25	74.53%	0.01524
35.5	81.94	71.84	1,096.59	9.20	0.760	1,468.32	74.68%	0.01588
36.0	83.10	70.83	1,096.45	9.20	0.760	1,468.32	74.67%	0.01656
36.5	84.25	69.79	1,095.28	9.20	0.759	1,466.39	74.69%	0.01730
37.0	85.40	68.70	1,093.05	9.10	0.757	1,446.63	75.56%	0.01809
37.5	86.56	67.58	1,089.71	9.10	0.757	1,446.63	75.33%	0.01895
38.0	87.71	66.42	1,085.24	9.10	0.756	1,444.72	75.12%	0.01988
38.5	88.87	65.21	1,079.58	9.10	0.756	1,444.72	74.73%	0.02090
39.0	90.02	63.96	1,072.69	3.20	0.265	178.08	602.36%	0.02200

(Fuente: Autor)

Se obtuvo una eficiencia de 74.73% en el punto final antes de llegar a los 39 psi, presión en la cual inmediatamente se apaga el motor de la bomba de 2 hp. Para la gráfica del funcionamiento de la bomba de 2 hp se organiza los datos con la forma de la tabla 4.3, posterior a lo cual se muestra la gráfica del funcionamiento de la bomba en la figura 4.9.

Tabla 4.3. Funcionamiento de la bomba secundaria posterior al aplicar eficiencia energética

Nro	Altura (ft)	Caudal GPM	Presión (psi)	Altura calc. (ft)	Caudal calc. (GPM)	Potencia Hidráulica (Watts)	Potencia Eléctrica (Watts)	Factor K (ft ³ min ⁻² /GPM ²)	Pérdidas Punto Min.	Pérdidas Punto Máx.
1	116.00	0.00								
2	115.75	5.00	30.00	69.25	80.66	1040.57	3603.73	0.0106	0.2661	0.5500
3	115.48	10.00	30.50	70.40	80.02	1049.42	1637.41	0.0110	1.0642	2.2002
4	115.23	15.00	31.00	71.55	79.34	1057.61	1619.10	0.0114	2.3945	4.9504
5	114.98	20.00	31.50	72.71	78.63	1065.11	1536.15	0.0118	4.2569	8.8007
6	114.48	25.00	32.00	73.86	77.90	1071.90	1518.01	0.0122	6.6514	13.7512
7	113.25	30.00	32.50	75.02	77.13	1077.93	1516.03	0.0126	9.5780	19.8017
8	110.60	35.00	33.00	76.17	76.33	1083.19	1494.05	0.0131	13.0368	26.9523
9	108.00	40.00	33.50	77.33	75.50	1087.63	1492.09	0.0136	17.0276	35.2030
10	105.00	45.00	34.00	78.48	74.64	1091.23	1472.18	0.0141	21.5506	44.5538
11	101.50	50.00	34.50	79.63	73.74	1093.95	1470.25	0.0146	26.6056	55.0046
12	97.50	55.00	35.00	80.79	72.81	1095.74	1470.25	0.0152	32.1928	66.5556
13	93.00	60.00	35.50	81.94	71.84	1096.59	1468.32	0.0159	38.3121	79.2067
14	88.50	65.00	36.00	83.10	70.83	1096.45	1468.32	0.0166	44.9635	92.9579
15	83.00	70.00	36.50	84.25	69.79	1095.28	1466.39	0.0173	52.1471	107.8091
16	76.50	75.00	37.00	85.40	68.70	1093.05	1446.63	0.0181	59.8627	123.7605
17	69.00	80.00	37.50	86.56	67.58	1089.71	1446.63	0.0190	68.1105	140.8119
18	59.50	85.00	38.00	87.71	66.42	1085.24	1444.72	0.0199	76.8903	158.9634
19	47.00	90.00	38.50	88.87	65.21	1079.58	1444.72	0.0209	86.2023	178.2151
20	15.00	94.00	39.00	90.02	63.96	1072.69	178.08	0.0220	94.0350	194.4084

(Fuente: Autor)

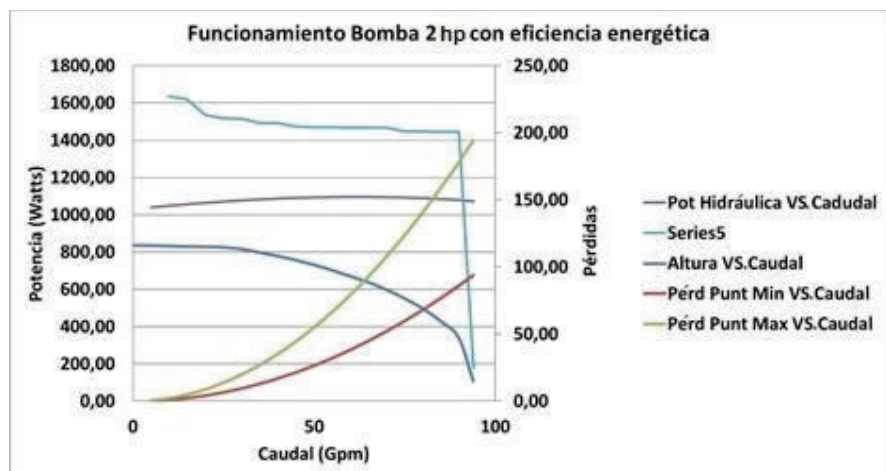


Figura 4.9. Análisis del funcionamiento de la bomba secundaria
Fuente: Autor

4.2.4. Determinación del consumo eléctrico posterior a los correctivos de eficiencia energética en los ascensores

Las autoridades del SECAP optaron por:

- Concientizar a los usuarios a través de un sticker informativo ilustrado en la figura 4.5, que el uso del ascensor sea solo para subir, haciendo uso del mismo para bajar cuando sea estrictamente necesario.

Como resultado se redujo el número de subidas y bajadas de los ascensores tal como se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Registro del número subidas y bajadas en ascensores

Ascensor izquierdo (2)		Ascensor derecho (1)	
Sube	Baja	Sube	Baja
171	162	143	136

(Fuente: Autor)

Conociendo la energía que consume cada ascensor cuando está en movimiento nos es posible determinar el ahorro energético producido al reducir el número de veces en la que los ascensores realizan un movimiento de subir o bajar.

Los datos del consumo eléctrico de los ascensores en movimiento antes de los ajustes de eficiencia energética se presentan en las tablas 3.10 y 3.14.

4.3. Comparación de los resultados antes y después de aplicar las propuestas de eficiencia energética

A continuación, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos habiendo aplicado los correctivos de eficiencia energética con los resultados previos a los mismos.

4.3.1. Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica del aula de estudio

Analizando la potencia anterior y posterior a los correctivos de eficiencia energética, se obtuvo el resultado indicado en la figura 4.10.

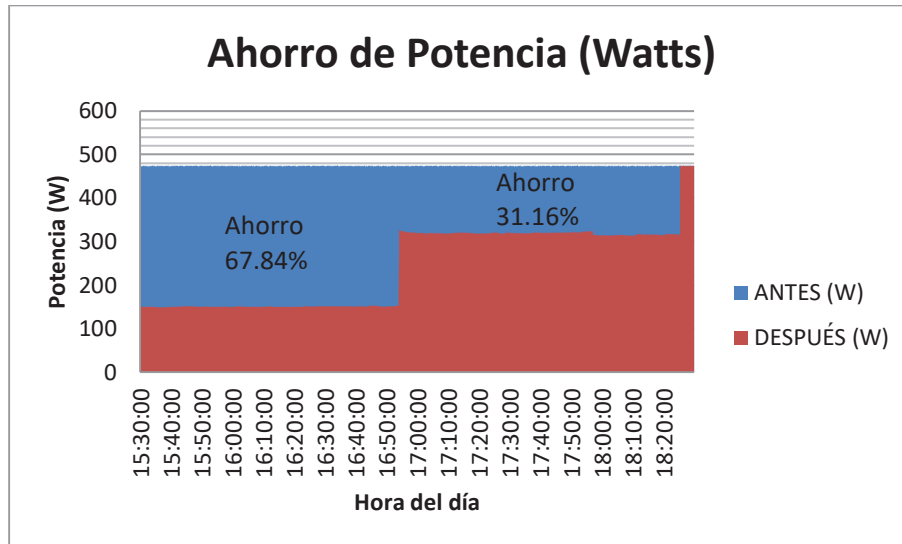


Figura 4.10. Análisis de ahorro en potencia
Fuente: Autor

En donde como consecuencia se produjo un ahorro de 67.84% al mantener encendido únicamente la zona 1, y de 31.16% cuando se encienden las zonas 1 y 2.

Analizando el consumo de energía antes y después de los correctivos de eficiencia energética se obtuvo el resultado indicado en la figura 4.11.

Como consecuencia se produjo un ahorro del 76.89% del consumo de energía eléctrica del aula de estudio. El resumen de los resultados se muestra en la tabla 4.5.

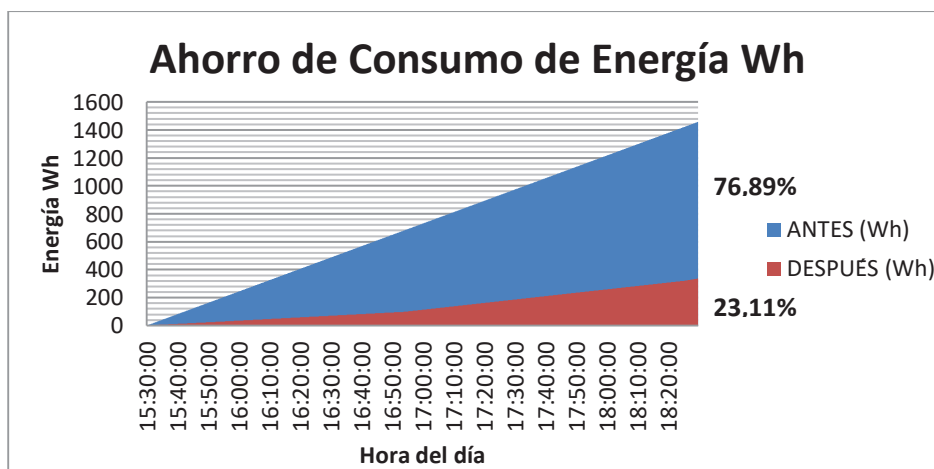


Figura 4.11. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en el aula de estudio
Fuente: Autor

Tabla 4.5. Análisis porcentaje de ahorro en Wh para el aula de estudio

Horario: 15h30 - 18h30		
CONSUMO DE ENERGÍA (Wh)		
ANTES	DESPUÉS	AHORRO
1,457.99	336.88	76.89%

(Fuente: Autor)

4.3.2. Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica en las bombas principales

En el cuadro de la tabla 4.6 se comparan los resultados obtenidos antes y después de aplicar los correctivos de eficiencia energética a las bombas de agua principales.

En la tabla 4.7 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en mejora de potencia antes y después de aplicar los correctivos de eficiencia energética a las bombas de agua principales.

Posteriormente, se analiza el consumo de energía en tiempo de un arranque de la bomba; tiempo de comparación 330 segundos.

Tabla 4.6. Análisis de los resultados antes y después de aplicar eficiencia energética a las bombas de agua principales

ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Presión (PSI)	Presión (PSI)	Altura Calc. (ft)	Altura Calc. (ft)	Caudal Calc. (GPM)	Caudal Calc. (GPM)	Pot. Hidrául. (Watts)	Pot. Hidrául. (Watts)
8.00		18.47		554.68		1908.09	
12.00		27.70		479.36		2473.50	
16.00		36.93		415.09		2855.81	
20.00	20.00	46.16	46.16	360.68	360.68	3101.83	3101.83
24.00	24.00	55.40	55.40	315.00	315.00	3250.77	3250.77
28.00	28.00	64.63	64.63	276.98	276.98	3334.80	3334.80
32.00	32.00	73.86	73.86	245.60	245.60	3379.51	3379.51
36.00	36.00	83.10	83.10	219.92	219.92	3404.39	3404.39
40.00	40.00	92.33	92.33	199.03	199.03	3423.36	3423.36
44.00	44.00	101.56	101.56	182.10	182.10	3445.24	3445.24
48.00	48.00	110.79	110.79	168.33	168.33	3474.28	3474.28
52.00	52.00	120.03	120.03	157.00	157.00	3510.61	3510.61
56.00	56.00	129.26	129.26	147.46	147.46	3550.75	3550.75
60.00	60.00	138.49	138.49	139.07	139.07	3588.12	3588.12
64.00	64.00	147.73	147.73	131.31	131.31	3613.53	3613.53
68.00	68.00	156.96	156.96	123.66	123.66	3615.67	3615.67
72.00	72.00	166.19	166.19	115.68	115.68	3581.60	3581.60
82.00	82.00	189.27	189.27	92.01	92.01	3244.29	3244.29
	84.00		193.89		86.35		3118.83
	85.00		196.20		83.38		3047.37
	86.00		198.51		80.31		2969.79

(Fuente: Autor)

Tabla 4.7. Análisis de la potencia eléctrica de las bombas de agua principales antes y después de aplicar eficiencia energética

POTENCIA (Watts)		
ANTES	DESPUÉS	MEJORA
4,031.3025	3,668.35	9.00%

(Fuente: Autor)

Utilizando los datos obtenidos en el registro de medición del analizador AEMC-3947 del consumo de energía para la bomba de 7.5 hp en el horario comprendido entre las 07:00:00 y las 16:45:00, se analiza el consumo de energía eléctrica antes y después de los correctivos de eficiencia energética en la tabla 4.8. Posteriormente se analiza la mejora en eficiencia de las bombas de agua principales antes y después de los correctivos de eficiencia energética en la tabla 4.9.

Tabla 4.8. Análisis del consumo de energía de las bombas de agua principales antes y después de aplicar eficiencia energética

CONSUMO (Wh)		
ANTES	DESPUÉS	AHORRO
112.72	103.33	8.33%

(Fuente: Autor)

Tabla 4.9. Análisis de eficiencia de las bombas de agua principales antes y después de aplicar eficiencia energética

EFICIENCIA		
ANTES	DESPUÉS	MEJORA
80.48%	80.96%	0.6%

(Fuente: Autor)

Se ha mejorado en un 0.6% la eficiencia en la operación de las bombas principales. El resultado del ahorro de energía en kWh al mes se ilustra mejor en la figura 4.12.

Obteniendo un ahorro del 8.33% mensual en el consumo de energía eléctrica de las bombas de agua principales.

4.3.3 Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica en la bomba secundaria de 2 hp

Se procede a comparar los resultados antes y después de los correctivos de eficiencia energética, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.10.

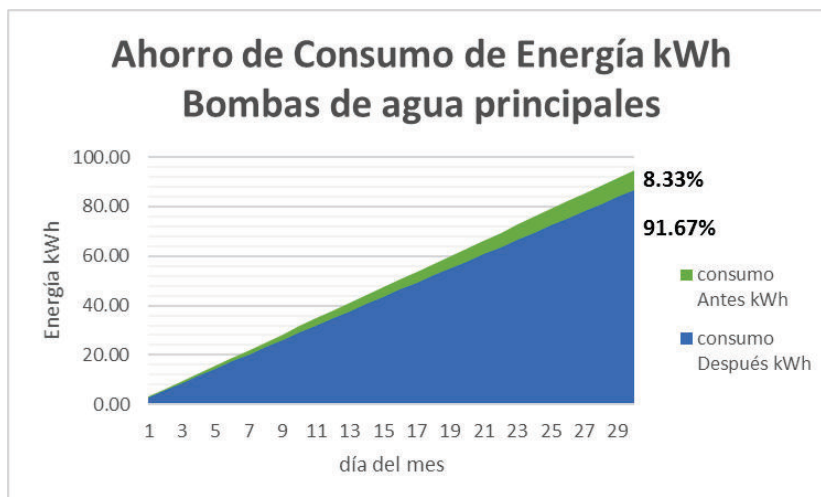


Figura 4.12. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en las bombas de agua principales
Fuente: Autor

Tabla 4.10. Análisis antes y después en el consumo de energía bomba de agua secundaria

ANTES	DESPUÉS
Wh	Wh
37.94	33.61
PORCENTAJE DE AHORRO	
11.41%	

(Fuente: Autor)

El resultado del ahorro de energía en kWh al mes para la bomba de agua secundaria se ilustra mejor en la figura 4.13. La figura 4.14 muestra que se ha logrado aumentar la eficiencia hasta 75%.

