



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. IDENTIFICACIÓN
DE LOS FLUJOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS**

Manuel Humberto Cazali Girón

Asesorado por Ing. José Manuel Tay Oroxom

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. IDENTIFICACIÓN
DE LOS FLUJOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MANUEL HUMBERTO CAZALI GIRÓN

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL TAY OROXOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADORA	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADORA	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de julio de 2009.



Manuel Humberto Cazali Girón

Guatemala, 25 de abril de 2011

Ingeniero

Williams Guillermo Álvarez

Director de Escuela de Ingeniería Química

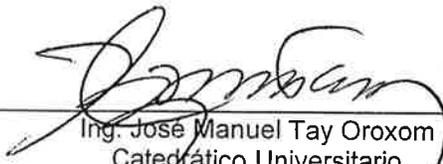
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Williams Álvarez

Por este medio le envío mi dictamen de aprobación del informe final de trabajo de graduación titulado: **“CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS”**. Trabajo final de graduación que podrá continuar el proceso tras la aprobación de la terna evaluadora por el estudiante universitario **MANUEL HUMBERTO CAZALI GIRÓN** con carné No. **200412277**, quien cursa la Carrera de Ingeniería Química y es asesorado por mi persona.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su colaboración.


Ing. José Manuel Tay Oroxom
Catedrático Universitario
Laboratorio de Operaciones Unitarias
Universidad de San Carlos de Guatemala.

José Manuel Tay Oroxom
Ma. Ingeniero Químico
Colegiado No. 121



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 14 de octubre de 2011
Ref.EIQ.TG.205.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-0802010-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario, Manuel Humberto Cazali Girón, identificado con carné No. 200412277, titulado: "CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS Y PROPUESTA DE MEJORAS", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico José Manuel Tay Oroxom.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante Cazali Girón, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Inga. Teresa Elisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **MANUEL HUMBERTO CAZALI GIRÓN** titulado: **"CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


 Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejia; C.Dr.
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril de 2012

Cc: Archivo
 WGAM/ale



DTG. 169.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS**, presentado por el estudiante universitario **Manuel Humberto Cazali Girón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 20 de abril de 2012.

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme todo su amor, bendición y cuidado durante toda mi vida.
Mi madre	Por apoyarme de manera incondicional durante toda mi vida, por alentarme a seguir y por siempre velar por mi bienestar. Madre te amo.
Mi hermana	Por siempre querer mi bien, darme todo su apoyo y por estar siempre a mi lado.
Mi sobrina	Por brindarme su amor sincero y puro, eres mi alegría.
Mi padre	Por ser mi amigo en todo momento, cuidarme y protegerme.
Mi novia	Rocío Reyna, por ser mi compañera, darme tu amor y ser mi ejemplo a seguir.
Mi abuela	Blanca Letrán, por su educación para la vida, gracias por tu amor y entrega.
Mi abuelos	Ana y Victor, gracias por apoyarme en cada etapa de mi vida.

Mi tía

Lorena Girón, gracias porque siempre conté con tu apoyo, gracias por tratarme como un hijo más.

Mi tío

Luis Carrillo, por tu apoyo incondicional y atención en cada etapa de mi vida.

Mi tía

Yolanda Letrán, gracias por siempre darme ánimos para seguir.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Consumo energético	4
2.2. Eficiencia energética	5
2.3. Cuantificación energética	6
2.4. Recursos materiales para la cuantificación energética	8
2.5. Cálculos financieros	9
2.6. Beneficios de la cuantificación energética	10
2.7. Equipo del laboratorio de operaciones unitarias que consume energía	10
2.7.1. Caldera	11
2.7.1.1. Circulación de la caldera	11
2.7.1.2. Quemadores	12
2.7.1.3. Bomba de combustible	12
2.7.1.4. Impulsor de aire	12
2.7.1.5. Bomba de alimentación de agua	13
2.7.2. Intercambiadores de calor	13

2.7.2.1.	Intercambiador de tubos concéntricos	14
2.7.2.2.	Intercambiador de tubo y coraza	14
2.7.3.	Secador	15
2.7.3.1.	Métodos generales de secado	15
2.7.3.2.	Secador de bandejas	16
2.7.4.	Equipo de destilación	17
2.7.5.	Torre de humidificación	19
2.7.5.1.	Impulsor de aire	20
2.7.5.2.	Bomba de alimentación de agua	20
2.7.5.3.	Intercambiador de calor	20
2.7.5.4.	Bombas y equipo para manejar gases	21
2.7.6.	Bombas centrífugas	22
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	25
3.1.	Variables	25
3.1.1.	Tiempo	25
3.1.1.1.	Tiempo total de práctica	25
3.1.1.2.	Tiempo de utilización de bombas	25
3.1.1.3.	Tiempo de utilización de resistencias	26
3.1.1.4.	Tiempo de utilización de vapor	26
3.1.1.5.	Volumen de combustible	26
3.1.1.6.	Volumen de agua	26
3.1.1.7.	Volumen de condensado	27
3.1.1.8.	Voltaje	27
3.1.1.9.	Corriente eléctrica	27
3.1.1.10.	Número de luminarias	27

3.2.	Delimitación de campo de estudio	28
3.2.1.	Tipo de estudio y diseño general	28
3.2.2.	Universo de estudio, selección y tamaño de muestra, unidad de análisis y observación	28
3.3.	Recursos humanos disponibles	29
3.4.	Recursos materiales disponibles	29
3.4.1.	Equipo de trabajo	29
3.4.2.	Instrumentos de medición	31
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	31
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	32
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	33
3.8.	Análisis estadístico	34
3.8.1.	Media aritmética	34
3.8.2.	Desviación estándar muestral	35
3.8.3.	Incertidumbre de medición	36
4.	RESULTADOS	37
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	75
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	83
	APÉNDICE	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Secador de bandejas	16
2.	Esquemas de bomba centrífuga	22
3.	Esquemas de bomba centrífuga	22
4.	Tubos concéntricos, diagrama de consumo de vapor	38
5.	Concha y tubos, diagrama de consumo de vapor	39
6.	Combustión, diagrama de consumo de vapor	40
7.	Secado, diagrama de consumo de vapor	41
8.	Humidificación, diagrama de consumo de vapor	42
9.	Tubos concéntricos, diagrama de consumo eléctrico	43
10.	Concha y tubos, diagrama de consumo eléctrico	44
11.	Combustión, diagrama de consumo eléctrico	45
12.	Secado, diagrama de consumo eléctrico	46
13.	Humidificación, diagrama de consumo eléctrico	47
14.	Medidores de flujo, diagrama de consumo eléctrico	48
15.	Bomba centrífuga, diagrama de consumo eléctrico	49
16.	Tubería y accesorios, diagrama de consumo eléctrico	50
17.	Luminarias, diagrama de consumo eléctrico	51
18.	Ordenadores portátiles, diagrama de consumo eléctrico	52
19.	Magnitudes de consumo térmico (kJ)	53
20.	Consumo térmico (kJ/h)	54
21.	Magnitudes de consumo eléctrico (kJ)	55
22.	Consumo eléctrico (kw)	56
23.	Magnitudes de consumo térmico máximo (kJ)	57

24.	Magnitudes de consumo eléctrico máximo (kJ)	58
25.	Magnitudes de potencia eléctrica máxima (kwh)	59
26.	Distribución actual de luminarias	62
27.	Distribución adecuada de luminarias	62
28.	Diagrama de vapor	63
29.	Diagrama eléctrico	65
30.	<i>Vortex flowmeter</i>	69
31.	Luminarias con cubre polvo	71
32.	Ventilación natural	73

TABLAS

I.	Relaciones de consumo energético	37
II.	Consumo de combustible diésel	60
III.	Consumo potencia eléctrica máxima	60
IV.	Consumos de potencia promedio	61
V.	Lista de equipos en diagrama de vapor	64
VI.	Lista de equipos en diagrama eléctrico	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h'	Altura del local
d	Altura del plano de trabajo al techo
h	Altura entre el plano de trabajo y las luminarias
d'	Altura entre luminarias y techo
b	Ancho del local
ρ	Coefficiente de reflexión
F_M	Factor de mantenimiento o conservación
F_U	Factor de utilización
Φ_l	Flujo luminoso de una lámpara
Φ_r	Flujo luminoso total
E	Iluminancia media deseada
K	Índice del local
kJ	Kilojoules
a	Largo del local
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
n	Número de lámparas por luminaria
η	Factor de utilización

N	Número de luminarias
S	Superficie del plano de trabajo
U_k	Incertidumbre de medición
T	Tolerancia
x_i	Dato puntual
W	Watts
kWh	Kilowatts hora

GLOSARIO

Balanza	La balanza analítica es un instrumento utilizado en el laboratorio, que sirve para medir la masa. Su característica más importante es que poseen muy poca incertidumbre, lo que las hace ideales para utilizarse en mediciones muy precisas.
Bomba	Máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.
Brida	Elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.
Caldera	Máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

Caudal	Cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
Compresible	Propiedad de la materia a la cual se debe que todos los cuerpos disminuyan de volumen al someterlos a una presión o compresión determinada manteniendo constantes otros parámetros.
Compresores	Máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como los gases y los vapores.
Conducción	Mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.
Convección	Es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Los materiales fluidos, al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, su densidad disminuye y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.

Densidad	Magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.
Destilación	Operación de separar, mediante vaporización y condensación, los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición (temperaturas de ebullición) de cada una de las sustancias.
Ebullición	Proceso físico en el que un líquido pasa a estado gaseoso. Se realiza cuando la temperatura de la totalidad del líquido iguala al punto de ebullición del líquido a esa presión.
Eficiencia	Relación entre la energía útil y la energía invertida.
Fluido	Sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta.
Ignición	Ocurre cuando el calor que emite una reacción llega a ser suficiente como para sostener la reacción química.
Insumo	Recursos de entrada al proceso cuyo flujo de salida es el servicio entregado.

Latente	Energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización).
Pirotubular	Los gases calientes, procedentes de la combustión de un combustible, circulan por el interior de tubos cuyo exterior está bañado por el agua de la caldera.
Quemador	Dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.
Termodinámica	Rama de la física que estudia los efectos de los cambios de magnitudes de los sistemas a un nivel macroscópico. Constituye una teoría fenomenológica, a partir de razonamientos deductivos, que estudia sistemas reales, sin modelizar y sigue un método experimental. Los cambios estudiados son los de temperatura, presión y volumen.
Torre empacada	Son utilizadas para el contacto continuo del líquido y del gas tanto en el flujo a contracorriente como a corriente paralela, son columnas verticales que se han llenado con empaque o con dispositivos de superficie grande. El líquido se distribuye sobre estos y escurre hacia abajo, a través del lecho empacado, de tal forma que expone una gran superficie al contacto con el gas.

Vapor	Estado en el que se encuentra un gas (estado de la materia en el que las moléculas que la forman no reaccionan entre sí formando enlaces moleculares, sino que tienden a repelerse mutuamente, adoptando la forma y el volumen del recipiente que las contiene y tendiendo a separarse, esto es, expandirse, todo lo posible) cuando se encuentra por debajo de su temperatura crítica.
Vaporización	Cambio de estado de líquido a vapor.
Ventiladores	Máquina de fluido concebida para producir una corriente de aire mediante un rodete con aspas que giran produciendo una diferencia de presiones.
Volátil	Medida de la tendencia de una sustancia a pasar a vapor.
Voltaje	Diferencia que hay entre dos puntos en el potencial eléctrico, como el trabajo que se realiza para trasladar una carga positiva de un punto a otro.

RESUMEN

En el trabajo de graduación realizado se cuantificó el consumo energético durante sesiones prácticas de trabajo, se identificaron los flujos energéticos y se presentaron mejoras en el funcionamiento y ambiente de trabajo del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química.

Se realizaron mediciones de diversas variables con el fin de obtener el consumo térmico y eléctrico de los equipos utilizados por los estudiantes, en los cursos prácticos, de tipo laboratorio, impartidos en el área de operaciones unitarias. La cuantificación energética se realizó durante las sesiones prácticas programadas semestralmente, en la que cada grupo de estudiantes, por semana, realizaba el procedimiento experimental asignado, según los objetivos asignados por el personal docente. El consumo de energía térmica se obtuvo directamente del flujo de vapor utilizado para intercambio de calor y la magnitud de energía eléctrica demandada se obtuvo del consumo nominal por cada equipo.