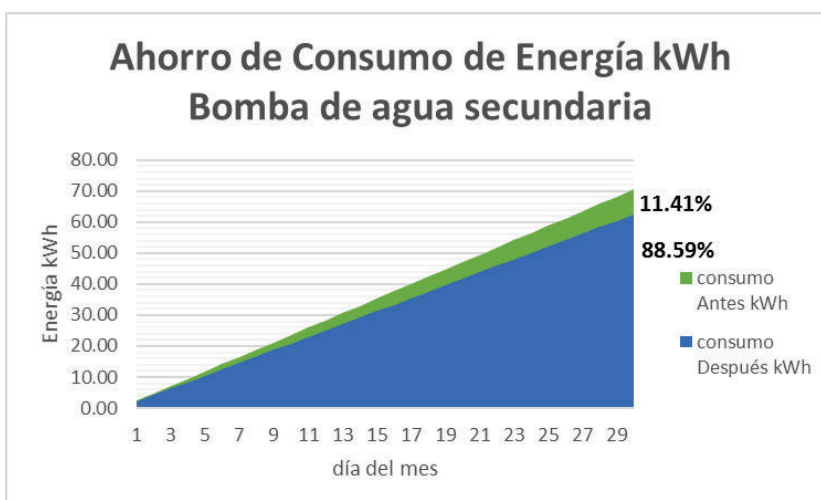


Figura 4.13. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en la bomba de agua secundaria
Fuente: Autor

4.3.4. Análisis del antes y después del consumo de energía eléctrica en ascensores

Se procede a comparar los resultados antes y después de los correctivos de eficiencia energética en los ascensores, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Análisis antes y después en el consumo de energía de los ascensores 1 y 2

	ANTES			DESPUÉS			
	movimientos/día	kWh/movimiento	kWh/día	movimientos/día	kWh/movimiento	kWh/día	
ASCENSOR 1	698.00	0.02185	15.25	279.00	0.02185	6.097	
ASCENSOR 2	832.00	0.0144	11.98	333.00	0.0144	4.795	
CONSUMO DE ENERGÍA			27.232	CONSUMO DE ENERGÍA			10.892

(Fuente: Autor)

Dando como resultado un ahorro de energía del 60.01%, y de $(27.232 - 10.892)$ kWh/día = **16.34 kWh/día** en el consumo eléctrico de los ascensores, equivalente a **490 kWh/mes = \$40.68**. Este resultado se ilustra mejor en la figura 4.15.

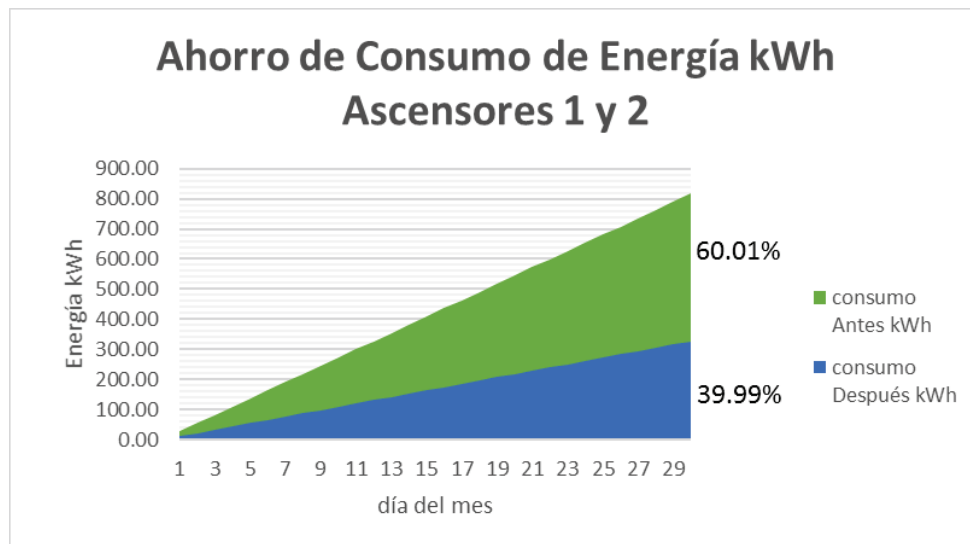


Figura 4.15. Consumo de energía antes y después de aplicar eficiencia energética en los ascensores

Fuente: Autor

4.4. Ahorro económico en el edificio del SECAP por aplicar las propuestas de eficiencia energética

Se procede a calcular el ahorro económico que tendrá el SECAP por aplicar las propuestas de eficiencia energética en sus sistemas energéticos.

4.4.1. Ahorro económico del consumo eléctrico en aulas de capacitación del SECAP edificio de administración central

En la tabla 4.12 se detallan los ambientes de capacitación con potencial de ahorro energético que tiene el SECAP edificio de administración central.

Tabla 4.12. Número de ambientes de capacitación

EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN CENTRAL			
PISO	TALLER	AULAS	LABORATORIOS
Sub-1-A	3	1	1
Sub-1-B	4	1	0
P2	1	0	0
P3	6	1	2
P4	1	3	0
P5	0	3	0
TOTAL	15	9	3
Total de Ambientes de capacitación con potencial de Ahorro Energético			27

(Fuente: Autor)

En las ecuaciones 4.14 y 4.15 procedemos a analizar la facturación económica del consumo de energía eléctrica antes de eficiencia energética para las aulas del edificio de administración central, y después de eficiencia energética en las ecuaciones 4.16 y 4.17.

El ahorro económico analizado se muestra resumido en el cuadro de la tabla 4.13.

Datos:

Antes de los correctivos de eficiencia energética:

- Días al mes en que se brindan cursos de capacitación = 20 (los sábados y domingos los usuarios no tiene acceso al edificio)

- Ambientes de capacitación = 27
- Wh de un ambiente de capacitación en un curso de 3 horas (Antes) = 1,457.99 Wh
- Número de cursos en un día por aula = 2

$$\text{Consumo } \frac{kWh}{mes} (\text{Antes}) = \frac{20 \times 1,457.99 Wh \times 27 \times 2}{1,000} = 1,574.63 \frac{kWh}{mes} \quad (4.14)$$

$$\text{Facturación } \frac{\$}{mes} (\text{Antes}) = 0.083 \frac{\$}{kWh} \times 1,574.63 \frac{kWh}{mes} = 130.69 \frac{\$}{mes} \quad (4.15)$$

Datos:

Después de los correctivos de eficiencia energética:

- Días al mes en que se brindan cursos de capacitación = 20 (los sábados y domingos los usuarios no tiene acceso al edificio)
- Ambientes de capacitación = 27
- Wh de un ambiente de capacitación Después = 336.88 Wh
- Número de cursos en un día por aula = 1 (Porque el consumo se da solo en último curso de las 15h30, momento en que la luminosidad disminuye)

$$\text{Consumo } \frac{kWh}{mes} (\text{Después}) = \frac{20 \times 336.88 Wh \times 27 \times 1}{1000} = 181.92 \frac{kWh}{mes} \quad (4.16)$$

$$\text{Facturación } \frac{\$}{mes} (\text{Después}) = 0.083 \frac{\$}{kWh} \times 181.92 \frac{kWh}{mes} = 15.10 \frac{\$}{mes} \quad (4.17)$$

Tabla 4.13. Análisis facturación en las aulas de capacitación del edificio administración central después de aplicar eficiencia energética

	ANTES	DESPUÉS
Costo (kWh)	\$ 0.083	\$ 0.083
Consumo kWh/mes	1,574.63	181.92
FACTURACION \$/mes	\$130.69	\$ 15.10

(Fuente: Autor)

Dando un ahorro económico para el edificio de administración central de (\$130.69- \$15.10) = 115.59 \$/mes equivalente al 88.45% de ahorro en relación a los \$130.69 de

facturación anterior. Únicamente aplicando los correctivos de eficiencia energética en iluminación a todos los ambientes de capacitación del edificio de administración central.

4.4.2. Ahorro económico del consumo eléctrico de las bombas de agua principales del SECAP edificio de administración central

En las ecuaciones 4.18 y 4.19 se procede a calcular el ahorro económico del consumo eléctrico de las bombas principales del SECAP, mostrando los resultados en el resumen de la tabla 4.14.

Datos:

- Arranques en un día = 14
- Costo kWh = \$0.083
- N° de bombas = 2
- N° de días al mes = 30
- Consumo Wh antes = 112.72 Wh
- Consumo Wh después = 103.33 Wh

Operación:

$$\text{Consumo de energía antes} = 112.72Wh \times 30 \times 2 \times \$0.083 \times \frac{14}{1,000} = 7.86 \frac{\$}{\text{mes}} \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energía después} &= 103.33Wh \times 30 \times 2 \times \$0.083 \times 14 / 1,000 \\ &= 7.20 \frac{\$}{\text{mes}} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Tabla 4.14. Ahorro económico mensual por consumo energético, en bombas de agua principales

Facturación ANTES	Facturación DESPUÉS	AHORRO ECONÓMICO
\$ 7.86	\$ 7.20	\$ 0.66

(Fuente: Autor)

Obteniéndose un ahorro de \$0.66 al mes por concepto de mejora en eficiencia de las bombas de agua principales.

4.4.3. Ahorro económico del consumo eléctrico de la bomba de agua secundaria del SECAP edificio de administración central

Se procede a calcular el ahorro económico del consumo eléctrico de la bomba secundaria del SECAP siguiendo el procedimiento indicado en las ecuaciones 4.20 y 4.21, e ilustrando los resultados en el resumen de la tabla 4.15.

Datos:

Número de encendidos en un día: 62

Número de días al mes: 30 días

Consumo Wh antes de eficiencia energética: 37.94 Wh

Consumo Wh después de eficiencia energética: 33.61 Wh

Operación:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energía antes} &= 37.94 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times 62 \times 0.083 \frac{\$}{\text{kWh}} / 1,000 \\ &= 5.86 \frac{\$}{\text{mes}} \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energía después} &= 33.61 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times 62 \times 0.083 \frac{\$}{\text{kWh}} / 1,000 \\ &= 5.19 \frac{\$}{\text{mes}} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Tabla 4.15. Ahorro económico mensual por consumo energético

Facturación ANTES	Facturación DESPUÉS	AHORRO ECONÓMICO
\$ 5.86	\$ 5.19	\$ 0.67

(Fuente: Autor)

Obteniéndose un ahorro de \$0.67 al mes por concepto de mejora en eficiencia de la bomba de agua secundaria.

4.4.4. Ahorro económico del consumo eléctrico de los ascensores del SECAP edificio de administración central

Para el presente análisis tomamos el dato del costo de la energía por kWh de 0.083 ctvs., y los datos de kWh/día antes y después de los correctivos de eficiencia energética tanto para el ascensor 1 como para el ascensor 2 tomados de la tabla 4.11.

Los resultados del ahorro económico por la aplicación de eficiencia en los ascensores 1 y 2 se muestra en el resumen de la tabla 4.16.

El cálculo para el consumo de energía del ascensor 1 se muestra en las ecuaciones 4.22 y 4.23.

$$\text{Consumo (mes)ascensor (1) antes} = 15.25 \times 30 \times 0.083 = \$37.97 \quad (4.22)$$

$$\text{Consumo (mes)ascensor (1) después} = 6.097 \times 30 \times 0.083 = \$15.18 \quad (4.23)$$

El cálculo para el consumo de energía del ascensor 2 se muestra en las ecuaciones 4.24 y 4.25.

$$\text{Consumo (mes)ascensor (2) antes} = 11.98 \times 30 \times 0.083 = \$29.83 \quad (4.24)$$

$$\text{Consumo (mes)ascensor (2) después} = 4.795 \times 30 \times 0.083 = \$11.94 \quad (4.25)$$

Tabla 4.16. Análisis del consumo mensual de energía eléctrica en ascensores 1 y 2

	Antes	Después	AHORRO ECONÓMICO
ASCENSOR 1	\$ 37.97	\$ 15.18	\$ 22.79
ASCENSOR 2	\$ 29.83	\$ 11.94	\$ 17.89
	TOTAL		\$ 40.68

(Fuente: Autor)

Dando un ahorro total por concepto de eficiencia energética en el uso de ascensores de **\$40.68.**

4.5. Ahorro económico total en el consumo eléctrico del SECAP edificio de administración central

El ahorro calculado luego de aplicar todos los correctivos de eficiencia energética se presenta resumido en el cuadro de la tabla 4.17, tomando los datos de ahorro en kWh y en dólares de cada uno de los sistemas energéticos analizados en el subcapítulo 4.4.

Tabla 4.17. Resultado ahorro en kWh y económico total en el edificio del SECAP administración central

RESUMEN FINAL						
SISTEMA ENERGÉTICO	Antes kWh/mes	Despues kWh/mes	Ahorro kWh/mes	Antes USD/mes	Despues USD/mes	Ahorro USD/mes
Iluminación Aulas	1,574.63	181.92	1,392.71	\$ 130.69	\$ 15.10	\$ 115.59
Bombas de agua Principales	94.68	86.80	7.88	\$ 7.86	\$ 7.20	\$ 0.66
Bomba de agua secundaria	70.57	62.52	8.05	\$ 5.86	\$ 5.19	\$ 0.67
Ascensor 1	457.50	182.91	274.59	\$ 37.97	\$ 15.18	\$ 22.79
Ascensor 2	359.40	143.85	215.55	\$ 29.83	\$ 11.94	\$ 17.89
TOTAL			1,898.78		TOTAL	\$ 157.60

(Fuente: Autor)

Se espera que el ahorro económico una vez aplicado estos correctivos de eficiencia energética sea de \$157.60 mensual.

En la figura 4.16 se ilustra el porcentaje de ahorro representativo en kWh/mes de cada uno de los sistemas energéticos analizados en este estudio.

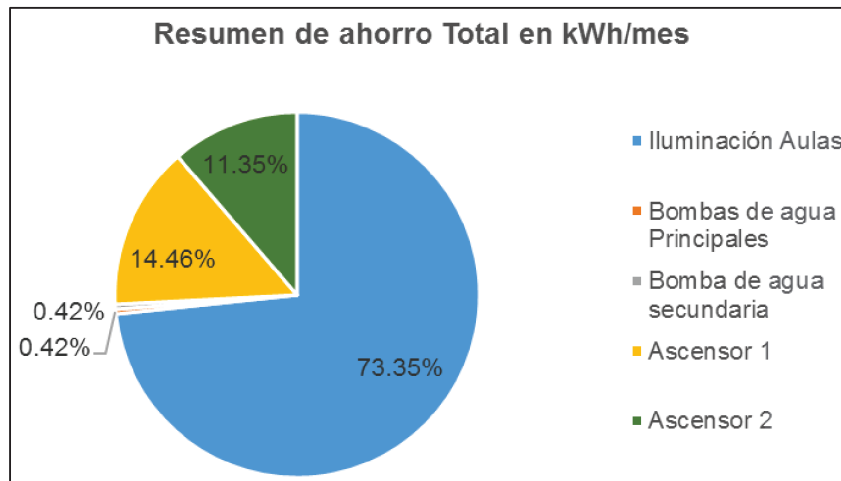


Figura 4.16. Porcentaje de ahorro total en kWh/mes
Fuente: Autor

4.6. Análisis de rentabilidad si se aplicaran las propuestas de eficiencia energética a los sistemas energéticos del SECAP

A continuación, se analiza si es rentable o no, aplicar las propuestas de eficiencia energética a los sistemas energéticos objeto de nuestra investigación.

Para este análisis se emplea como indicador económico el TIR que es la (tasa interna de retorno o también conocida como la tasa de flujo de efectivo descontado de retorno), y el VAN que es (el valor actualizado neto) y es igual a la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión.

4.6.1. Análisis de rentabilidad al instalar el sistema de control de iluminación en las aulas de capacitación del SECAP

En las tablas 4.18, 4.19, 4.20 y 4.21 se analizan los factores que intervienen en la instalación del sistema de control automático de iluminación para todos los ambientes de capacitación del edificio central del SECAP.