Se obtuvieron perfiles de consumo por práctica, según el tiempo de trabajo y la magnitud energética, gráficos de proporciones de consumos de energía, magnitudes máximas y las rutas energéticas utilizadas en el laboratorio. De esta cuantificación se derivaron, además, costos por consumo de combustible y potencia. El procedimiento experimental se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias localizado en el edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, que se encuentra a una temperatura promedio de 29 °C y a una presión atmosférica de 640 mmHg.

OBJETIVOS

General

Cuantificar la demanda de energía en el laboratorio de operaciones unitarias determinando la demanda directa de energía y derivando consumos de potencia de los equipos.

Específicos

1. Identificar los flujos de energía que satisfacen los diferentes centros de consumo.
2. Cuantificar la demanda real de energía eléctrica y consumo de diésel para producir vapor.
3. Determinar el consumo individual y global de energía, por período de tiempo de los equipos del laboratorio.
4. Determinar el consumo, como potencia, para establecer costos individuales y globales de trabajo.
5. Establecer mejoras en la utilización del vapor, con el objetivo de disminuir el consumo de combustible en el laboratorio.

6. Señalar mejoras en aspectos de reutilización de recursos dentro del laboratorio.

7. Determinar, cuantitativamente, si se cumple con las condiciones de iluminación adecuada dentro del laboratorio.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de graduación realizado trata sobre la cuantificación energética y posibles mejoras en el aprovechamiento de la energía. Además proporciona una caracterización energética del laboratorio y muestra los perfiles de consumo energético para cada equipo o actividad realizada en el mismo.

La confirmación de que el uso eficiente de energía produce beneficios económicos y ambientales, viene estimulando la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y métodos para obtener mejores rendimientos en el uso de los distintos insumos energéticos. Al mismo tiempo, la búsqueda constante de la eficiencia en todos aquellos procesos que utilizan energía, tiene un carácter estratégico al propiciar la reducción del consumo energético y la mejora de garantías y calidad de suministro, dentro de la idea de desarrollo sostenible.

Para detectar las oportunidades que brinda la cuantificación del uso de la energía, se requiere de evaluaciones del estado de los equipos o procesos que la utilicen, tipo de energéticos empleados y hábitos de consumo, todo ello en relación a la valoración y cuantificación del potencial técnico y económico de ahorro de energía.

La mejora de la eficiencia energética en los procesos suele ir asociada con algún tipo de innovación en el propio proceso, la maquinaria o los procedimientos de trabajo. El trabajo de graduación pretende también dejar abierta la posibilidad de analizar mejoras energéticas ligadas a alguna innovación tecnológica, aunque la mayoría de las mejoras en proceso que se consideren tendrán un contenido más convencional.

1. ANTECEDENTES

Los estudios de cuantificación energética de un proceso, actividad industrial o actividad educativa, constituyen una herramienta para la optimización y comprenden el primer paso en la planificación para el mejoramiento de los mismos y permiten determinar las áreas en las que debe disminuirse el consumo de energía.

Trabajos de graduación anteriores se han enfocado en obtener ahorros energéticos, proponiendo ciertos cambios en los procesos. Se realizaron estudios con la finalidad de alcanzar una determinada reducción en el consumo energético de diversos equipos, basándose en el redimensionamiento de las tuberías de vapor, mejoramiento de la utilización del aire acondicionado, establecimiento de procedimientos de capacitación para los trabajadores y procedimientos de mantenimiento de los equipos. Otros estudios se basaron en estudios de la distribución de electricidad y su análisis para la propuesta de mejoras que redujeran el consumo de energía eléctrica.

Actualmente, no existen estudios de cuantificación energética específicos o generales, realizados en el laboratorio de operaciones unitarias en la Escuela de Ingeniería Química, por lo que el trabajo de graduación propuesto, se realiza con la intención de obtener una caracterización y una fuente de información del mismo, para proponer mejoras futuras en la utilización de energía.

2. MARCO TEÓRICO

La energía es la capacidad de hacer trabajo y transferir calor. La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. La energía asociada al movimiento se conoce como energía cinética, mientras que la relacionada con la posición es la energía potencial.

La energía es uno de los recursos más importantes dentro de cualquier proceso productivo, puesto que es uno de los pilares fundamentales por la diversidad de aplicaciones que se pueden obtener con la utilización de la misma, fundamento que se utiliza ampliamente en el laboratorio de operaciones unitarias. En el proceso de transformación puede perderse o ganarse una forma de energía, pero la suma total permanece constante.

Todas las formas de energía tienden a transformarse en calor, que es la forma más degradada de la energía. En los dispositivos mecánicos la energía no empleada para realizar trabajo útil se disipa como calor de rozamiento. Estudios realizados llevaron como conclusión que aunque la energía puede transformarse no se puede crear ni destruir, este concepto conocido como principio de conservación de la energía, constituye uno de los principios básicos de la mecánica clásica.

2.1. Consumo energético

La energía es uno de los recursos más importantes dentro de cualquier proceso de producción, puesto que sin la utilización de la misma sería casi imposible la obtención de productos o servicios.

Los consumos de energía dentro de los procesos de producción muchas veces son sumamente elevados, tanto por exigencias del proceso, como por su mala utilización y es por ello, la importancia de la implementación de planes de acción de ahorro energético que conduzca economías notorias.

Existen varios tipos de energía, así como combustibles que ayudan para la generación de la misma, dentro de los combustibles más utilizados dentro de la industria están el bunker y el diésel los cuales son útiles para la obtención de energía.

Tanto el bunker como el diésel contribuyen notablemente dentro de cualquier proceso productivo y es por ello, que se estudian los consumos de los mismos, de cómo estos cambian notoriamente entre un mes y otro, de cómo los consumos podrían disminuir gracias a la puesta en marcha de un plan de acción de energía.

Los consumos de energía se obtienen por la utilización de diversos instrumentos:

- Cronómetros
- Vatímetros
- Amperímetros
- Balanza

2.2. Eficiencia energética

Eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Se puede optimizar mediante la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en el proceso.

La eficiencia de la energía se puede lograr siempre y cuando se haga el uso adecuado de la misma, lo cual se verá reflejado en una disminución de los costos por la utilización de la misma. Las leyes de la termodinámica estudian precisamente esto, la eficiencia de la energía, desde el punto de vista de conservación y calidad de la energía.

Con la primera ley de la termodinámica se tiene una definición precisa del calor, el cual es otro de los conceptos importantes a tomar en cuenta para la generación de la energía.