Tabla 4.18. Honorario por hora del profesional

Salario Ingeniero programador:	\$ 1,400.00
Honorarios por hora:	\$ 8.75

(Fuente: Autor)

Tabla 4.19. Tiempo de montaje y número de sensores

Tiempo de montaje en las 27 Aulas	54.00	Horas
Número de sensores para las 27 aulas	81.00	sensores

(Fuente: Autor)

Tabla 4.20. Costo de programación y montaje

Descripción	horas empleadas	Costo por hora (Ingeniero) (\$)	Total
Programación	2.00	8.75	\$ 17.50
Montaje	54.00	8.75	\$ 472.50

(Fuente: Autor)

Tabla 4.21. Costo total del sistema de control de iluminación

Descripción	Cantidad (u)	Costo (\$)	Total (\$)
Arduino Uno	27.00	25.00	\$ 675.00
Caja	27.00	2.00	\$ 54.00
Sensores	81.00	12.00	\$ 972.00
Programación	27.00	17.50	\$ 472.50
Montaje	1.00	472.50	\$ 472.50
TOTAL			\$ 2,646.00

(Fuente: Autor)

Dando un total de \$2,646.00 de inversión para instalar el sistema automático en las 27 aulas de capacitación que tiene el SECAP edificio de administración central. Dividiendo este resultado para el número de aulas del edificio central del SECAP se obtiene un valor de \$98.00 de costo de instalación del sistema automático de iluminación por aula.

A continuación, se analiza la rentabilidad de invertir en esta alternativa de eficiencia energética utilizando los conceptos del TIR y el VAN.

Datos:

I (inversión) = \$2,646.00

n (periodos) = 120 meses (En el sistema de control se espera una durabilidad de 10 años)

A (Ahorro mensual) = \$115.59

i (Tasa de rentabilidad) = 12% anual (dato del SENPLADES), para el presente caso el análisis de ahorro es mensual, por lo que se utiliza el valor de 1%.

Cálculo del valor presente, a través de las ecuaciones 4.26 y 4.27.

$$V_p = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (4.26)$$

$$V_p = \$115.59 \left[\frac{(1+0,01)^{120} - 1}{0,01(1+0,01)^{120}} \right] = \$8,056.68 \quad (4.27)$$

Cálculo del VAN, a través de las ecuaciones 4.28 y 4.29.

$$VAN = V_p - I = \$8,056.68 - \$2,646.00 \quad (4.28)$$

$$VAN = \$5,410.68 \quad (4.29)$$

Cálculo de la tasa interna de retorno:

Con la ayuda del excel se obtiene el valor “i” cuando el VAN=0, dando un resultado de (TIR = 4.34% mensual)

En un año la tasa interna de retorno será de $TIR = 4,34 \times 12 = 52.08\%$, y en vista de que la rentabilidad mínima recomendada por SENPLADES es de 12% en un año, se concluye que invertir en eficiencia energética para el control de iluminación en las aulas del SECAP es totalmente rentable.

4.6.2. Análisis de rentabilidad al aplicar correctivos de eficiencia energética en las bombas de agua principales del SECAP

En las tablas 4.22, 4.23 y 4.24 se analizan los factores que intervienen para la instalación de los correctivos de eficiencia energética a las bombas de agua principales del edificio central del SECAP.

Tabla 4.22. Honorario por hora del profesional

Salario Ingeniero:	1,400.00	\$
Honorarios por hora:	8.75	\$
Tiempo de ajuste de presión de las 2 bombas	2.00	horas
Alquiler Analizador de Redes Eléctricas por dos horas	20.00	\$

(Fuente: Autor)

Tabla 4.23. Costo por ajuste de presión

Descripción	horas empleadas	Costo por hora (\$) (Ingeniero)	Total (\$)
Ajuste de Presión	2.00	8.75	\$ 17.50

(Fuente: Autor)

Tabla 4.24. Costo por eficiencia en bombas principales

Descripción	Cantidad (u)	Costo (\$)	Total (\$)
Ajuste de Presión	1.00	17.50	\$ 17.50
Alquiler Analizador de Redes Eléctricas por dos horas	1.00	20.00	\$ 20.00
TOTAL			\$ 37.50

(Fuente: Autor)

Dando un total de \$37.50 de inversión para realizar los correctivos de eficiencia energética en las dos bombas de agua principales que tiene el SECAP edificio de administración central. Si se divide este resultado para el número de bombas de agua principales se obtiene un valor de \$18.75, para aplicar eficiencia energética en cada bomba de 7.5 hp.

A continuación, se analiza la rentabilidad de invertir en esta alternativa de eficiencia energética utilizando los conceptos del TIR y el VAN.

Datos:

I (inversión) = \$37.50

n (periodos) = 120 meses (En el sistema de control se espera una durabilidad de 10 años)

A (Ahorro mensual) = \$0.66

i (Tasa de rentabilidad) = 12% anual (dato del SENPLADES), para el presente caso el análisis de ahorro es mensual, por lo que se utiliza el valor de 1%.

Cálculo del valor presente, a través de la ecuación 4.30.

$$V_p = \$0.66 \left[\frac{(1 + 0,01)^{120} - 1}{0,01(1 + 0,01)^{120}} \right] = \$46.00 \quad (4.30)$$

Cálculo del VAN, a través de las ecuaciones 4.31 y 4.32.

$$VAN = V_p - I = \$37.50 - \$46.00 \quad (4.31)$$

$$VAN = \$8.50$$

(4.32)

Cálculo de la tasa interna de retorno:

Con la ayuda del excel se obtiene el valor “i” cuando el VAN=0 dando un resultado de 1.45% mensual.

En un año la tasa interna de retorno será de $TIR = 1.45 \times 12 = 17.35\%$, y en vista de que la rentabilidad mínima recomendada por SENPLADES es de 12% en un año, se concluye que invertir en eficiencia energética en las bombas de agua principales del SECAP es totalmente rentable.

4.6.3. Análisis de rentabilidad al aplicar correctivos de eficiencia energética en la bomba de agua secundaria del SECAP

En las tablas 4.25, 4.26 y 4.27 se analizan los factores que intervienen para la instalación de los correctivos de eficiencia energética a la bomba de agua secundaria del edificio central del SECAP.

Tabla 4.25. Honorario por hora del profesional alquiler de analizador y tiempo de ajuste

Salario Ingeniero:	1,400.00	\$
Honorarios por hora:	8.75	\$
Tiempo de ajuste de presión de las 2 bombas	1.00	horas
Alquiler Analizador de Redes Eléctricas por dos horas	10.00	\$

(Fuente: Autor)

Tabla 4.26. Costo por ajuste de presión

Descripción	horas empleadas	Costo por hora (\$) (Ingeniero)	Total (\$)
Ajuste de Presión	1.00	8.75	\$ 8.75

(Fuente: Autor)

Tabla 4.27. Costo por eficiencia en bombas principales

Descripción	Cantidad (u)	Costo (\$)	Total (\$)
Ajuste de Presión	1.00	8.75	\$ 8.75
Alquiler Analizador de Redes Eléctricas por dos horas	1.00	10.00	\$ 10.00
TOTAL			\$ 18.75

(Fuente: Autor)

Dando un total de \$18.75 de inversión para realizar los correctivos de eficiencia energética a la bomba de agua secundaria que tiene el SECAP edificio de administración central.

A continuación, se analiza la rentabilidad de invertir en esta alternativa de eficiencia energética utilizando los conceptos del TIR y el VAN.

Datos:

I (inversión) = \$18.75

n (periodos) = 120 meses (En el sistema de control se espera una durabilidad de 10 años)

A (Ahorro mensual) = \$0.68

i (Tasa de rentabilidad) = 12% anual (dato del SENPLADES), para el presente caso el análisis de ahorro es mensual, por lo que se utiliza el valor de 1%.

Cálculo del valor presente, a través de la ecuación 4.33.

$$V_p = \$0.68 \left[\frac{(1 + 0,01)^{120} - 1}{0,01(1 + 0,01)^{120}} \right] = \$47.40 \quad (4.33)$$

Cálculo del VAN, a través de las ecuaciones 4.34 y 4.35.

$$VAN = V_p - I = \$47.40 - \$18.75 \quad (4.34)$$

$$VAN = \$28.65 \quad (4.35)$$

Cálculo de la tasa interna de retorno:

Con la ayuda del excel se obtiene el valor “i” cuando el VAN=0 obteniendo un resultado de 3.57% mensual.

En un año la tasa interna de retorno será de $TIR = 3.57 \times 12 = 42.88\%$, y en vista de que la rentabilidad mínima recomendada por SENPLADES es de 12% en un año, se concluye que invertir en eficiencia energética en la bomba de agua secundaria del SECAP es totalmente rentable.

4.6.4. Análisis de rentabilidad al aplicar correctivos de eficiencia energética a los ascensores del SECAP

En las tablas 4.28 y 4.29 se analizan los factores que intervienen para la instalación de los correctivos de eficiencia energética a los ascensores del edificio central del SECAP.

En el edificio del SECAP existen nueve pisos con ascensor, el décimo piso no cuenta con uno por que en este piso está ubicado el cuarto de máquinas de los ascensores.

Tabla 4.28. Honorarios, tiempo de montaje y cantidad de biométricos

Salario Ingeniero programador:	1,400.00	\$
Honorarios por hora:	8.75	\$
Tiempo de montaje en los 9 pisos	18.00	horas
Número de biométricos de huella digital para los 9 pisos	9.00	Biométricos

(Fuente: Autor)

En la tabla 4.29 se muestra que la inversión total para realizar los correctivos de eficiencia energética a los ascensores que tiene el SECAP edificio de administración central es de \$2,826.92.

Posteriormente se analiza la rentabilidad de invertir en esta alternativa de eficiencia energética utilizando los conceptos del TIR y el VAN.

Tabla 4.29. Costo de instalación para control en ascensores

Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Biométricos de huella digital	9.00	70.00	\$ 630.00
Circuito de Fuerza - Relés de maniobra - regletas - Intervención en los circuito de Fuerza de los motores	1.00	1,000.00	\$ 1,000.00
Circuito de Control - Cableado - Comunicación por piso - Comunicación de los biométricos	1.00	1,000.00	\$ 1,000.00
Programación	9.00	4.38	\$ 39.42
Montaje	1.00	157.50	\$ 157.50
TOTAL			\$ 2,826.92

(Fuente: Autor)

Datos:

I (inversión) = \$2,826.92

n (periodos) = 120 meses (En el sistema de control se espera una durabilidad de 10 años)

A (Ahorro mensual) = \$40.68

i (Tasa de rentabilidad) = 12% anual (dato del SENPLADES), para el presente caso el análisis de ahorro es mensual, por lo que se utiliza el valor de 1%.

Cálculo del valor presente, mediante la ecuación 4.36:

$$V_p = \$40.68 \left[\frac{(1 + 0,01)^{120} - 1}{0,01(1 + 0,01)^{120}} \right] = \$2,835.42 \quad (4.36)$$

Cálculo del VAN, a través de las ecuaciones 4.37 y 4.38.

$$VAN = V_p - I = \$2,835.42 - \$2,826.92 \quad (4.37)$$

$$VAN = \$8.50 \quad (4.38)$$

Cálculo de la tasa interna de retorno:

Con la ayuda del excel se obtiene el valor "i" cuando el VAN=0 dando un resultado de 1.01% mensual.

En un año la tasa interna de retorno será de $TIR = 1.01 \times 12 = 12.07\%$, y en vista de que la rentabilidad mínima recomendada por SENPLADES es de 12% en un año, se concluye que invertir en eficiencia energética en los ascensores del SECAP es rentable.

4.7. Análisis de las planillas de consumo eléctrico del SECAP antes y después de la aplicación de eficiencia energética

Los primeros correctivos de eficiencia energética se los realizó en el mes de marzo, por lo que se toma como inicio de comparación a la planilla este mes mostrada en la figura 4.17, periodo en el cual se inició con los correctivos a las bombas de agua principales, bomba secundaria, y se inició con el proceso de reducción en el uso de ascensores.

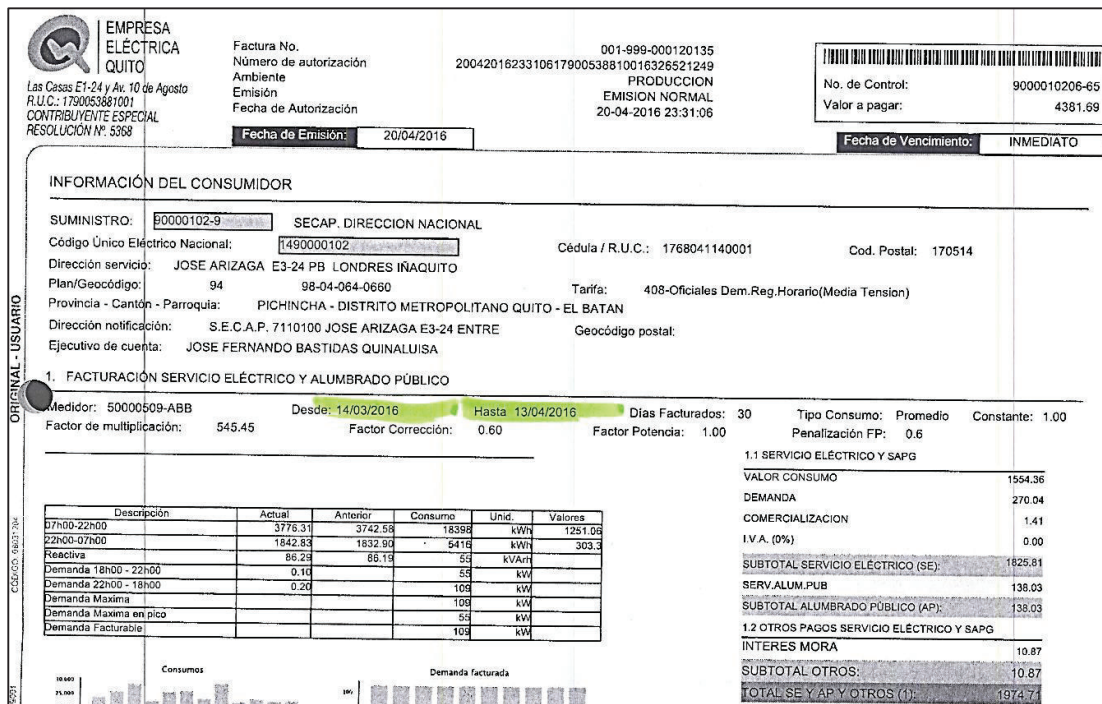


Figura 4.17. Planilla de consumo eléctrico mes de marzo 2016

Fuente: Autor

Como se puede observar el valor a cancelar por el uso de energía eléctrica en el SECAP antes de aplicar correctivos de eficiencia energética, es de \$1,825.81 sumado el impuesto por alumbrado público de \$138.03 da un total de \$1,963.84 en la planilla de consumo eléctrico del mes de marzo.

Luego de aplicar los correctivos de eficiencia energética, se muestra la planilla de consumo eléctrico del mes de abril en la figura 4.18.