Según Cengel, Yunus en su libro “Transferencia de calor y masa”, este primer principio de la termodinámica es una ley de conservación de la energía, la cual afirma que, “la energía no puede crearse ni destruirse, sino solo transformarse” (2007, p. 11) por lo que la cantidad de energía transferida a un sistema en forma de calor, más la cantidad de energía transferida en forma de trabajo sobre el sistema, debe ser igual al aumento de la energía interna del sistema.

El calor y el trabajo son mecanismos por los que los sistemas intercambian energía entre sí. En cualquier máquina, hace falta cierta cantidad de energía para producir trabajo; es imposible que una máquina realice trabajo sin necesidad de energía.

La segunda ley de la termodinámica da una definición precisa de la entropía. La entropía se define como la medida de lo próximo que se halla un sistema al equilibrio.

La segunda ley trata de las restricciones que existen al utilizar la energía en diferentes procesos. Se puede demostrar que el segundo principio implica que, si no se realiza trabajo, es imposible transferir calor desde una región de temperatura más baja a una región de temperatura más alta.

2.3. Cuantificación energética

El conocimiento de cómo el laboratorio obtiene su energía, cómo la consume en sus procesos, cuánto repercute en sus costes, su posición relativa respecto a otros laboratorios similares y las posibles mejoras para disminuir el coste energético, consiste en el fundamento para realizar la cuantificación global de consumo energético.

La cuantificación energética es un proceso metódico que permite obtener varios elementos útiles:

- Se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de la empresa.
- Se detectan los factores que afectan al consumo de energía
- Se identifican, evalúan y ordenan las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad.
- Se determinan los principales consumidores de energía

- Se analizan los puntos críticos de consumo
- Se evalúan las pérdidas generadas en cada área
- Se generan opciones

La cuantificación energética realizada al laboratorio, a la vista del informe final, que explica y resume todos los aspectos, se completa con los siguientes aspectos dándole mayor valor añadido.

- Diseño de las rutas energéticas del laboratorio
- Procedimientos para monitorizar los consumos energéticos
- Relación con los sistemas de gestión medioambiental, calidad, seguridad e higiene.
- Formación y entrenamiento energético del personal
- Implementación de las medidas de ahorro detectadas

En definitiva, la cuantificación del consumo energético es una herramienta que permite conocer la trazabilidad de la energía en relación con el producto elaborado y la cantidad y tipo de energía incorporada en cada operación de proceso.

2.4. Recursos materiales para la cuantificación energética

La cuantificación energética exige la realización de medidas específicas que complementan las que se pueden obtener leyendo los instrumentos utilizados en el laboratorio.

La realización de los balances de materia y energía requiere medidas específicas que para el trabajo normal y el mantenimiento no son necesarias.

Los recursos que se indican a continuación son materiales útiles para la cuantificación energética:

- Medidas eléctricas (para medidas puntuales pueden utilizarse multímetros).
- Medidores de nivel del suministro de combustible y para la producción de vapor como insumo energético.
- Equipo para determinar caudales volumétricos de los fluidos
- Como medios auxiliares deben mencionarse el ordenador portátil, cronómetro, herramientas y material de seguridad.

2.5. Cálculos financieros

Como toda actividad, la eficiencia energética tiene un condicionante, que es la rentabilidad económica. Aunque cada laboratorio o actividad industrial tiene su sistema y sus criterios para medir la rentabilidad y establecer sus prioridades, aquí se incluye un procedimiento de cálculo de la rentabilidad de las mejoras energéticas, que requiere conocer la inversión efectuada y el ahorro económico obtenido.

Antes de efectuar los cálculos se han de reunir los datos de base que se relacionan y explican a continuación, según el manual de auditorías energéticas, AEDIE:

- **Inversión**
Valoración de los equipos que hay que adquirir y los trabajos que hay que realizar, a los precios vigentes en el mercado, todo ello, de acuerdo con una especificación funcional.
- **Disminución anual de costes energéticos (Q/año)**
Valoración del ahorro en costes energéticos, consecuencia de la implantación de la mejora energética.
- **Aumento costes mantenimiento/operación (Q/año)**
Valoración del incremento anual de los costes de mantenimiento y de operación asociados a la mejora energética introducida.

2.6. Beneficios de la cuantificación energética

Los procedimientos para la cuantificación energética se potencian si se complementa con el análisis, la gestión y el aprovechamiento estadístico de los datos recogidos, con el fin de establecer datos sectoriales de consumo, que permitan conocer rápidamente el consumo general y específico del laboratorio.

Durante la realización de la cuantificación energética se recopilan un conjunto de datos básicos: producciones, consumos de electricidad y combustibles y los costes energéticos. Estos datos se analizan y se relacionan entre sí para determinar unos indicadores energéticos: consumos específicos y generales de cada equipo para cada práctica.

Cuando se estudian posibles mejoras energéticas se plantean soluciones tradicionales o novedosas, así como la utilización de buenas prácticas energéticas en el laboratorio.

2.7. Equipo del laboratorio de operaciones unitarias que consume energía

Dentro del laboratorio de operaciones unitarias existe equipo que consume vapor o electricidad para su funcionamiento. A continuación se describe brevemente el principio de funcionamiento de cada uno de ellos.

2.7.1. Caldera

Se conoce como caldera de vapor aquella unidad en la cual se puede cambiar el estado del fluido de trabajo, de líquido a vapor de agua, en un proceso a presión constante y controlada, mediante la transferencia de calor de un combustible que es quemado en una cámara conocida como hogar. En algunos casos se puede llevar hasta un estado de vapor sobrecalentado.

Estas pueden ser eléctricas a gas óleo o combustible diésel, a gas natural o gas butano; la caldera localizada en el laboratorio utiliza como combustible: diesel. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

2.7.1.1. Circulación de la caldera

Se requiere una circulación adecuada de los insumos necesarios en la sección de generación de vapor de la caldera, para evitar el sobrecalentamiento de las superficies donde se efectúa la transmisión de calor. Esto se realiza en forma natural por las fuerzas gravitatorias, la circulación natural se produce por la diferencia en las densidades del agua en los tubos en la cámara de vaporización.

La caldera localizada en el laboratorio de operaciones unitarias, es pirotubular, está construida especialmente para el aprovechamiento de gases de recuperación, este tipo de calderas presenta una gran variedad de características dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- El cuerpo de caldera, está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.
- La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.