 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO Las Casas E1-24 y A: 10 de Agosto R.U.C.: 1730053881001 CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCIÓN N° 5388	Factura No. 001-999-000181019 Número de autorización 2005201621325717900538810017219197898 Ambiente PRODUCCION Emisión EMISION NORMAL Fecha de Autorización 20-05-2016 21:32:57	 No. de Control: 9000010207-40 Valor a pagar: 4276.27																																																						
	Fecha de Emisión: 20/05/2016	Fecha de Vencimiento: INMEDIATO																																																						
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR SUMINISTRADO: 90000102-9 SECAP. DIRECCION NACIONAL Código Único Eléctrico Nacional: 1490000102 Cédula / R.U.C.: 1768041140001 Cod. Postal: 170514 Dirección servicio: JOSE ARIZAGA E3-24 PB LONDRES ÑAQUITO Plan/Geocódigo: 94 98-04-064-0860 Tarifa: 408-Oficiales Dem.Reg.Horario(Media Tension) Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - EL BATAN Dirección notificación: 97-01-041-0070 Geocódigo postal: Ejecutivo de cuenta: JOSE FERNANDO BASTIDAS QUINALUISA																																																								
1 FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO Medidor: 50000509-ABB Desde: 13/04/2016 Hasta: 13/05/2016 Días Facturados: 30 Tipo Consumo: Leído Constante: 1,00 Factor de multiplicación: 545,45 Factor Corrección: 0,60 Factor Potencia: 1,00 Penalización FP: 0																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Actual</th> <th>Anterior</th> <th>Consumo</th> <th>Unid.</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>07h00-22h00</td> <td>3807,42</td> <td>3774,98</td> <td>17689</td> <td>kWh</td> <td>1202,88</td> </tr> <tr> <td>22h00-07h00</td> <td>1851,29</td> <td>1842,08</td> <td>5018</td> <td>kWh</td> <td>281,03</td> </tr> <tr> <td>Reactiva</td> <td>86,20</td> <td>86,19</td> <td>g</td> <td>kVArh</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda 18h00 - 22h00</td> <td>0,19</td> <td></td> <td>59</td> <td>kVA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda 22h00 - 18h00</td> <td>0,20</td> <td></td> <td>108</td> <td>kVA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda Máxima</td> <td></td> <td></td> <td>108</td> <td>kVA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda Máxima en pico</td> <td></td> <td></td> <td>58</td> <td>kVA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda Facturable</td> <td></td> <td></td> <td>108</td> <td>kVA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores	07h00-22h00	3807,42	3774,98	17689	kWh	1202,88	22h00-07h00	1851,29	1842,08	5018	kWh	281,03	Reactiva	86,20	86,19	g	kVArh		Demanda 18h00 - 22h00	0,19		59	kVA		Demanda 22h00 - 18h00	0,20		108	kVA		Demanda Máxima			108	kVA		Demanda Máxima en pico			58	kVA		Demanda Facturable			108	kVA	
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores																																																			
07h00-22h00	3807,42	3774,98	17689	kWh	1202,88																																																			
22h00-07h00	1851,29	1842,08	5018	kWh	281,03																																																			
Reactiva	86,20	86,19	g	kVArh																																																				
Demanda 18h00 - 22h00	0,19		59	kVA																																																				
Demanda 22h00 - 18h00	0,20		108	kVA																																																				
Demanda Máxima			108	kVA																																																				
Demanda Máxima en pico			58	kVA																																																				
Demanda Facturable			108	kVA																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VALOR CONSUMO</td> <td>1483,85</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA</td> <td>270,04</td> </tr> <tr> <td>COMERCIALIZACION</td> <td>1,41</td> </tr> <tr> <td>I.V.A. (0%)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):</td> <td>1755,31</td> </tr> <tr> <td>SERV. ALUM. PUB.</td> <td>132,70</td> </tr> <tr> <td>SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):</td> <td>132,70</td> </tr> <tr> <th colspan="2">1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG</th> </tr> <tr> <td>INTERES MORA</td> <td>12,00</td> </tr> <tr> <td>SUBTOTAL OTROS:</td> <td>12,00</td> </tr> <tr> <td>TOTAL SE Y AP Y OTROS (1):</td> <td>1900,01</td> </tr> </tbody> </table>			1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG		VALOR CONSUMO	1483,85	DEMANDA	270,04	COMERCIALIZACION	1,41	I.V.A. (0%)	0,00	SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	1755,31	SERV. ALUM. PUB.	132,70	SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	132,70	1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG		INTERES MORA	12,00	SUBTOTAL OTROS:	12,00	TOTAL SE Y AP Y OTROS (1):	1900,01																														
1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG																																																								
VALOR CONSUMO	1483,85																																																							
DEMANDA	270,04																																																							
COMERCIALIZACION	1,41																																																							
I.V.A. (0%)	0,00																																																							
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	1755,31																																																							
SERV. ALUM. PUB.	132,70																																																							
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	132,70																																																							
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG																																																								
INTERES MORA	12,00																																																							
SUBTOTAL OTROS:	12,00																																																							
TOTAL SE Y AP Y OTROS (1):	1900,01																																																							

Figura 4.18. Planilla de consumo eléctrico mes de abril 2016

Fuente: Autor



El valor a cancelar por el uso de energía eléctrica en el SECAP en el mes de abril es de \$1,755.31 sumado el impuesto por alumbrado público de \$132.70 da un total de \$1,888.01 en la planilla de consumo eléctrico de este mes.

En el mes de abril se registra el ahorro de energía que se consiguió por la aplicación de eficiencia energética en las bombas de agua principales, bomba secundaria, y se inició con el proceso de reducción en el uso de ascensores.

La reducción en el consumo de energía eléctrica en el mes de abril es de \$75.83, como se detalla en la ecuación 4.39.

$$\text{Reducción en el consumo mes abril} = 1,963.84 - 1,888.01 = \$75.83 \quad (4.39)$$

Posteriormente dentro del mes de abril se realizaron los correctivos de eficiencia a las aulas de capacitación, viéndose reflejado el ahorro por esta aplicación de eficiencia energética en la medición del mes de mayo. La planilla del mes de mayo se ilustra en la figura 4.19.

 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO Las Casas E1-24 y Av. 10 de Agosto R.U.C.: 179003681001 CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCIÓN N° 5368	Factura No. 001-999-000221682 Número de autorización 1406201621520217900539810017915127106 Ambiente PRODUCCION Emisión EMISION NORMAL Fecha de Autorización 14-08-2016 21:52:02	 No. de Control: 9000010208-26 Valor a pagar: 6223.38
	Fecha de Emisión: 13/06/2016	Fecha de Vencimiento: INMEDIATO

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR					
SUMINISTRO:	80000102-9	SECAP. DIRECCION NACIONAL			
Código Único Eléctrico Nacional:	1490000102	Cédula / R.U.C.:	1768041140001	Cod. Postal:	170514
Dirección servicio:	JOSE ARIZAGA E3-24 PB LONDRES IÑAQUITO				
Plan/Geocódigo:	96	98-07-096-2080	Tarifa: 408-Oficiales Dem.Reg.-Horario(Media Tension)		
Provincia - Cantón - Parroquia:	PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - EL BATAN				
Dirección notificación:	97-01-041-0070	Geocódigo postal:			
Ejecutivo de cuenta:	JOSE FERNANDO BASTIDAS QUINALUISA				
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO					
Medidor:	50000509-ABB	Desde:	13/05/2016	Hasta:	10/06/2016
Factor de multiplicación:	545,45	Factor Corrección:	0,60	Factor Potencia:	1,00
		Días Facturados:	28	Tipo Consumo:	Leído Constante: 1,00
				Penalización FP:	0
1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG					
VALOR CONSUMO					1331,75
DEMANDA					270,04
COMERCIALIZACION					1,41
I.V.A. (0%)					0,00
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):					1603,20
SERV ALUM.PUB					125,05
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):					125,05
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG					
SUBTOTAL OTROS:					0,00
TOTAL SE Y AP Y OTROS (1):					1728,25

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
07h00-22h00	3836,38	3807,42	15802	KWH	1074,54
22h00-07h00	1859,71	1851,28	4593	KWH	257,21
Reactiva	86,20	86,20		KVARh	
Demanda 18h00 - 22h00	0,10		59	KW	
Demanda 22h00 - 18h00	0,20		109	KW	
Demanda Maxima			109	KW	
Demanda Maxima en pico			59	KW	
Demanda Facturable			704	KW	

Figura 4.19. Planilla de consumo eléctrico mes de mayo 2016

Fuente: Autor

Como se puede observar el valor a cancelar por el uso de energía eléctrica del mes de mayo en el SECAP, es de \$1,603.20 sumado el impuesto por alumbrado público de \$125.05 da un total de \$1,728.25 en la planilla de consumo eléctrico de este mes. La reducción en el consumo de energía eléctrica comparando el consumo del mes de marzo con el consumo del mes de mayo es de \$235.59, como se demuestra en la ecuación 4.40.

$$\text{Reducción en el consumo mes mayo} = \$1,963.84 - \$1,728.25 = \$235.59 \quad (4.40)$$

Se observa la continuidad de esta tendencia de consumo (alrededor de \$1750,00 mensuales) en las planillas de los meses de junio 2016 y agosto 2016, como se ilustra en el anexo Q.

En los resultados esperados del subcapítulo 4.5 se presupuesta un ahorro económico de \$157.60, quedando así demostrado la reducción del consumo energético en el SECAP edificio de administración central aplicando medidas de eficiencia energética, al mismo tiempo que se beneficia a la institución con un ahorro del $\frac{1,963.84-1,728.25}{1,963.84} = 12\%$ en la planilla mensual de energía eléctrica y se beneficia al estado ecuatoriano disminuyendo los recursos públicos necesarios para el pago de servicios básicos del SECAP.

4.8. Ahorro económico de la demanda del SECAP a nivel nacional

A continuación, se analiza el potencial de ahorro energético si se aplicara los correctivos de eficiencia energética a todos los centros del SECAP a nivel nacional.

4.8.1. Ahorro económico en el uso eficiente de bombas a nivel nacional

Contemplando una bomba de 2 hp y una bomba de 7.5 hp por centro, se tiene: 24 bombas de 2 hp y 24 bombas de 7.5 hp para los 24 centros del SECAP a nivel nacional.

El análisis de ahorro económico en el uso eficiente de bombas de agua en los 24 centros del SECAP a nivel nacional se muestra en las ecuaciones 4.41 y 4.42.

$$\begin{aligned}
 \text{Ahorro mensual en (Wh) Bombas de 2hp} &= (37.94 - 33.61) Wh \\
 &= 4.33 Wh \times 30 \text{ días} \times 62 \text{ encendidos} \times 24 \text{ bombas} \div 1,000 \\
 &= 193.29 \frac{kWh}{mes}
 \end{aligned} \tag{4.41}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ahorro mensual en (Wh) Bombas de 7.5 hp} &= (112.72 - 103.33) Wh \\
 &= 9.39 Wh \times 30 \text{ días} \times 14 \text{ encendidos} \times 24 \text{ bombas} \div 1,000 \\
 &= 94.65 \frac{kWh}{mes}
 \end{aligned} \tag{4.42}$$

El ahorro que se obtendría aplicando los correctivos de eficiencia energética en bombas de agua de 2 hp y de 7.5 hp a los 24 centros del SECAP se muestra en la tabla 4.30, resultando un ahorro económico de \$573.57 como se ilustra en la ecuación 4.43.

Tabla 4.30. Ahorro en bombas de 2 hp a nivel nacional

Potencia de las bombas	Número de Centros	Ahorro en (kWh/mes) Bomba de 2 hp	Costo kWh	Total Ahorro mensual (USD)
2 hp	24	193.29	\$0.083	\$385.03
7.5 hp	24	94.65	\$0.083	\$188.54

(Fuente: Autor)

$$\begin{aligned}
 & \text{Total de ahorro económico mensual por eficiencia en bombas} \\
 & = \$(385.03 + 188.54) = \$573.57
 \end{aligned}
 \tag{4.43}$$

El ahorro proyectado a un año se muestra en la ecuación 4.44.

$$\begin{aligned}
 & \text{Total de ahorro económico anual por eficiencia en bombas} = \$573.57 \times 12 \\
 & = \$6,882.84
 \end{aligned}
 \tag{4.44}$$

Dando un ahorro anual de \$6,882.84 si aplicáramos los correctivos de eficiencia energética en las bombas de agua en todos los centros del SECAP.

4.8.2. Ahorro económico en el uso eficiente de iluminación en las aulas de capacitación del SECAP a nivel nacional

El Potencial de ahorro en aulas de capacitación a nivel nacional se muestra en la tabla 4.31.

Posteriormente se procede a analizar el consumo eléctrico sin aplicar los correctivos de eficiencia energética en las ecuaciones 4.45 y 4.46, luego en las ecuaciones 4.47 y 4.48 se analiza el consumo eléctrico después de aplicar los correctivos de eficiencia energética en las aulas de capacitación del SECAP a nivel nacional.

Datos: Antes de los correctivos de eficiencia energética:

- Días al mes en que se brindan cursos de capacitación = 20 (Los sábados y domingos los usuarios no tienen acceso al edificio)
- Ambientes de capacitación = 27
- Wh de un ambiente de capacitación en un curso de 3 horas (Antes) = 1,457.99 Wh
- Número de cursos en un día por aula = 2
- Número de centros formativos = 24

Tabla 4.31. Número de ambientes de capacitación a nivel nacional

EDIFICIOS SECAP A NIVEL NACIONAL			
CIUDAD	TALLER	AULAS	LABORATORIOS
Ibarra	8	5	4
Esmeraldas	3	0	2
Lago Agrio	2	8	4
Tulcán	6	5	3
Quito Norte	14	29	24
Tena	7	8	2
Coca	3	2	2
Ambato	6	13	12
Puyo	0	1	1
Riobamba	5	7	5
Manta	6	10	5
Santo Domingo	6	8	4
Durán	11	14	7
Milagro	0	1	1
Babahoyo	1	0	0
Guaranda	0	1	1
Cuenca	18	11	12
Sucúa	1	1	2
Loja	4	4	1
Machala	6	4	2
Zamora	0	1	1
Guayaquil	5	13	6
Quito Centro	3	23	8
Edif. Adm. Central	15	9	3
TOTAL	130	178	112
Total de Ambientes con potencial de Ahorro Energético			420

(Fuente: Autor)

$$\text{Consumo } \frac{kWh}{mes} (\text{Antes}) = \frac{20 \times 1,457.99Wh \times 27 \times 2 \times 24}{1,000} = 37,791.10 \frac{kWh}{mes} \quad (4.45)$$

$$\text{Facturación } \frac{\$}{mes} (\text{Antes}) = 0.083 \frac{\$}{kWh} \times 37,791.10 \frac{kWh}{mes} = \$3,136.66 \frac{\$}{mes} \quad (4.46)$$

Datos: Después de los correctivos de eficiencia energética:

- Días al mes en que se brindan cursos de capacitación = 20 (Los sábados y domingos los usuarios no tienen acceso al edificio)
- Ambientes de capacitación = 27
- Wh de un ambiente de capacitación Después = 336.88 Wh

- Número de cursos en un día por aula = 1 (porque el consumo se da solo en último curso de las 15h30, momento en que la luminosidad disminuye, en el resto del día el sistema de iluminación no se enciende)
- Número de centros formativos = 24

$$\text{Consumo } \frac{kWh}{\text{mes}} (\text{Después}) = \frac{20 \times 336.88Wh \times 27 \times 1 \times 24}{1,000} = 4,365.96 \frac{kWh}{\text{mes}} \quad (4.47)$$

$$\text{Facturación } \frac{\$}{\text{mes}} (\text{Después}) = 0.083 \frac{\$}{kWh} \times 4,365.96 \frac{kWh}{\text{mes}} = \$362.37 \frac{\$}{\text{mes}} \quad (4.48)$$

El resumen de los resultados al analizar la facturación mensual antes y después de aplicar eficiencia energética en los sistemas de iluminación de los 24 edificios del SECAP se muestra en la tabla 4.32 y el cálculo en la ecuación 4.49.

Tabla 4.32. Ahorro económico en aulas a nivel nacional después de eficiencia energética

	ANTES	DESPUÉS
Costo (kWh)	\$ 0.083	\$ 0.083
Consumo kWh/mes	37,791.10	4,365.96
FACTURACION \$/mes	\$ 3,136.66	\$ 362.37

(Fuente: Autor)

$$\begin{aligned} \text{Total de ahorro económico mensual por eficiencia en iluminación de Aulas} \\ = (\$3,136.66 - 362.37) = \$2,774.29 \end{aligned} \quad (4.49)$$

El ahorro económico proyectado a un año se muestra en la ecuación 4.50.

$$\begin{aligned} \text{Total de ahorro económico anual por eficiencia en iluminación de aulas} \\ = \$2,774.29 \times 12 = \$33,291.48 \end{aligned} \quad (4.50)$$

Dando un ahorro anual de \$33,291.48 si se aplicara los correctivos de eficiencia energética en todos los ambientes de capacitación de los centros del SECAP.

4.8.3. Ahorro económico en el uso eficiente de los ascensores del SECAP a nivel nacional

Los edificios del SECAP que cuentan con ascensores son:

- Santo Domingo
- Cuenca
- Guayaquil
- Quito Centro
- Edificio de administración central

Los cuatro primeros centros cuentan con un ascensor de similares características al existente en el SECAP edificio de administración central, existiendo únicamente dos ascensores en el edificio de administración central sumando un total de seis ascensores.

Previamente se había concluido en la tabla 4.16 que el ahorro económico mensual por eficiencia en los ascensores 1 y 2 del edificio de administración central es de \$40.68, lo cual da un promedio de \$20.34 por cada ascensor.

El cálculo de ahorro mensual y anual debido al uso eficiente de los ascensores del SECAP en todos sus centros, se muestra en las ecuaciones 4.51 y 4.52.

Operación

$$\begin{aligned} \textit{Total de ahorro económico mensual por eficiencia en el uso de ascensores} & & (4.51) \\ = \$20.34 \times 6 = \$122.04 & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textit{Total de ahorro económico anual por eficiencia en el uso de ascensores} & & (4.52) \\ = \$122.04 \times 12 = \$1,464.48 & & \end{aligned}$$

Dando un ahorro anual de \$1,464.48 si se aplicaran los correctivos de eficiencia energética en todos los centros del SECAP que cuentan con ascensor.

4.8.4. Ahorro económico total a nivel nacional en un año

El ahorro económico anual si se aplicaran los correctivos de eficiencia energética a todos los centros formativos del SECAP a nivel nacional se muestra en la tabla 4.33.

Tabla 4.33. Ahorro económico total con eficiencia energética a nivel nacional

Descripción	Ahorro económico USD
Bombas de 2 hp y 7.5 hp	\$ 6,882.84
Iluminación de Aulas	\$ 33,291.48
Ascensores	\$ 1,464.48
TOTAL	\$ 41,638.80

(Fuente: Autor)

Dando como resultado un ahorro anual en el presupuesto del SECAP de \$41,638.80 por concepto de eficiencia energética.

4.9. Análisis exergético de los sistemas analizados en el edificio del SECAP administración central

A continuación, se realiza un análisis de la energía recuperada al aplicar eficiencia energética en los sistemas de bombeo que se intervinieron en la presente investigación.

4.9.1. Análisis exergético en bombas principales de 7.5 hp

Teniendo en cuenta que el caudal de consumo de las bombas principales es el mismo, se analizó la energía inicial requerida para abastecer el consumo de agua en el edificio del SECAP con la energía requerida posterior a realizar los correctivos de eficiencia energética.

Se logró recuperar un 8.46% de energía en potencia hidráulica y 9.00% de energía en potencia eléctrica en las bombas de agua principales, como se indica en la tabla 4.34.

Tabla 4.34. Análisis de ahorro exergético en las bombas de agua principales y secundaria

ANÁLISIS EXERGÉTICO						
SISTEMA ENERGÉTICO	ANTES	DESPUÉS	Energía recuperada (%)	ANTES	DESPUÉS	Energía recuperada (%)
	Potencia Hidráulica (Watts)	Potencia Hidráulica (Watts)		Potencia Eléctrica (Watts)	Potencia Eléctrica (Watts)	
Bombas de agua Principales	3,244.29	2,969.79	8.46%	4,031.30	3,668.35	9.00%
Bomba de agua secundaria	1,087.63	1,079.58	0.74%	1,513.58	1,444.72	4.55%

(Fuente: Autor)

4.9.2. Análisis exergético en bomba secundaria de 2 hp

Se analizó la energía inicial requerida por la bomba de secundaria para abastecer el consumo de agua en el edificio del SECAP con la energía requerida posterior a realizar los correctivos de eficiencia energética.

Se logró recuperar un 0.74% de energía en potencia hidráulica y un 4.55% de energía en potencia eléctrica, como se muestra en la tabla 4.34.

4.9.3. Análisis exergético en ascensores

Como se describió en el subcapítulo 2.2.1.1. los ascensores empleados en el edificio de administración central del SECAP funcionan con un contrapeso cuyo peso es equivalente al peso de la cabina más el cincuenta por ciento del peso máximo que el motor puede elevar.

Con este principio cuando el ascensor se encuentra sin carga en la cabina los motores tienen que operar para subir o bajar el contrapeso y cuando la cabina está con carga los motores de igual manera operan para subir o bajar la misma, haciendo que el consumo de los motores de los ascensores al subir o bajar sea equivalente.

Esto se evidencia también en las figuras 3.14 y 3.19, en las cuales se grafica la potencia de los motores de los ascensores observándose un comportamiento homogéneo cuando estos se activan.

En vista de que los motores eléctricos de los ascensores del SECAP operan con normalidad, y habiendo demostrado con las mediciones registradas en el presente estudio que el consumo de los motores eléctricos es equivalente al subir o al bajar, no se puede obtener más energía que la inicial.

Por ende, teniendo presente lo descrito en el párrafo anterior se concluye que, para obtener ahorro de energía eléctrica en los ascensores la única manera de ahorrar energía es disminuyendo su uso.

Recordemos que esta es una medida de conservación de la energía que como resultado se produce ahorro de energía eléctrica, pero limitando el servicio a los usuarios del SECAP.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se analizó el uso de la energía en edificios de capacitación, caso SECAP edificio de administración central, determinando la posibilidad de optimizar los sistemas de: iluminación en aulas, bomba de agua secundaria, bombas de agua principales y ascensores.
- Se determinó que los sistemas energéticos que utiliza el edificio del SECAP son iluminación, bombeo de agua y ascensores, cuyas características se encuentran descritas en el Capítulo 2 de la presente investigación.
- Se definió los parámetros de entrada y salida de los diferentes sistemas energéticos de un edificio de capacitación, los cuales son:

Tabla 5.1 Parámetros de entrada y salida de sistemas energéticos

PARÁMETROS		
SISTEMA ENERGÉTICO	ENTRADA	SALIDA
Iluminación	Energía Eléctrica	Luxes
Bombas de agua	Energía Eléctrica	Caudal
Ascensores	Energía Eléctrica	Movimiento de personas

(Fuente: Autor)

- Se determinó los perfiles de consumo de energía eléctrica en el edificio de capacitación del SECAP siendo estos: 1,457.99 Wh en iluminación de un aula de capacitación en horario entre 15h30 y 18h30, 112.72 Wh en un arranque de cada una de las bombas de agua principales, 37.94 Wh en un arranque de la bomba de agua secundaria y 27.232 kWh en un día de uso de los ascensores.
- Se desarrollaron indicadores para el uso eficiente de la energía en los sistemas energéticos del edificio del SECAP, estos indicadores son:
 - Iniciar el sistema de iluminación automático para optimizar el tiempo de encendido de las luces en las aulas de capacitación, logrando que las mesas de trabajo tengan una intensidad lumínica alrededor de 320 lux.

- Intervenir las presiones de seteo para que los sistemas de bombeo operen en su punto de máxima eficiencia; (20 – 86) psi para las bombas de agua principales, (30 – 39) psi para la bomba de agua secundaria.
 - Instalar un sistema de control de acceso a los ascensores que permitan reducir el número de subidas y bajadas de los mismos. En nuestro mes de prueba con la colaboración de los usuarios se redujo el número de subidas y bajadas de los ascensores de 698 a 279 para el ascensor 1, y de 832 a 333 para el ascensor 2.
- Al instalar el sistema de control de iluminación en el aula de capacitación se disminuyó 88.45% la facturación económica por concepto de eficiencia energética, esto es un ahorro de 1,392.71 kWh/mes o \$115.59\$ mensuales.
- Al comparar dos ambientes de capacitación de similares características con y sin medidas de eficiencia energética se concluyó que, en condiciones de trabajo anteriores, un aula de capacitación consumía 1,457.99 Wh en una jornada de trabajo comprendida entre las 15h30 y las 18h30, mientras que instalando la propuesta de eficiencia energética (control automático de iluminación) el consumo de otro ambiente de capacitación fue de 336.88 Wh. Las causas fueron el ineficiente medio de encendido existente que consistía en un solo interruptor que activa todas las luces del ambiente al mismo tiempo. Otra causa fue que los usuarios encendían las luces aun cuando el ambiente de capacitación tenía iluminación suficiente para poder trabajar.
- Se obtuvo una importante disminución de consumo eléctrico al instalar el sistema de control de iluminación, permitiendo encender las luminarias de un aula sólo cuando esta lo requiera, eliminando así el encendido de todas las luminarias al mismo tiempo cuando se usaba un ambiente de capacitación. Esta disminución de consumo eléctrico pasó de 1,574.63 kWh/mes antes a 181.92 kWh/mes después, equivalente a un ahorro de 88.45% en consumo eléctrico de iluminación correspondiente a \$115.59 mensuales.
- Se mejoró notablemente el confort de los usuarios en las aulas de capacitación al no permitir encender las luminarias cuando la luminosidad natural era suficiente, de esta manera se eliminó el exceso de iluminación en las mesas de trabajo. Esta conclusión se obtuvo en base a la percepción de los usuarios.

- Se controló el nivel de iluminación sobre las mesas de trabajo de un aula de capacitación, para que los usuarios capacitados tengan asegurada iluminación suficiente alrededor de 320 luxes, valor recomendado por el “Energy Management Handbook”.
- El análisis de rentabilidad fue positivo para la inversión de eficiencia energética en sistemas de control de iluminación, dando un TIR de 4.34% mensual (52.08% anual), con un VAN de \$5,410.68
- Se obtuvieron buenos resultados optimizando el uso de los ascensores, concientizando al personal del SECAP y a los usuarios que el uso de los ascensores sea de preferencia para subir, y bajar sólo cuando sea estrictamente necesario, obteniendo un ahorro de 16.34 kWh/día (490.2 kWh/mes), equivalente a \$40.68 mensuales.
- El análisis de rentabilidad fue positivo para la inversión en eficiencia energética para un sistema de control que optimice el uso de los ascensores dando un TIR de 1.01% mensual (12.07% anual), con un VAN de \$8.50
- Se logró un ahorro de 7.88 kWh/mes equivalente a un ahorro económico de \$0.66 mensuales, al optimizar el rango de presión en que el que operaban las bombas de agua principales.
- Se logró un ahorro de 8.05 kWh/mes equivalente a un ahorro económico de \$0.67 mensuales, al optimizar el rango de presión en que el que operaba la bomba de agua secundaria.
- Se logró recuperar un 8.46% de energía en potencia hidráulica y un 9.00% de energía en potencia eléctrica en las bombas principales.
- Se logró recuperar un 0.74% de energía en potencia hidráulica y un 4.55% de energía en potencia eléctrica en la bomba secundaria.
- El análisis de rentabilidad fue positivo para la inversión en eficiencia energética para optimizar el punto de operación de las bombas de agua principales dando un TIR de 1.45% mensual (17.35% anual), con un VAN de \$8.50

- El análisis de rentabilidad fue positivo para la inversión en eficiencia energética para optimizar el punto de operación de la bomba de agua secundaria dando un TIR de 3.57% mensual (42.88% anual), con un VAN de \$28.65
- Se obtuvo al final de la presente investigación un ahorro del 12.00% en la planilla de consumo de energía eléctrica del edificio de administración central del SECAP, pasando de facturar \$1,963.84 en el mes de marzo (mes en el que iniciaron los correctivos de eficiencia energética) a \$1,728.25 del mes de mayo (mes que concluyó la aplicación de los correctivos de eficiencia energética).
- Si el SECAP aplica los correctivos de eficiencia energética utilizados en el presente estudio a todos sus centros a nivel nacional, obtendrá un ahorro económico de \$41,638.80 anuales aproximadamente.

5.2. Recomendaciones

- Cambiar las luminarias fluorescentes por luminarias LED, de esta manera el ahorro en facturación puede ser 2.3 veces más, ya que el consumo de una luminaria LED es en promedio 2.3 veces menor a una luminaria fluorescente.
- Revisar siempre que los equipos de medición se encuentren calibrados perfectamente.
- Para ahorrar energía eléctrica en los ascensores se recomienda elaborar un sistema de control de preferencia con lector de huella digital, que permita únicamente a los usuarios con discapacidad, tercera edad, mujeres embarazadas y gerencia hacer uso del ascensor para bajar. De esta manera se optimiza el uso de los ascensores para el resto de personal únicamente para subir, reduciendo considerablemente el uso de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMC. (14 de Septiembre de 2011). Analizadores y medidores de calidad de energía. United States of America.
- ARDUINO. (2014). Características y especificaciones técnicas de Arduino UNO. Obtenido de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter%C3%ADsticas-Arduino.pdf>
- Blank, L., & Tarquin, A. (1992). Ingeniería económica.
- Cardenas, J. (2012). La ingeniería del ascensor.
- CRECENEGOCIOS. (2013). CRECENEGOCIOS. Obtenido de <http://www.crecenegocios.com/definicion-de-rentabilidad/>
- Empresa Eléctrica Quito. (Enero de 2016). Plan tarifario vigente. Quito, Pichincha, Ecuador.
- <http://www.secap.gob.ec/?p=155>
- INDUSTRIAS REXEL. (2005). INDUSTRIAS REXEL. Obtenido de <http://www.rexelindustrial.ie/product/2500183056/Thorn-Fluorescent-Batten,-Popular-Pack.-Switchstart,-1200mm,-2x36W-T26-included>
- Ingaruca, M. (2014). Bomba centrífuga. Lima.
- INSTRUMART. (Marzo de 2016). INSTRUMART. Obtenido de <https://www.instrumart.com/products/34388/aemc-powerpad-model-3945-b-power-quality-analyzer>
- MEER. (Mayo 2013). Eficiencia energética en edificios. Obtenido de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/4_MEER_Carlos_Davila.pdf
- Pentair Myers. (2013). Operation and parts manual.
- PUMPBIZ. (Febrero de 2016). PUMPBIZ. Obtenido de <http://pumpbiz.com/pedestal-mounted-sprayer-pump-i2ci-202c95>
- TUBOS FLUORESCENTES LED. (2008). TUBOS FLUORESCENTES LED. Obtenido de <http://tubosledbaratos.com/es/home/7-luminaria-empotrable-4-tubos-de-600-mm.html>
- Turner, W., & Doty, S. (2007). Energy management handbook. Lilburn: The Fairmont Press.

ANEXOS

Anexo A

Carta de aprobación del estudio de tesis firmada por el Ing. Carlos Echeverría (Máxima autoridad del SECAP en septiembre del 2015).

Autorizada la realización del Tesis y coordinar con D. Administrativo para proporcionar la compra materiales
[Firma] 2015-09-11

Quito, D.M., 11 de Septiembre de 2015

Para: Sr. Ing. Carlos Martín Echeverría Cueva
Director Ejecutivo del SECAP

ASUNTO: Autorización para realizar investigación de Tesis

De mi consideración:

El motivo de la presente es para solicitarle muy comedidamente el auspicio y autorización para realizar la investigación del tema de tesis "ANÁLISIS DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS DE CAPACITACIÓN, CASO SECAP, EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN CENTRAL", para la obtención del Título de Máster en Eficiencia Energética de la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, cuyo director de tesis es el Ex-Ministro de Energía Ing. Alecksey Mosquera MBA, y mi persona como estudiante ejecutor Ing. Jean Carlos Simancas.

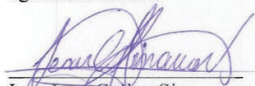
La investigación tiene como objetivo determinar los mecanismos y medidas que ayuden al Secap Edificio Administración Central a obtener un ahorro estimado de Energía Eléctrica del 20% o superior según arrojen las conclusiones de la investigación.

Actualmente el Secap Administración Central tiene un consumo eléctrico promedio mensual de 25488Kw con un costo de \$1936.90 en la planilla de energía eléctrica, Se estima se logre reducir un 20% o más según los resultados que arrojen la investigación descrita, lo que equivaldría a \$387,38 mensual.

De ser posible solicito un apoyo económico para compra de equipos eléctricos y de medición con una inversión de \$2000,00 inversión que se recuperaría en 5,16 meses con el ahorro descrito de \$387,38 mensual que se espera arrojen los resultados de la investigación. El beneficio para la institución luego de recuperado la inversión podría llegar a ser de \$4648,56 anuales o superior.