2.7.1.2. Quemadores

Es el elemento de la cámara de fuego que tiene por objetivo llevar a cabo la ignición del combustible, previamente atomizado por aire y se inicia su operación por el encendido de la llama de un piloto.

2.7.1.3. Bomba de combustible

Suministra el combustible al sistema del quemador donde se atomiza en mezcla continua con aire, utilizando una chispa eléctrica como fuente de ignición. El combustible utilizado para suministrar la energía calórica es diésel.

2.7.1.4. Impulsor de aire

Suministra el aire primario para atomizar el combustible antes de su ignición, es transferido a través de un sistema de inyección el cual favorece la combustión por el impulso adherido al aire.

2.7.1.5. Bomba de alimentación de agua

Elemento básico para la alimentación de la cámara de agua, deben tener la potencia adecuada para mantener el nivel de agua requerido en toda la operación de trabajo.

2.7.2. Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un aparato que facilita la transferencia de calor entre dos fluidos que se encuentran a distintas temperaturas; evitando que se mezclen entre sí. La transferencia de calor se efectúa por convección desde el fluido caliente a la pared o la superficie de los tubos, a través de la pared de tubos o placa por conducción y luego por convección al fluido frío.

Los intercambiadores de calor tienen diferentes nombres según el uso que se les dé: calentadores, cuando son usados para calentar fluidos; el vapor es utilizado como fluido de calentamiento; los enfriadores, se emplean para enfriar fluidos de proceso, se utiliza principalmente agua como medio enfriador. Existen varios tipos de intercambiadores de calor; los que se analizan en el presente trabajo de graduación son:

- Intercambiador coraza - tubo
- Intercambiador de tubos concéntricos

2.7.2.1. Intercambiador de tubos concéntricos

Es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. También es llamado intercambiador de doble tubo. Está constituido por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos circula en el interior de una tubería y el otro lo hace en el espacio anular entre ambas tuberías.

El intercambiador puede fabricarse con un simple par de tubos adaptando las conexiones en los extremos o con varios pares interconectados en serie. Este tipo de intercambiador es útil principalmente para velocidades de flujo bajas.

Este tipo de intercambiador se utiliza cuando un fluido es un gas, un líquido viscoso o el caudal es pequeño; mientras el otro es un líquido de baja viscosidad o con alto caudal. Son adecuados para servicios de alto ensuciamiento.

2.7.2.2. Intercambiador de tubo y coraza

La satisfacción de muchas demandas requiere el uso de un gran número de horquillas de doble tubo. Estas consumen considerable área superficial así como presentan un número considerable de puntos en los cuales puede haber fugas. Cuando se requieren superficies grandes de transferencia de calor, pueden ser mejor obtenidas por medio de equipo de tubo y coraza. El equipo de tubo y coraza involucra la expansión de un tubo en un espejo y la formación de un sello que no fuga bajo condiciones razonables de operación.

2.7.2.2.1. Bomba de alimentación de agua

Elemento para la alimentación del intercambiador de calor, deben tener la potencia adecuada para impulsar al agua dentro del intercambiador de calor y enfriar el aceite para su recirculación.

2.7.2.2.2. Bomba de alimentación de aceite

Elemento para la alimentación del aceite en el intercambiador de calor, deben tener la potencia adecuada para circular el aceite en las secciones de calentamiento y enfriamiento de los intercambiadores.

2.7.3. Secador

En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material.

2.7.3.1. Métodos generales de secado

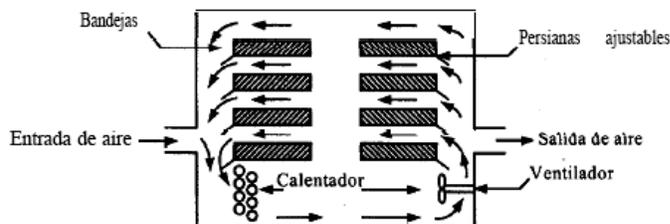
Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de lotes, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un período y continuos, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.

2.7.3.2. Secador de bandejas

En el secador de bandejas, del equipo a estudiar, que también se llama secador de anaqueles, de gabinete o de compartimientos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja. Un secador de bandejas típico, tal como el que se muestra en la figura 1, tiene bandejas que se cargan y se descarga de un gabinete.

Un ventilador recircula aire, calentado con vapor, paralelamente sobre la superficie de las bandejas.

Figura 1. Secador de bandejas



Fuente: McCABE, Warren. et. al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. p 564.

2.7.3.2.1. Impulsor de aire

Suministra el aire primario para secar el sólido dentro del equipo. Es regulado por una válvula de entrada, que modifica el porcentaje de recirculación de aire.

2.7.3.2.2. Intercambiador de calor de superficie extendida

El uso de aletas o superficies ampliadas en el exterior de la pared del tubo de un intercambiador de calor para obtener coeficientes de transferencia relativamente altos, es una práctica muy común. El intercambiador estudiado en el equipo de secado circula el fluido caliente (vapor) a través de una batería de tubos, donde se pierde calor y se transfiere al aire. Las superficies ampliadas del exterior de los tubos transmiten el calor al aire por convección forzada.

2.7.4. Equipo de destilación

La operación unitaria de destilación es un método que se usa para separar los componentes de una solución líquida, el cual depende de la distribución de estos componentes entre una fase de vapor y una fase líquida. Ambos componentes están presentes en las dos fases.

El requisito básico para separar los componentes por destilación consiste en que la composición del vapor sea diferente de la composición del líquido con el cual está en equilibrio en el punto de ebullición de este último. La destilación se basa en soluciones en las que todos los componentes son bastante volátiles, en las que ambos componentes también están en fase de vapor.

Según Geankoplis, Christie en su libro “Procesos de transporte y operaciones unitarias”, “el líquido se destila desde un recipiente de destilación, ocurriendo primeramente la vaporización, estableciéndose el equilibrio liquido-vapor. Parte del vapor se condensa en las paredes del recipiente, pero la gran parte se condensa debido a la circulación del agua fría por el tubo refrigerante, a este producto se le conoce como destilado y a la porción que queda en el recipiente se conoce como remanente” (1998, p. 742).

La destilación fraccionada es un proceso físico utilizado en química para separar mezclas (generalmente homogéneas) de líquidos mediante el calor, y con un amplio intercambio calórico y másico entre vapores y líquidos. Se emplea principalmente cuando es necesario separar compuestos de sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos.

La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento. Esta permite un mayor contacto entre los vapores que ascienden con el líquido condensado que desciende, por la utilización de diferentes platos (placas). Esto facilita el intercambio de calor entre los vapores (que ceden) y los líquidos (que reciben). Ese intercambio produce un intercambio de masa, donde los líquidos con menor punto de ebullición se convierten en vapor y los vapores de sustancias con mayor punto de ebullición pasan al estado líquido.

2.7.5. Torre de humidificación

En una torre típica para enfriamiento de agua, el agua caliente fluye a contracorriente del aire. Por lo general, el agua caliente entra por la parte superior de una torre empacada y cae en cascada a través del material de empaque y sale por el fondo. El aire entra por la parte inferior de la torre y fluye hacia arriba, a través del agua que desciende. El empaque de la torre es de tablillas de madera y el agua se distribuye por medio de acanaladuras y rebosaderos para que caiga en cascada por el enrejado de tablillas, lo cual suministra un área extensa interfacial de contacto entre el agua y el aire en forma de gotas y película de agua. El flujo de aire ascendente a través de la torre se induce por medio de la acción de un ventilador.

Según McCabe, Warren en su libro “Operaciones unitarias en ingeniería química”, el agua no puede enfriarse por debajo de su temperatura de bulbo húmedo. “La fuerza impulsora de la evaporación del agua es, aproximadamente, la presión de vapor de agua menos la presión de vapor que tendría a su temperatura de bulbo húmedo” (1991 p. 467). El agua sólo se puede enfriar hasta la temperatura de bulbo húmedo y en la práctica se enfría a unos 3 K o un poco más por encima de dicha temperatura.

La evaporación en la torre de enfriamiento solo provoca pequeñas pérdidas de agua. Como el calor latente de vaporización del agua es de aproximadamente 2 300 kJ/kg, un cambio típico de unos 8 K en la temperatura del agua corresponde a una pérdida de evaporación de más o menos 1,5%. Por lo general, se supone que el flujo total de agua es constante al efectuar los cálculos del tamaño de la torre.

En la humidificación se necesita un contacto íntimo entre la fase gaseosa y la líquida para velocidades grandes de transferencia de masa y de calor. La resistencia de la fase gaseosa controla la velocidad de transferencia.

2.7.5.1. Impulsor de aire

Suministra el aire primario para enfriar el agua caliente que cae por gravedad en la torre, el aire ingresa por la parte inferior y en contracorriente con el agua caliente.

2.7.5.2. Bomba de alimentación de agua

Elemento básico para la alimentación del agua fría que pasa por el intercambiador de calor y luego es impulsada a la parte superior de la torre. Debe tener la potencia adecuada para mantener el flujo de agua requerido en toda la operación de trabajo.

2.7.5.3. Intercambiador de calor

Se intercambia calor latente del vapor que ingresa, procedente de la caldera, hacia el agua fría que ingresa, para posteriormente ser enfriada mediante el contacto con el aire al descender por la torre.

2.7.5.4. Bombas y equipo para manejar gases

Para que un fluido fluya de un punto a otro en un ducto cerrado o en una tubería, es necesario contar con una fuerza impulsora. Por lo general, un dispositivo mecánico como una bomba o un ventilador suministran la energía o fuerza impulsora que incrementa la energía mecánica del fluido. Esta energía puede usarse para aumentar la velocidad (mover el fluido), la presión o la elevación del fluido.

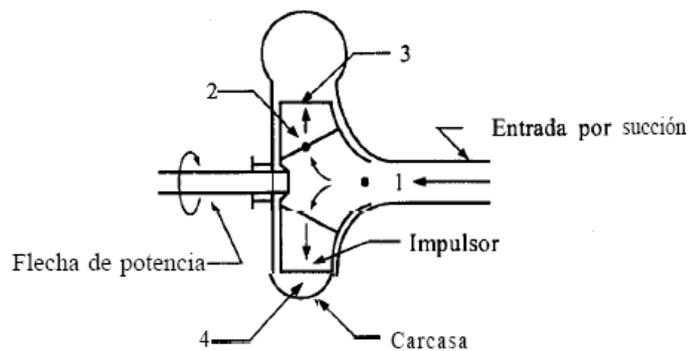
En general, la palabra bomba describe una máquina o dispositivo que se usa para mover un líquido incompresible. Los ventiladores, sopladores y compresores son dispositivos para mover gases (casi siempre aire). Los ventiladores descargan grandes volúmenes de gases a presiones bajas del orden de varios cientos de milímetros de agua. Los sopladores y los compresores descargan gases a altas presiones. En las bombas y los ventiladores, la densidad del fluido no varía de manera apreciable y se puede suponer que existe un flujo incompresible. En el caso de los sopladores y compresores se usa la teoría de flujo compresible.

Puesto que la mayoría de las bombas son impulsadas por motores eléctricos, debe tomarse en cuenta la eficiencia del motor para determinar el suministro total de energía eléctrica al mismo. Las eficiencias típicas de motores eléctricos son: 75% para motores de 0,5 kW, 80% para 2 kW, 84% para 5 kW, 87% para 15 kW y aproximadamente 93% para motores de más de 150 kW.

2.7.6. Bombas centrífugas

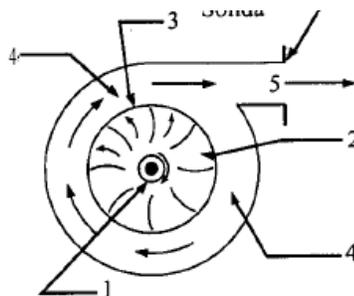
Las industrias de proceso emplean con frecuencia bombas centrífugas. Se pueden adquirir en tamaños desde 0,004 hasta 380 m³/min (1 a 100 000 gal/min) y para presiones de descarga desde unos cuantos metros de carga hasta 5 000 kPa. Una bomba centrífuga consiste, en su forma más simple, en un propulsor que gira dentro de una armadura. La figura siguiente muestra el diagrama esquemático de una bomba centrífuga simple.