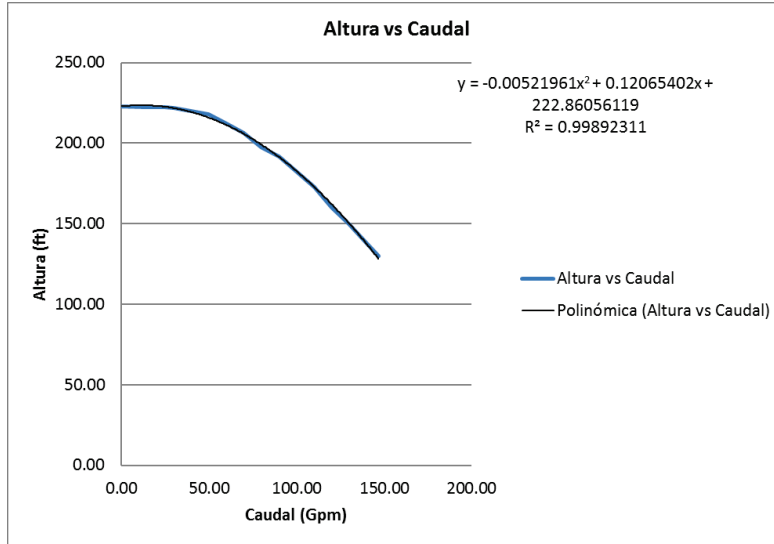
La investigación la realizaría fuera de los horarios de trabajo y fines de semana por un tiempo aproximado de entre 6 a 8 meses, después de lo cual entregaría al SECAP los resultados obtenidos.

Agradecido por la favorable atención a la presente, anticipo mis debidos agradecimientos.

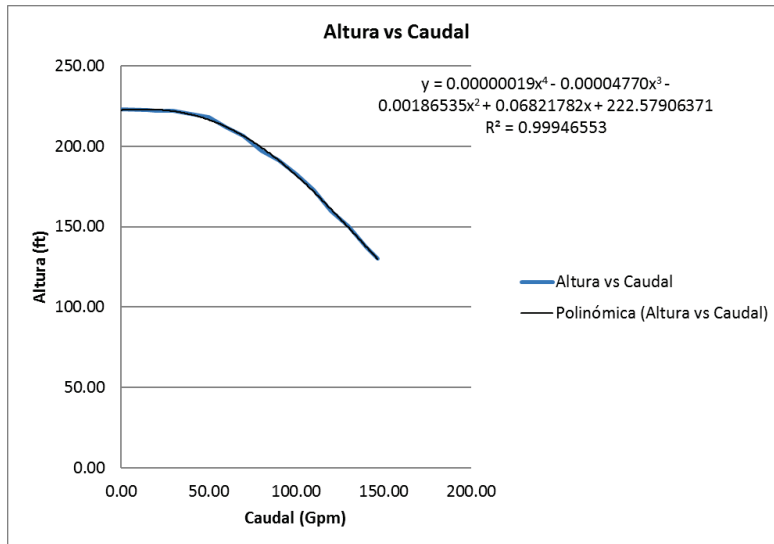

Ing. Jean Carlos Simancas
PLANIFICADOR DE CONSTRUCCIONES 2
SECAP-ADMINISTRACIÓN CENTRAL

Anexo B

Gráficas de ajuste para la curva Altura vs Caudal de las bombas de agua principales.



a) Ajuste cuadrático con $R^2=0.9989$



b) Ajuste a la cuarta con $R^2=0.9994$

Anexo C

Error porcentual de la ecuación 2.1 para la gráfica H vs Q de las bombas de agua principales de 7.5 hp.

No.	Altura teórica (ft)	GPM	Altura calculada (ft)	Error (%)
1	223.00	0.00	222.58	0.19%
2	222.45	15.00	223.03	-0.26%
3	222.33	20.00	222.85	-0.23%
4	222.20	25.00	222.45	-0.11%
5	222.00	30.00	221.81	0.08%
6	221.00	35.00	220.92	0.04%
7	220.00	40.00	219.76	0.11%
8	218.00	50.00	216.55	0.66%
9	212.00	60.00	212.12	-0.05%
10	206.50	70.00	206.41	0.04%
11	197.50	80.00	199.46	-0.99%
12	191.50	90.00	191.30	0.10%
13	182.50	100.00	182.05	0.25%
14	172.86	110.00	171.84	0.59%
15	160.00	120.00	160.88	-0.55%
16	150.00	130.00	149.39	0.41%
17	137.50	140.00	137.67	-0.12%
18	130.00	146.67	129.89	0.09%

Anexo D

Error porcentual de la ecuación 2.2 para la gráfica Q vs H parte 1 de las bombas de agua principales de 7.5 hp.

No.	Altura teórica (ft)	GPM	Caudal Calculado (GPM)	Error (%)
1	223.00	0.00	-0.29	--
2	222.45	15.00	15.41	2.76%
3	222.33	20.00	19.54	-2.31%

Anexo E

Error porcentual de la ecuación 2.3 para la gráfica Q vs H parte 2 de las bombas de agua principales de 7.5 hp.

No.	Altura Teórica (ft)	GPM	Caudal Calculado (GPM)	Error (%)
4	222.20	25.00	24.29	-2.84%
5	222.00	30.00	27.88	-7.06%
6	221.00	35.00	34.49	-1.45%
7	220.00	40.00	40.32	0.80%
8	218.00	50.00	49.64	-0.73%

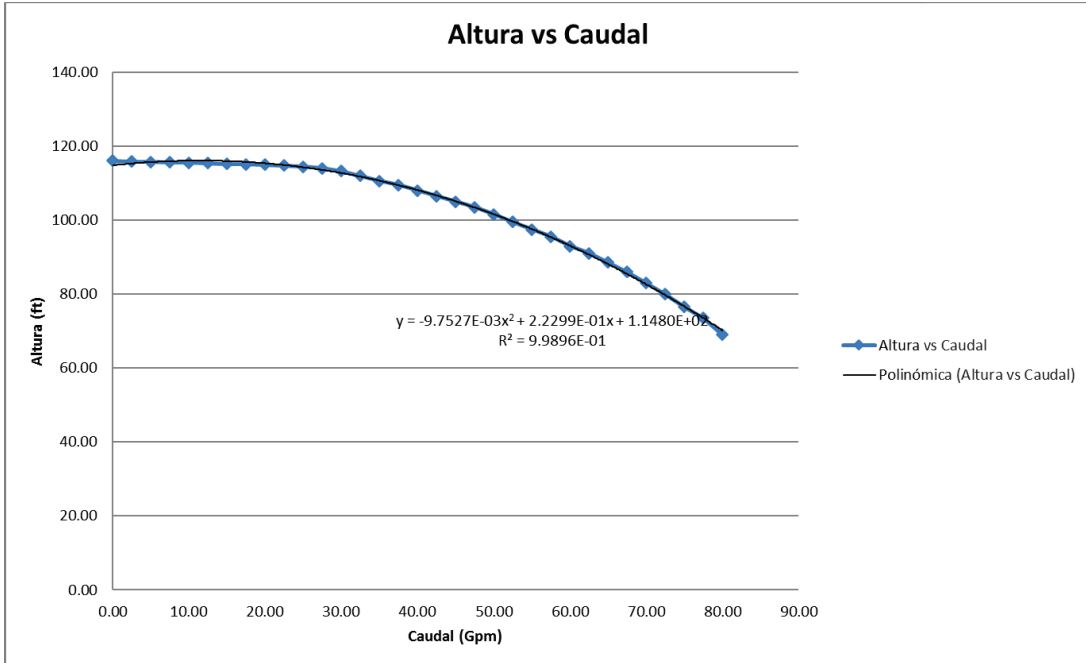
Anexo F

Error porcentual de la ecuación 2.4 para la gráfica Q vs H parte 3 de las bombas de agua principales de 7.5 hp.

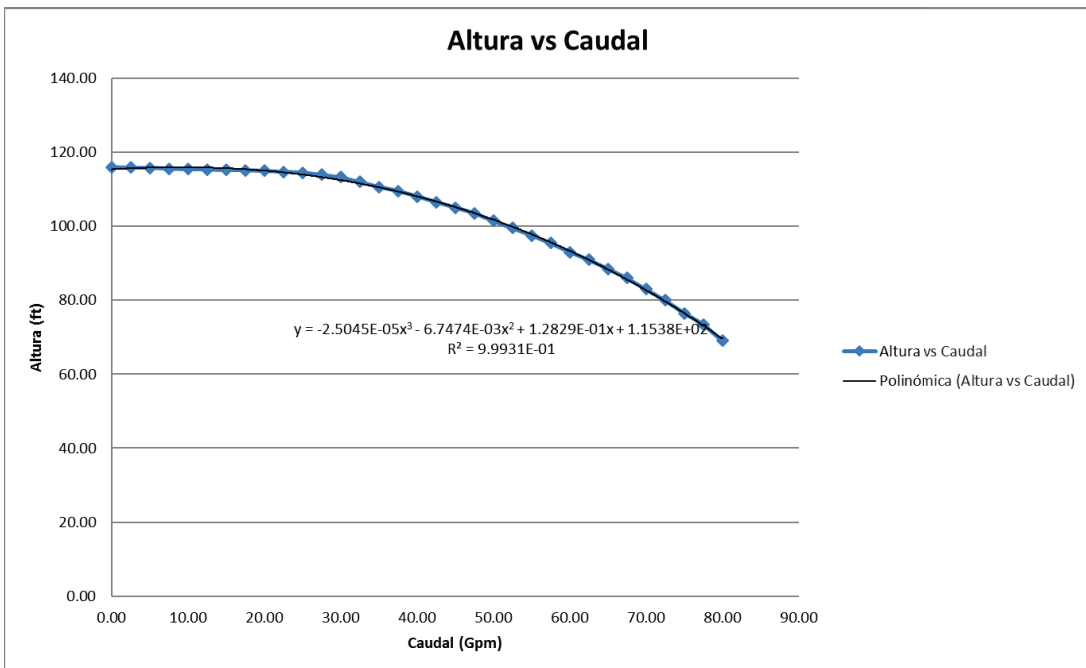
No.	Altura Teórica (ft)	GPM	Caudal Calculado (GPM)	Error (%)
9	212.00	60.00	60.34	0.56%
10	206.50	70.00	68.91	-1.56%
11	197.50	80.00	81.66	2.07%
12	191.50	90.00	89.32	-0.75%
13	182.50	100.00	99.70	-0.30%
14	172.86	110.00	109.52	-0.44%
15	160.00	120.00	121.09	0.90%
16	150.00	130.00	129.43	-0.44%
17	137.50	140.00	139.94	-0.04%
18	130.00	146.67	146.75	0.06%

Anexo G

Gráficas de ajuste para la curva Altura vs Caudal de la bomba de agua secundaria.



a) Ajuste cuadrático con $R^2=0.989E-1$



b) Ajuste cúbico con $R^2=0.993E-1$

Anexo H

Error porcentual de la ecuación 2.5 para la gráfica H vs Q parte 1 de la bomba de agua secundaria de 2 hp.

No.	Altura teórica (ft)	GPM	Altura calculada (ft)	Error (%)
1	116.00	0.00	115.38	-0.53%
2	115.88	2.50	115.66	-0.19%
3	115.75	5.00	115.85	0.09%
4	115.60	7.50	115.95	0.30%
5	115.48	10.00	115.96	0.42%
6	115.35	12.50	115.88	0.46%
7	115.23	15.00	115.70	0.41%
8	115.10	17.50	115.42	0.28%
9	114.98	20.00	115.05	0.06%
10	114.73	22.50	114.57	-0.14%
11	114.48	25.00	113.98	-0.43%
12	114.00	27.50	113.28	-0.63%
13	113.25	30.00	112.48	-0.68%
14	112.00	32.50	111.56	-0.39%
15	110.60	35.00	110.53	-0.06%
16	109.50	37.50	109.38	-0.11%
17	108.00	40.00	108.11	0.10%
18	106.50	42.50	106.72	0.21%
19	105.00	45.00	105.21	0.20%
20	103.50	47.50	103.57	0.06%
21	101.50	50.00	101.80	0.29%
22	99.50	52.50	99.89	0.40%
23	97.50	55.00	97.86	0.37%
24	95.50	57.50	95.69	0.20%
25	93.00	60.00	93.38	0.41%
26	91.00	62.50	90.93	-0.08%
27	88.50	65.00	88.33	-0.19%
28	86.00	67.50	85.59	-0.47%
29	83.00	70.00	82.71	-0.35%
30	80.00	72.50	79.67	-0.41%
31	76.50	75.00	76.48	-0.02%
32	73.50	77.50	73.14	-0.49%
33	69.00	80.00	69.64	0.92%

Anexo I

Error porcentual de la ecuación 2.6 para la gráfica H vs Q parte 2 de la bomba de agua secundaria de 2 hp.

No.	Altura teórica (ft)	GPM	Altura calculada (ft)	Error (%)
34	64.50	82.50	64.28	0.00
35	59.50	85.00	56.71	-0.05
36	54.00	87.50	53.73	0.00
37	47.00	90.00	48.08	0.02
38	37.50	92.50	32.47	-0.13
39	15.00	94.00	15.29	0.02

Anexo J

Error porcentual de la ecuación 2.7 para la gráfica Q vs H parte 1 de la bomba de agua secundaria de 2 hp.

No.	Caudal teórico (GPM)	Altura (ft)	Caudal Calculado (GPM)	Error (%)
1	0.00	116.00	0.15	
2	2.50	115.88	2.47	-0.01
3	5.00	115.75	4.83	-0.03
4	7.50	115.60	7.69	0.03
5	10.00	115.48	10.11	0.01
6	12.50	115.35	12.55	0.00
7	15.00	115.23	15.02	0.00
8	17.50	115.10	17.52	0.00

Anexo K

Error porcentual de la ecuación 2.8 para la gráfica Q vs H parte 2 de la bomba de agua secundaria de 2 hp.

No.	Caudal teórico (GPM)	Altura (ft)	Caudal Calculado (GPM)	Error (%)
9	20.00	114.98	25.07	0.25
10	22.50	114.73	25.58	0.14
11	25.00	114.48	26.10	0.04
12	27.50	114.00	27.07	-0.02
13	30.00	113.25	28.58	-0.05
14	32.50	112.00	31.04	-0.04
15	35.00	110.60	33.72	-0.04
16	37.50	109.50	35.76	-0.05
17	40.00	108.00	38.46	-0.04
18	42.50	106.50	41.07	-0.03
19	45.00	105.00	43.58	-0.03
20	47.50	103.50	46.00	-0.03
21	50.00	101.50	49.09	-0.02
22	52.50	99.50	52.02	-0.01
23	55.00	97.50	54.81	0.00
24	57.50	95.50	57.45	0.00
25	60.00	93.00	60.55	0.01
26	62.50	91.00	62.87	0.01
27	65.00	88.50	65.60	0.01
28	67.50	86.00	68.13	0.01
29	70.00	83.00	70.92	0.01
30	72.50	80.00	73.45	0.01
31	75.00	76.50	76.10	0.01
32	77.50	73.50	78.13	0.01
33	80.00	69.00	80.80	0.01
34	82.50	64.50	83.05	0.01
35	85.00	59.50	85.13	0.00
36	87.50	54.00	86.97	-0.01
37	90.00	47.00	88.80	-0.01
38	92.50	37.50	90.69	-0.02
39	94.00	15.00	94.97	0.01

Anexo L

Especificaciones técnicas del analizador de redes eléctricas AEMC 3945-B

ESPECIFICACIONES	
MODELO	3945-B
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Tasa de muestreo	256 muestras/ciclo
Almacenamiento de datos	4 MB con partición para función de impresión de pantalla, transitorios, alarmas y registro de tendencias
Tensión (TRMS)	Fase - Fase: 960 V, Fase - Neutro: 480 V
Corriente (TRMS)	Pinza MN: 5 mA a 6 A/1 a 120 A Pinza MR: 10 a 1000 Aca, 10 a 1400 Acc Pinza SR: 3 a 1200 A MiniFlex®: 10 a 1000 A AmpFlex®: 10 a 6500 A ⁽¹⁾
Frecuencia (Hz)	40 a 69 Hz
Otras mediciones	kW, kVAR, factor de potencia (PF), factor de potencia de desplazamiento (FPD), kWh, kVARh, kVAh, factor K, flicker
Armónicos	1º a 50º, dirección, secuencia
Fuente de alimentación	Conjunto de baterías de NiMH de 9,6 V recargables (incluido) Fuente de CA: 110/230 Vca ±20% (50/60 Hz)
Autonomía de la batería	≥ Ocho horas con la pantalla encendida; ≤35 horas con la pantalla apagada (modo de registro)
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Puerto de comunicaciones	RS-232 con acoplamiento óptico
Pantalla	LCD a color ¼ VGA (320 x 240)
Dimensiones	240 x 180 x 55 mm (9,5 x 7 x 2 pulg.)
Peso	2,1 kg (4,6 lbs)
Clasificación de seguridad	EN 61010, 600 V CAT IV ⁽²⁾ , 1000 V CAT III, Grado de contaminación ambiental 2

⁽¹⁾Factor de cresta a 6500 = 1

⁽²⁾Cuando se usa con sondas SR193 o AmpFlex®.
600 V CAT III con sondas MN193 o MR193.