Figura 2. Esquema de bomba centrífuga



Fuente: McCABE, Warren. et. al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. p. 634

Figura 3. Esquema de bomba centrífuga 2



Fuente: McCABE, Warren. et. al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. p. 634

El líquido entra axialmente a la bomba en el punto 1 en la línea de aspiración y penetra hasta el centro de rotación del propulsor, de donde se distribuye de manera radial. Al hacerlo así, se introduce en los canales, entre las paletas en el punto 2 y fluye por dichos canales hacia el punto 3, situado en la periferia del impulsor. Aquí se recolecta en la cámara espiral 4 y fluye hacia la descarga de la bomba 5.

La rotación del impulsor imparte una carga de alta velocidad al fluido, que se transforma en carga de presión a medida que el líquido pasa a la cámara espiral y de aquí a la descarga. Algunas unidades se construyen como bombas de dos etapas o de etapas múltiples.

Muchos factores complican la determinación de la eficiencia real y las características de funcionamiento de una bomba. Por tanto, es muy común emplear el funcionamiento real experimental.

Usualmente, el propio fabricante expresa el funcionamiento de la bomba por medio de curvas llamadas curvas características y estas suelen ser para agua.

La maquinaria para mover gases comprende dispositivos mecánicos que se usan para comprimir y mover gases los cuales se clasifican o se consideran generalmente desde el punto de vista de las cargas de presión producidas y son ventiladores para presiones bajas, sopladores (o ventiladores) para presiones intermedias y compresores para presiones elevadas.

El método más común para mover volúmenes pequeños de gases (a presiones bajas) consiste en el empleo de un ventilador. Los ventiladores grandes suelen ser centrífugos y su principio de operación es similar al de las bombas centrífugas. Las cargas de descarga son bajas, desde 0.1 m a 1.5 m de H₂O. Sin embargo, en algunos casos, gran parte de la energía añadida al ventilador se convierte en energía cinética y otra pequeña cantidad en carga de presión.

Según McCabe, Smith en su libro "Operaciones unitarias en ingeniería química", "En un ventilador centrífugo, la fuerza centrífuga producida por el rotor causa una compresión del gas, llamada carga estática de presión. Además, puesto que la velocidad del gas aumenta, se produce también una carga de velocidad. Al estimar la eficiencia y la potencia se debe incluir tanto la elevación de la carga estática de presión como el incremento de la carga de velocidad. Las eficiencias de operación varían entre 40 y 70%. La presión de operación de un ventilador casi siempre se expresa en pulgadas de agua manométricas" (1991 p. 812).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables de cuantificación energética

La cuantificación del consumo energético requiere la medición de ciertas variables, con la finalidad de expresar magnitudes de consumo y flujos energéticos por equipo.

3.1.1. Tiempo de consumo de energía

La magnitud de consumo energético por equipo, depende del flujo energético a ciertas condiciones de trabajo y del tiempo de trabajo. El producto de estas magnitudes determina energía consumida.

3.1.1.1. Tiempo total de práctica

Se refiere al tiempo de práctica por grupo de trabajo, por sección de laboratorio. Este tiempo se utilizó para cuantificar el consumo mínimo, promedio y máximo de vapor y electricidad.

3.1.1.2. Tiempo de utilización de bombas

Tiempo de utilización de bombas, por equipo y por práctica. Con este tiempo se cuantificó el consumo eléctrico mínimo, promedio y máximo para las prácticas que involucraban la utilización de bombas.

3.1.1.3. Tiempo de utilización de resistencias

Tiempo que las resistencias fueron utilizadas para producir calor en la práctica de destilación. Estas resistencias se encendieron secuencialmente, tomando el tiempo de encendido total.

3.1.1.4. Tiempo de utilización de vapor

Constituye el tiempo de utilización de vapor por cada grupo de trabajo, desde el momento en que abren y regulan la válvula, hasta que la cierran para impedir el paso de vapor.

3.1.1.5. Volumen de combustible

Diferencia entre el nivel de combustible al inicio y al final del ciclo de trabajo de la caldera. El combustible estaba contenido en un tanque, con un medidor de nivel acoplado al mismo.

3.1.1.6. Volumen de agua

Diferencia entre el nivel de agua en el tanque de almacenamiento durante el ciclo de llenado de la caldera. Este nivel oscilaba en un rango durante el periodo de operación de esta.

3.1.1.7. Volumen de condensado

Condensado recolectado y pesado durante la operación de cada práctica. Este condensado era obtenido en la salida de vapor utilizado para intercambio de calor en las prácticas de secado, humidificación, tubos concéntricos y concha y tubos.

3.1.1.8. Voltaje

La velocidad de rotación de las bombas dependía del voltaje de alimentación de las mismas durante su funcionamiento. Se determinó el tiempo de funcionamiento para obtener promedios de trabajo. El promedio se comparó con el voltaje de diseño del equipo.

3.1.1.9. Corriente eléctrica

Al igual que el voltaje, se determinó la corriente de alimentación de las bombas durante su funcionamiento. Se determinó el tiempo de funcionamiento para obtener promedios de trabajo. El promedio se comparó con la corriente de diseño del equipo.

3.1.1.10. Número de luminarias

Se cuantificó el número de luminarias existentes y se comparó con la cantidad óptima obtenida para el laboratorio, según las especificaciones mínimas de iluminación para el tipo de actividad.

3.2. Delimitación de campo de estudio

La cuantificación energética del laboratorio de operaciones unitarias se realizó durante dos semestres académicos, con la finalidad de identificar puntos de oportunidad para optimizar energéticamente y ambientalmente el laboratorio.

3.2.1. Tipo de estudio y diseño general de investigación

La investigación se centró en la cuantificación energética del laboratorio de operaciones unitarias, realizando una investigación no experimental, ya que las variables que se midieron no son manipuladas directamente por el investigador. Se realizó de manera longitudinal, es decir, se estudiaron las variables a lo largo de un tiempo, en el que se cuantificaron consumos de energía.

3.2.2. Universo de estudio, selección y tamaño de muestra, unidad de análisis y observación

El estudio se realizó en el laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de Ingeniería Química, localizado en el edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos. El universo de estudio lo constituyen los cursos prácticos tipo laboratorio, de Ingeniería Química 1 e Ingeniería Química 2 que se realizaron cada semana, durante el segundo semestre del año 2010. Para seleccionar el tamaño de muestra, se partió del criterio de selección de Fisher, que indica que los recursos disponibles, fijan el tamaño máximo de muestra. Lo que delimita el tamaño de la muestra al número máximo de prácticas de laboratorio posibles en un semestre. La lógica indica que entre más grande sea el tamaño de muestra, mayor posibilidad tendrá de ser representativa y menor será el error de muestreo.