Anexo M

Registro de medición de potencia del ascensor 1 (08h00 – 08h15)

Hora	(Watts)			P. Total
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
8:00:00	89.88	82.96	381.94	554.78
8:00:05	2149.48	1995.69	2641.71	6786.88
8:00:10	491.31	333.51	810.76	1635.57
8:00:15	434.72	275.25	746.49	1456.46
8:00:20	488.11	425.45	922.98	1836.53
8:00:25	108.8	101.65	416.69	627.14
8:00:30	1845.9	1709.49	2448.63	6004.02
8:00:35	409.58	391.21	731.43	1532.22
8:00:40	77.77	71.12	384.91	533.8
8:00:45	71.08	64.46	377.87	513.41
8:00:50	1681.44	1546.93	2285.37	5513.74
8:00:55	343.96	324.72	682.98	1351.66
8:01:00	80.75	73.92	397.06	551.74
8:01:05	70.3	62.45	385.6	518.35
8:01:10	2484.25	2676.57	2921.62	8082.44
8:01:15	1811.84	1719.59	2184.17	5715.6
8:01:20	1730.01	1649.84	2119.33	5499.18
8:01:25	1665.38	1595.71	2055.88	5316.97
8:01:30	1283.75	1370.65	1656.82	4311.22
8:01:35	772.47	758.92	1024.7	2556.1
8:01:40	75.67	68.92	291.74	436.33
8:01:45	55.66	45.77	263.88	365.32
8:01:50	78.23	61.49	265.01	404.73
8:01:55	91.56	89.06	388.97	569.59
8:02:00	59.47	52.95	351.91	464.32
8:02:05	481.55	428.02	932.11	1841.68
8:02:10	2052.92	1907.6	2415.29	6375.81
8:02:15	607.09	449.66	944.87	2001.61
8:02:20	478.37	321.23	914.62	1714.22
8:02:25	472.36	455.95	806.58	1734.89
8:02:30	77.58	70.47	389.41	537.47
8:02:35	70.79	64.29	382.84	517.93
8:02:40	1653.51	1557.26	2151.11	5361.89
8:02:45	141.79	25.23	580.83	747.85
8:02:50	224	216.01	550.49	990.5
8:02:55	59.02	51.39	376.28	486.7
8:03:00	99.16	92.45	424.52	616.13
8:03:05	100.83	94.05	430.15	625.02

8:03:10	2668.51	2840.55	3111.28	8620.34
8:03:15	1801.56	1706.46	2180.85	5688.88
8:03:20	1724.02	1634.46	2105.27	5463.76
8:03:25	1663.29	1577.02	2053.88	5294.2
8:03:30	1208.81	1289.3	1568.19	4066.29
8:03:35	694.28	680.38	944.32	2318.97
8:03:40	72	64.9	294.23	431.12
8:03:45	61.64	54.41	343.34	459.4
8:03:50	64.33	57.68	362.79	484.8
8:03:55	64.4	57.99	363.02	485.41
8:04:00	88.83	82.35	388.49	559.66
8:04:05	2253.19	2105.74	2764.96	7123.89
8:04:10	641.95	481.12	979.96	2103.03
8:04:15	569.4	403.94	904.87	1878.22
8:04:20	520.36	355.31	845.44	1721.12
8:04:25	480.49	389.35	921.27	1791.11
8:04:30	195.67	186.06	516.17	897.9
8:04:35	58.4	52.04	371.61	482.05
8:04:40	95.24	89.03	409.17	593.44
8:04:45	3478.11	3572.76	3915.68	10966.55
8:04:50	1776.14	1650.3	2121.32	5547.77
8:04:55	1709.08	1578.04	2057.61	5344.73
8:05:00	1664.59	1531.08	2003.9	5199.57
8:05:05	856.06	956.47	1208.75	3021.28
8:05:10	333.38	322.63	635.29	1291.31
8:05:15	61.72	55.43	356.58	473.73
8:05:20	70.79	64.52	368.15	503.46
8:05:25	2224.09	2143.06	2721.87	7089.03
8:05:30	1327.46	1182.7	1664.97	4175.14
8:05:35	1193.57	1053.22	1530.53	3777.32
8:05:40	867.12	738.58	1300.1	2905.8
8:05:45	505.8	490.76	834.08	1830.63
8:05:50	93.06	86.95	404.57	584.57
8:05:55	1864.64	1740.93	2467.16	6072.72
8:06:00	413.37	398.14	738.6	1550.11
8:06:05	105.54	100.12	411.51	617.17
8:06:10	1855.33	1722.94	2468.68	6046.95
8:06:15	286.77	274.34	624.36	1185.47
8:06:20	58.88	52.36	381.85	493.09
8:06:25	85.89	79.95	406.5	572.34

Hora	(Watts)			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	P. Total
8:06:30	3091.3	3239.85	3537.12	9868.26
8:06:35	1786.7	1673.38	2154.01	5614.1
8:06:40	1694.76	1644.41	2046.59	5385.76
8:06:45	1645.91	1566.56	2015.57	5228.04
8:06:50	1024.33	1116.18	1408.99	3549.5
8:06:55	515.16	511.58	837.89	1864.63
8:07:00	65.4	59.04	362.23	486.67
8:07:05	1140.28	1083.14	1606.93	3830.35
8:07:10	1377.84	1244.21	1724.67	4346.72
8:07:15	563.13	414.9	894.32	1872.35
8:07:20	508.44	433.04	947.37	1888.85
8:07:25	157.04	152.58	473.27	782.89
8:07:30	1823.14	1744.59	2316.62	5884.35
8:07:35	323.23	195.99	748.09	1267.3
8:07:40	336.35	326.38	650.39	1313.12
8:07:45	98.8	92.4	397.02	588.22
8:07:50	1899.78	1759.2	2511.41	6170.39
8:07:55	195.88	188.49	510.37	894.75
8:08:00	57.93	51.22	364.2	473.36
8:08:05	92.74	87.03	400.55	580.32
8:08:10	3406.73	3530.29	3849.99	10787.01
8:08:15	1764.93	1665.15	2133.29	5563.38
8:08:20	1690.65	1602.35	2072.42	5365.42
8:08:25	1639.29	1560.04	2020.6	5219.92
8:08:30	881.78	995.82	1241.23	3118.83
8:08:35	365.83	359.72	670.7	1396.26
8:08:40	94.36	88.09	385.87	568.32
8:08:45	1928.32	1755.7	2427.46	6111.49
8:08:50	216.79	56	532.18	804.97
8:08:55	340.23	240.88	770.9	1352.01
8:09:00	196.21	187.52	507.46	891.2
8:09:05	56.97	50.33	361.65	468.95
8:09:10	92.05	86.16	398.12	576.33
8:09:15	1569.2	1375.78	2054.15	4999.14
8:09:20	119.31	-6.7	542.58	655.19
8:09:25	232.92	223.04	550.7	1006.66
8:09:30	57.49	51.01	364.26	472.76
8:09:35	88.16	82.09	396.18	566.43
8:09:40	2678.86	3001.42	3142.18	8822.46
8:09:45	706.74	697.65	1036.57	2440.95
8:09:50	76.07	69.78	375.15	521
8:09:55	71.29	64.83	370.21	506.33

8:10:00	1696.03	1574.25	2287.17	5557.45
8:10:05	321.78	306.47	657.06	1285.31
8:10:10	78.92	72.53	386.92	538.37
8:10:15	70.98	64.62	378.82	514.43
8:10:20	2536.05	2704.09	2949.91	8190.05
8:10:25	1805.75	1697.46	2160.13	5663.34
8:10:30	1721.58	1626.62	2093.59	5441.79
8:10:35	1653.77	1572.47	2035.47	5261.71
8:10:40	1622.44	1544.25	2003.63	5170.32
8:10:45	1559.79	1481.34	1951.36	4992.49
8:10:50	907.16	1014.55	1312.34	3234.04
8:10:55	180.82	174.51	499.64	854.97
8:11:00	74.26	68.05	385.21	527.52
8:11:05	1949.26	1841.28	2447.66	6238.21
8:11:10	429.13	268.42	852.79	1550.35
8:11:15	440.16	426.53	754.77	1621.46
8:11:20	81.69	75.08	372.4	529.16
8:11:25	64.31	57.5	354.29	476.1
8:11:30	72.21	65.83	362.66	500.71
8:11:35	82.92	77.14	373.89	533.94
8:11:40	2508.82	2386.86	3017.59	7913.27
8:11:45	1119.11	976.38	1459.37	3554.86
8:11:50	1041.2	895.67	1378.4	3315.28
8:11:55	678.38	589.11	1115.25	2382.74
8:12:00	278.45	270.62	595.5	1144.57
8:12:05	57.94	51.74	361.76	471.45
8:12:10	58.8	52.66	362.73	474.19
8:12:15	92.68	87.17	398.15	577.99
8:12:20	2102.59	1972.62	2724.61	6799.83
8:12:25	291.63	283.14	603.13	1177.89
8:12:30	606.09	542.75	1061.83	2210.67
8:12:35	1430.08	1356.85	1889.55	4676.47
8:12:40	169.54	163.11	481.17	813.81
8:12:45	58.07	51.82	364.19	474.09
8:12:50	182.33	263.33	510.97	956.63
8:12:55	3428.54	3458.25	3852.12	10738.91
8:13:00	1763.04	1658.04	2131.07	5552.15
8:13:05	1694.36	1588.92	2069.98	5353.26
8:13:10	1645.64	1541.52	2016.62	5203.78
8:13:15	829.13	943.63	1204.56	2977.32
8:13:20	305.1	298.27	609.45	1212.82
8:13:25	87.21	80.6	380.18	547.99
8:13:30	1883	1741.5	2372.1	5996.6
8:13:35	203.43	49.08	516.71	769.22

	(Watts)			
Hora	Fase 1	Fase 2	Fase 3	P. Total
8:13:40	152.3	-2.82	461.83	611.3
8:13:45	107.88	-51.98	415.81	471.72
8:13:50	109.69	-49.54	533.49	593.64
8:13:55	350.78	337.84	674.89	1363.52
8:14:00	71.28	65.22	376.89	513.39
8:14:05	75.25	69.15	380.9	525.3
8:14:10	2733.43	2891.91	3157.99	8783.33
8:14:15	1813.29	1703.06	2154	5670.36

8:14:20	1294.43	1360.3	1681.14	4335.87
8:14:25	726.29	716.22	1084.73	2527.24
8:14:30	82.91	76.73	409.57	569.21
8:14:35	72.24	65.35	397.14	534.73
8:14:40	2417.03	2610.09	2853.41	7880.52
8:14:45	1699.04	1592.04	2078.73	5369.81
8:14:50	974.76	1075.18	1387.69	3437.63
8:14:55	453.31	448.01	800.5	1701.82
8:15:00	79.33	73.53	398.42	551.28

Anexo N

Registro de medición de potencia del ascensor 2 (08h00 – 08h15)

Hora	(Watts)			P. Total
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
8:00:00	338.99	56.04	58.7	453.73
8:00:05	353.8	70.16	71.61	495.57
8:00:10	3331.06	2731.58	2823.95	8886.59
8:00:15	1594.35	1389.27	1450.5	4434.12
8:00:20	1332.41	979.2	975.77	3287.38
8:00:25	858.39	545.85	548.84	1953.08
8:00:30	2532.79	1865.08	1937.74	6335.61
8:00:35	1038.88	633.88	599.99	2272.75
8:00:40	471.71	153.05	152.55	777.3
8:00:45	2324.76	1656.87	1723.8	5705.42
8:00:50	1045.29	647.3	617.99	2310.58
8:00:55	465.56	151.96	155.2	772.72
8:01:00	2232.98	1572.31	1642.22	5447.52
8:01:05	822.31	411.57	375.69	1609.57
8:01:10	401.34	82.02	81.41	564.77
8:01:15	375.59	56.52	59.53	491.64
8:01:20	2766.49	2541.24	2840.6	8148.32
8:01:25	2003.94	1794.71	1846.99	5645.65
8:01:30	1937.72	1721.45	1774.35	5433.53
8:01:35	1853.1	1645.36	1690.69	5189.16
8:01:40	1452.45	1191.08	1358.61	4002.15
8:01:45	967.07	700.83	700.15	2368.05
8:01:50	355.52	72.66	73.26	501.44
8:01:55	348.6	65.47	64.75	478.83
8:02:00	2736.94	2140.2	2227.85	7104.98
8:02:05	1026.28	828.03	875.1	2729.4
8:02:10	965.6	763.57	809.6	2538.77
8:02:15	920.38	534.14	505.12	1959.64
8:02:20	517.54	201.92	205.47	924.93
8:02:25	390.51	73.41	76.31	540.23
8:02:30	2560.52	1797.6	1833.13	6191.25
8:02:35	580.29	265.31	269.58	1115.18
8:02:40	1323.15	642.24	697.96	2663.35
8:02:45	1396.92	1065.7	1053.58	3516.19
8:02:50	628.67	323.86	321.44	1273.97
8:02:55	378.11	64.63	63.29	506.03
8:03:00	379.08	66.21	64.81	510.1
8:03:05	3204.8	3022.6	3327.1	9554.5

8:03:10	1993.43	1788.38	1851.59	5633.4
8:03:15	1924.78	1724.56	1788.05	5437.4
8:03:20	1855.71	1659.1	1719.64	5234.45
8:03:25	1772.83	1598.89	1657.08	5028.8
8:03:30	898.19	683.37	810.86	2392.42
8:03:35	387.64	191.72	190.35	769.71
8:03:40	244.21	44.14	46.94	335.29
8:03:45	237.21	65.12	52.84	355.17
8:03:50	213.06	45.17	30.95	289.18
8:03:55	213.04	45.6	33.78	292.42
8:04:00	261.86	59.31	54.13	375.3
8:04:05	356.62	70.73	71.89	499.23
8:04:10	2266.61	1630.11	1698.95	5595.67
8:04:15	445.58	237.08	276.45	959.11
8:04:20	367.22	158.52	197.07	722.8
8:04:25	315.33	106.94	145.57	567.84
8:04:30	522.78	162.15	143.34	828.27
8:04:35	620.12	298.09	299.13	1217.33
8:04:40	378.15	53.83	54.67	486.65
8:04:45	400.19	76.11	77.17	553.47
8:04:50	3493.98	3311.62	3635.22	10440.82
8:04:55	1960.38	1743.04	1788.61	5492.04
8:05:00	1895.1	1679.57	1726.19	5300.86
8:05:05	1826.05	1619.47	1663.37	5108.89
8:05:10	1040.68	833.82	974.5	2849
8:05:15	539.87	342.17	339.4	1221.44
8:05:20	246.94	44.51	47.72	339.17
8:05:25	245.97	65.5	57.21	368.68
8:05:30	213.77	45.66	32.39	291.82
8:05:35	214.84	46.18	31.8	292.82
8:05:40	215.6	46.15	30.52	292.27
8:05:45	214.5	45.29	33.72	293.52
8:05:50	214.3	46.2	32.24	292.74
8:05:55	1895.17	1336.08	1384.58	4615.83
8:06:00	903.49	504.49	471.55	1879.53
8:06:05	461.41	140.98	144.64	747.03
8:06:10	373.93	54.15	53.95	482.03
8:06:15	392.61	71.29	69.8	533.7
8:06:20	2607.67	2011.46	2084.58	6703.71
8:06:25	686.83	486.1	504.2	1677.13

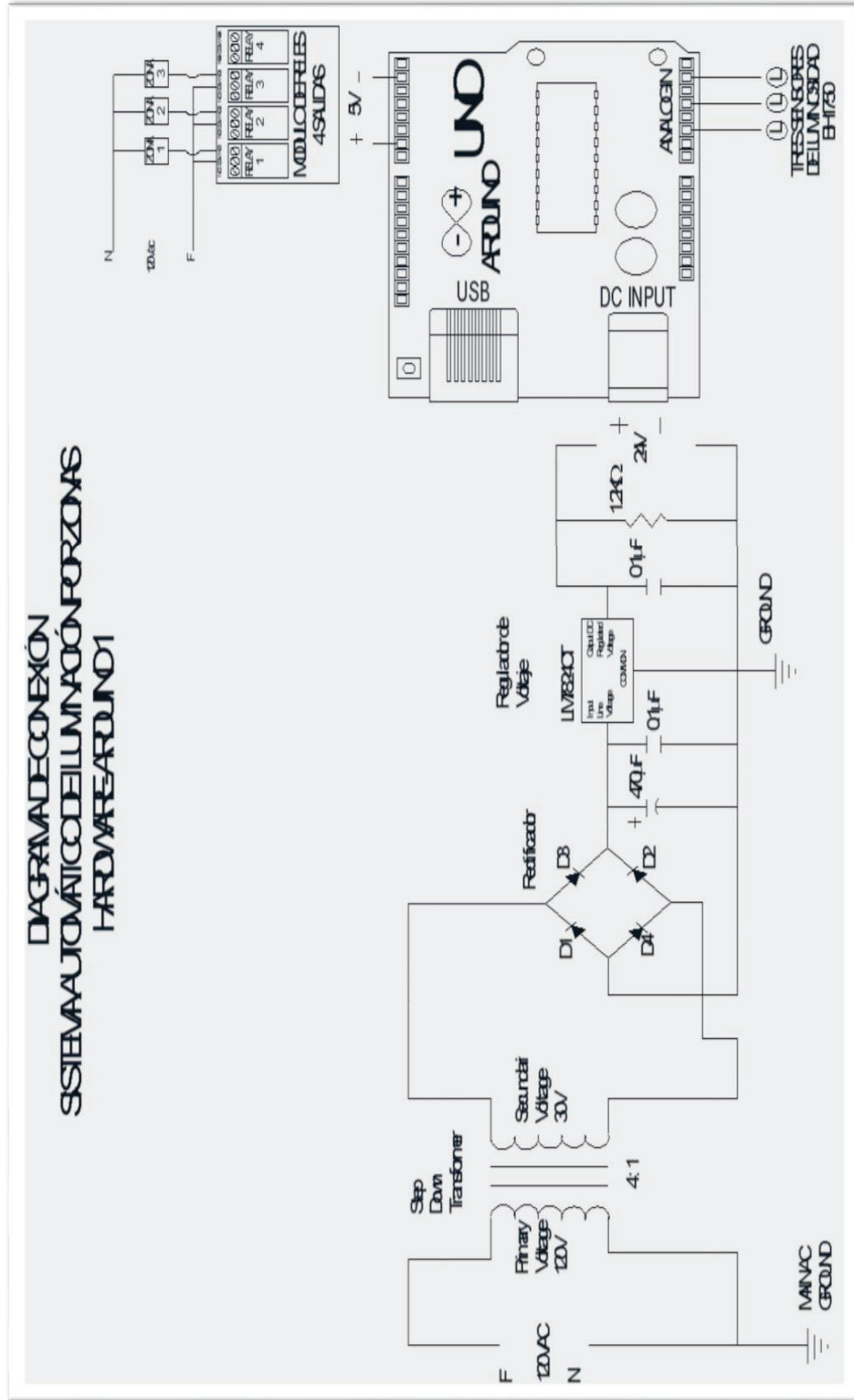
Hora	(Watts)			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	P. Total
8:06:30	813.03	433.38	402.88	1649.3
8:06:35	527.59	214.27	213.48	955.33
8:06:40	371.65	53.43	52.02	477.11
8:06:45	2037.41	1368.75	1437.09	4843.26
8:06:50	861.98	457.51	422.43	1741.91
8:06:55	409.57	88.67	87.29	585.52
8:07:00	374.82	54.01	52.49	481.32
8:07:05	2599.53	2318.14	2763.41	7681.09
8:07:10	1102.18	805.15	792.25	2699.59
8:07:15	484.15	165.46	166.34	815.94
8:07:20	376	54.51	55.74	486.26
8:07:25	2269.6	2037.19	2312.83	6619.62
8:07:30	1269.6	1059.3	1087.4	3416.31
8:07:35	1189.54	980.83	1002.5	3172.87
8:07:40	1143.42	962.16	982.16	3087.73
8:07:45	1104.64	902.93	926.46	2934.04
8:07:50	878.56	538.47	665.35	2082.38
8:07:55	431.74	108.59	109.96	650.3
8:08:00	377.23	54.99	55.23	487.45
8:08:05	2273.06	1611.7	1682.37	5567.13
8:08:10	467.36	151.36	125.69	744.42
8:08:15	626.08	339.05	340.55	1305.68
8:08:20	356.7	70.01	69.17	495.88
8:08:25	365.67	78.34	76.56	520.57
8:08:30	2832.35	2235.65	2330.71	7398.71
8:08:35	866.25	663.25	702.59	2232.08
8:08:40	906.29	528.2	501.97	1936.46
8:08:45	602.48	283.54	287.17	1173.18
8:08:50	378.52	57.13	56.63	492.28
8:08:55	1284.73	607.44	656.76	2548.93
8:09:00	1687.5	1347.95	1327.7	4363.16
8:09:05	715.1	404.06	404.61	1523.77
8:09:10	400.72	80.25	81.23	562.2
8:09:15	2419.54	1652.96	1670.48	5742.98
8:09:20	624.65	306.25	304.62	1235.51
8:09:25	375.42	53.54	51.89	480.86
8:09:30	396.46	74.47	76.99	547.92
8:09:35	3472.44	3301.6	3594.68	10368.73
8:09:40	1956.8	1755.46	1783.39	5495.65
8:09:45	1889.74	1690.03	1718.31	5298.09
8:09:50	1820.33	1626.06	1653.99	5100.38
8:09:55	1044.58	846.79	980.15	2871.52

8:10:00	547.36	354.91	349.78	1252.05
8:10:05	245.86	43.95	45.39	335.2
8:10:10	245.14	65.8	56.95	367.9
8:10:15	214.46	45.98	30.58	291.02
8:10:20	214.22	45.34	33.34	292.9
8:10:25	214.66	46.1	31.78	292.55
8:10:30	214.17	46.31	32.27	292.75
8:10:35	214.7	46.04	30.67	291.42
8:10:40	213.99	45.31	32.42	291.71
8:10:45	213.83	46.01	31.84	291.68
8:10:50	213.6	45.97	31.47	291.04
8:10:55	214.45	45.87	30.34	290.66
8:11:00	2422.36	2264.74	2540.88	7227.97
8:11:05	1695.08	1442.92	1623.11	4761.12
8:11:10	1051.64	754.49	737.94	2544.07
8:11:15	430.8	110.82	109.67	651.3
8:11:20	2412.26	1781.01	1851.52	6044.78
8:11:25	562.05	384	420.52	1366.57
8:11:30	517.45	329.11	361.41	1207.97
8:11:35	438.77	244.79	274.62	958.19
8:11:40	408.09	215.98	251.03	875.1
8:11:45	678.25	307.48	280.16	1265.89
8:11:50	531.98	215.64	217.68	965.31
8:11:55	372.96	53.51	54.18	480.66
8:12:00	1804.84	1131.55	1186.2	4122.6
8:12:05	1055.81	664.14	623.61	2343.57
8:12:10	429.21	109.03	109.15	647.39
8:12:15	372.09	53.02	51.56	476.67
8:12:20	2578.99	2351.17	2628.19	7558.35
8:12:25	1072.39	732.61	865.97	2670.98
8:12:30	541.01	223.52	224.61	989.14
8:12:35	2386.18	2156.24	2433.07	6975.49
8:12:40	1032.67	700.33	830.92	2563.91
8:12:45	519.75	203.13	206.74	929.62
8:12:50	1804.74	1561.66	1832.77	5199.17
8:12:55	1419	1203.54	1254.33	3876.87
8:13:00	1042.98	832.6	891.35	2766.93
8:13:05	852.15	520.95	650.64	2023.74
8:13:10	444.81	125.41	130.75	700.98
8:13:15	2342.91	2141.06	2562.35	7046.32
8:13:20	747.35	566.69	557.76	1871.8
8:13:25	257.84	57.95	56.79	372.58
8:13:30	243.2	51.38	47.08	341.67
8:13:35	223.18	56.37	47.02	326.57

	(Watts)			
Hora	Fase 1	Fase 2	Fase 3	P. Total
8:13:40	263.43	60.5	57.24	381.17
8:13:45	356.79	75.68	75.67	508.14
8:13:50	2336.67	1745.6	1826.49	5908.76
8:13:55	422.6	241.56	273.71	937.88
8:14:00	377.72	188.82	226.46	793.01
8:14:05	320.2	135.6	167.55	623.35
8:14:10	419.69	142.37	124.74	686.8
8:14:15	535.96	319.31	318.9	1174.17
8:14:20	277.32	50	51.44	378.75
8:14:25	2191.63	2000.24	2267.7	6459.57
8:14:30	1775.75	1604.21	1649.3	5029.27
8:14:35	1640.54	1462.46	1506.99	4609.99
8:14:40	1583.9	1405.64	1447.19	4436.73
8:14:45	1504.23	1319.3	1369.54	4193.06
8:14:50	1090.93	834.75	989.86	2915.53
8:14:55	712.64	448.78	444.89	1606.32
8:15:00	338.42	55.37	54.28	448.08

Anexo O

Diagrama de conexión del hardware ARDUINO UNO

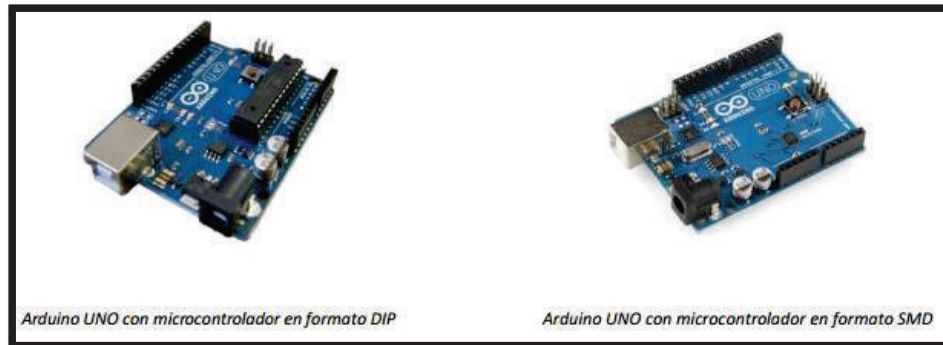


Anexo P

Características del ARDUINO UNO

Arduino es una placa con un microcontrolador de la marca ATMEL y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB (En los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip. Un Arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V. También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM. Arduino UNO es la última versión de la placa, existen dos variantes, la Arduino UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan.

- La primera es un microcontrolador ATMEGA en formato DIP.
- Y la segunda dispone de un microcontrolador en formato SMD.



ENTRADAS Y SALIDAS

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA. Cada uno de los pines digitales dispone de una resistencia de pull-up interna de entre 20 k Ω y 50 k Ω que está desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario. Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un convertor analógico/digital de 10 bits.

PINES ESPECIALES DE ENTRADA Y SALIDA



- RX y TX: Se usan para transmisiones serie de señales TTL.
- Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 están configurados para generar una interrupción en el ATMEGA. Las interrupciones pueden dispararse cuando se encuentra un valor bajo en estas entradas y con flancos de subida o bajada de la entrada.
- PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generación de señales PWM de hasta 8 bits.
- SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar información full dúplex en un entorno Maestro/Esclavo.
- I 2C: Permite establecer comunicaciones a través de un bus I 2C. El bus I 2C es un producto de Phillips para interconexión de sistemas embebidos. Actualmente se puede encontrar una gran diversidad de dispositivos que utilizan esta interfaz, desde pantallas LCD, memorias EEPROM, sensores. (ARDUINO, 2014)

Las Especificaciones técnicas del ARDUINO UNO se muestran en el siguiente recuadro.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Limite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Anexo Q

Planillas de consumo de energía eléctrica meses junio y agosto 2016.

 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO Las Casas E1-24 y Av. 10 de Agosto R.U.C.: 1790053881001 CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCIÓN N°: 5369	Factura No. 001-999-000290044	 No. de Control: 9000010209-01 Valor a pagar: 8224.38
	Número de autorización 1207201623085317900538810018751274074	
Fecha de Emisión: 12/07/2016	Fecha de Vencimiento: INMEDIATO	

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 90000102-9 SECAP. DIRECCION NACIONAL
 Código Único Eléctrico Nacional: 1490000102 Cédula / R.U.C.: 1768041140001 Cod. Postal: 170514
 Dirección servicio: JOSE ARIZAGA E3-24 PB LONDRES IÑAQUITO
 Plan/Geocódigo: 96 98-07-096-2080 Tarifa: 408-Oficiales Dem.Reg.Horario(Media Tension)
 Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - EL BATAN
 Dirección notificación: 97-01-041-0070 Geocódigo postal:
 Ejecutivo de cuenta: JOSE FERNANDO BASTIDAS QUINALUISA

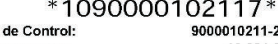
1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 50000509-ABB Desde: 10/06/2016 Hasta: 08/07/2016 Días Facturados: 28 Tipo Consumo: Leido Constante: 1,00
 Factor de multiplicación: 545,45 Factor Corrección: 0,60 Factor Potencia: 1,00 Penalización FP: 0

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
07h00-22h00	3898.43	3836.38	16585	kWh	1114.18
22h00-07h00	1868.24	1859.71	4680	kWh	282.08
Reactiva	86.21	86.20	5	kVArh	
Demanda 18h00 - 22h00	0.10		55	kW	
Demanda 22h00 - 18h00	0.20		106	kW	
Demanda Máxima			109	kW	
Demanda Máxima en pico			55	kW	
Demanda Facturable			109	kW	

1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
VALOR CONSUMO	1376.26
DEMANDA	270.04
COMERCIALIZACION	1.41
I.V.A. (0%)	0.00
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	1647.71
SERV ALUM.PUB	128.52
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	128.52
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
SUBTOTAL OTROS:	0.00
TOTAL SE Y AP Y OTROS (1):	1776.23

a) Planilla eléctrica junio 2016 (\$1,776.23)

Factura No. 001-999-000436533	 * 1090000102117 * No. de Control: 9000010211-24 Valor a pagar: 12,284.32
N° Autorización: 0609201623384717900538810010322200146	
Fecha de Emisión: 2016-09-06	Fecha de Vencimiento: INMEDIATO

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 90000102-9 SECAP. DIRECCION NACIONAL
 Código Único Eléctrico Nacional: 1490000102 Cédula / R.U.C.: 1768041140001 Código Postal: 170514
 Dirección servicio: JOSE ARIZAGA E3-24 PB LONDRES IÑAQUITO Ext. 131 / 152
 Plan/Geocódigo: 96 98-07-096-2080 Tarifa: 408-Oficiales Dem.Reg.Horario (Media Tension) 2016-09-06 5
 Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - EL BATAN
 Dirección notificación: JOSE ARIZAGA E3-24 6 LONDRES Y JORGE DROM IÑAQUITO Geocódigo Postal: 97-01-041-0070
 Ejecutivo de cuenta: JOSE FERNANDO BASTIDAS QUINALUISA Telfs: 2553010/2542860 ext: 3713 e_mail:fbastidas@eeq.com.ec

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 50000509-ABB-PP Desde: 2016-08-05 Hasta: 2016-09-02 Días Facturados: 28 Tipo consumo: Leido Constante: 1.00
 Factor multiplicación: 545.45 Factor Corrección: 0.60 Factor Potencia: 1.00 Penalización Fp: 0.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
07h00-22h00	3926.20	3896.94	15980	kWh	1085.28
22h00-07h00	1885.74	1876.88	4833	kWh	270.65
Reactiva	86.21	86.21	0	kVArh	0
Demanda 18h00 - 22h00	0.10		55	kW	0
Demanda 22h00 - 18h00	0.20		106	kW	0
Demanda Máxima			109	kW	0
Demanda Máxima en pico			55	kW	0
Demanda Facturable			109	kW	0

1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
VALOR CONSUMO:	1,355.93
DEMANDA	270.04
COMERCIALIZACION	1.41
I.V.A. (0%)	0.00
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	1,627.38
SERV ALUM.PUB	126.94
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	126.94
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
SUBTOTAL OTROS:	0.00
TOTAL SE, AP Y OTROS (1):	1,754.32

b) Planilla eléctrica agosto 2016 (\$1,754.32)