3.3. Recursos humanos disponibles

El análisis se realizó midiendo los tiempos de trabajo de cada grupo de laboratorio, consistente de 4 personas en promedio, durante los periodos de trabajo experimental realizados en cada grupo. Los estudiantes realizaron las mediciones directas de ciertas variables a analizar, lo que induce una magnitud de error adicional, pero que refleja en mayor medida la dependencia del consumo energético, con el trabajo y organización del grupo dentro del laboratorio.

Recursos humanos disponibles:

Realizador de trabajo de graduación: Manuel Humberto Cazali Girón

Asesor: Ing. Qco. Manuel Tay

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

La cuantificación energética del laboratorio de operaciones unitarias requirió la utilización de determinados equipos para la medición de tiempos, volúmenes y alturas en los periodos de trabajo de cada equipo mayor.

3.4.1. Equipo de trabajo para cuantificación energética

- Caldera
 - Bomba de alimentación de agua
 - Bomba de combustible
 - Quemadores
 - Impulsor de aire

- Intercambiador de calor de concha y tubos
 - Bomba de alimentación de agua
 - Bomba de circulación de aceite

- Intercambiador de calor de tubos concéntricos
 - Bomba de alimentación de agua
 - Bomba de circulación de aceite

- Torre de humidificación
 - Bomba de alimentación de agua
 - Intercambiador de calor
 - Impulsor de aire

- Secador
 - Intercambiador de calor de superficie expandida
 - Impulsor de aire

- Tuberías y accesorios
 - Bomba de circulación de agua

- Medidores de flujo
 - Bomba de circulación de agua

- Torre de destilación
 - Resistencias

- Equipo práctica de bomba centrífuga

- Luminarias

3.4.2. Instrumentos de medición

- Medidores de nivel
- Cronómetros
- Cinta métrica
- Vatímetros
- Amperímetros
- Balanza

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El análisis cuantitativo se interesa en la determinación de cantidades de sustancia en particular, en una muestra o de algún proceso específico. En una investigación cuantitativa se recolectan y analizan datos cuantitativos sobre variables definidas. En el presente trabajo de graduación se estudió la asociación o relación entre las variables cuantificadas experimentalmente, con el fin de cumplir el objetivo principal, que consiste en la cuantificación del consumo energético.

El trabajo de graduación realizado también hace referencia a la utilización de una técnica cualitativa, ya que dentro de la temática principal también se incluyó, el plantear sugerencias para la reducción de consumo energético. Con base en conclusiones obtenidas de los resultados se presentaron sugerencias, basadas en la comprensión de los fenómenos y aplicadas al desempeño estudiantil dentro del laboratorio.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Los datos para cuantificar el consumo de energía, en el laboratorio de operaciones unitarias, se obtuvieron al medir en un semestre académico las variables mencionadas por curso, por sección y por semana.

- Se midió, con la utilización de un cronómetro, los tiempos totales de cada práctica, el tiempo que se utilizaron las bombas y los equipos que consumen electricidad.
- Con una varilla añadida al tanque, se midió el nivel de combustible que se consume en cada práctica, con la finalidad de determinar el gasto energético en la producción de vapor.
- Con una varilla añadida al tanque, se realizó la medición del nivel de agua en cada ciclo intermitente de la caldera, con la finalidad de determinar el volumen evaporado por unidad de tiempo.
- El volumen de condensado, se midió con la finalidad de obtener la magnitud de vapor consumido por práctica, utilizando un balde y una balanza.
- El voltaje y magnitud de la corriente eléctrica se midieron, utilizando un multímetro, durante el tiempo de trabajo de las bombas y las resistencias, con la finalidad de obtener las magnitudes de potencia consumidas por las mismas.

- El número de luminarias se contabilizó durante una de las visitas planificadas al laboratorio, así como el área de iluminación y la altura de las mesas de trabajo.

Para la identificación de los flujos energéticos, se observó en una sesión de práctica para cada curso impartido, las rutas por las que fluyen los insumos dentro del laboratorio, las salidas y entradas de los mismos.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La tabulación de los datos obtenidos se realizó por cada grupo de trabajo, por sesiones de práctica, tabulando la información del flujo de vapor, voltaje, corriente y tiempo de trabajo.

Los datos obtenidos se ordenaron por curso (Laboratorio de Ingeniería Química 1 o Laboratorio de Ingeniería Química 2) y por práctica realizada, independientemente de la sección o el día en que cada grupo realizó la práctica.

Los datos obtenidos de consumo, para cada insumo analizado, se obtuvieron de manera individual, para posteriormente unificarlos y presentarlos como una magnitud total, además de presentar un esquema de proporciones de consumo por práctica de trabajo.

3.8. Análisis estadístico de cuantificación energética

Los datos obtenidos se analizaron utilizando como herramienta diversas variables estadísticas, estas variables presentaban la información para análisis de medias, desviaciones y rangos de incertidumbre.

3.8.1. Media aritmética de consumos energéticos

En matemática y estadística, la media aritmética (también llamada promedio o simplemente media) de un conjunto finito de números es igual a la suma de todos sus valores, dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral, siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

También la media aritmética puede ser denominada como centro de gravedad de una distribución, el cual no está necesariamente en la mitad.

Una de las limitaciones de la media es que se ve afectada por valores extremos; valores muy altos tienden a aumentarla mientras que valores muy bajos tienden a reducirla, lo que implica que puede dejar de ser representativa de la población.

Dados los números a_1, a_2, \dots, a_n , la media aritmética se define:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$$

3.8.2. Desviación estándar muestral de consumos energéticos

La desviación estándar o desviación típica (σ) es una medida de centralización o dispersión para variables de razón y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva.

Se define como la raíz cuadrada de la varianza. Junto con este valor, la desviación típica es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino se necesita conocer también la desviación que representan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad a la hora de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

Expresión de la desviación estándar muestral:

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

3.8.3. Incertidumbre de medición para tiempo y masa

La incertidumbre es un parámetro asociado con el resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al analito. La finalidad de la incertidumbre es determinar la utilidad de un resultado, evaluar la confianza que se puede tener en una decisión basada en el resultado y comparar resultados de mediciones.

Expresión de la incertidumbre de medición, para una distribución rectangular:

$$u_k = \sqrt{\frac{T^2}{3}}$$

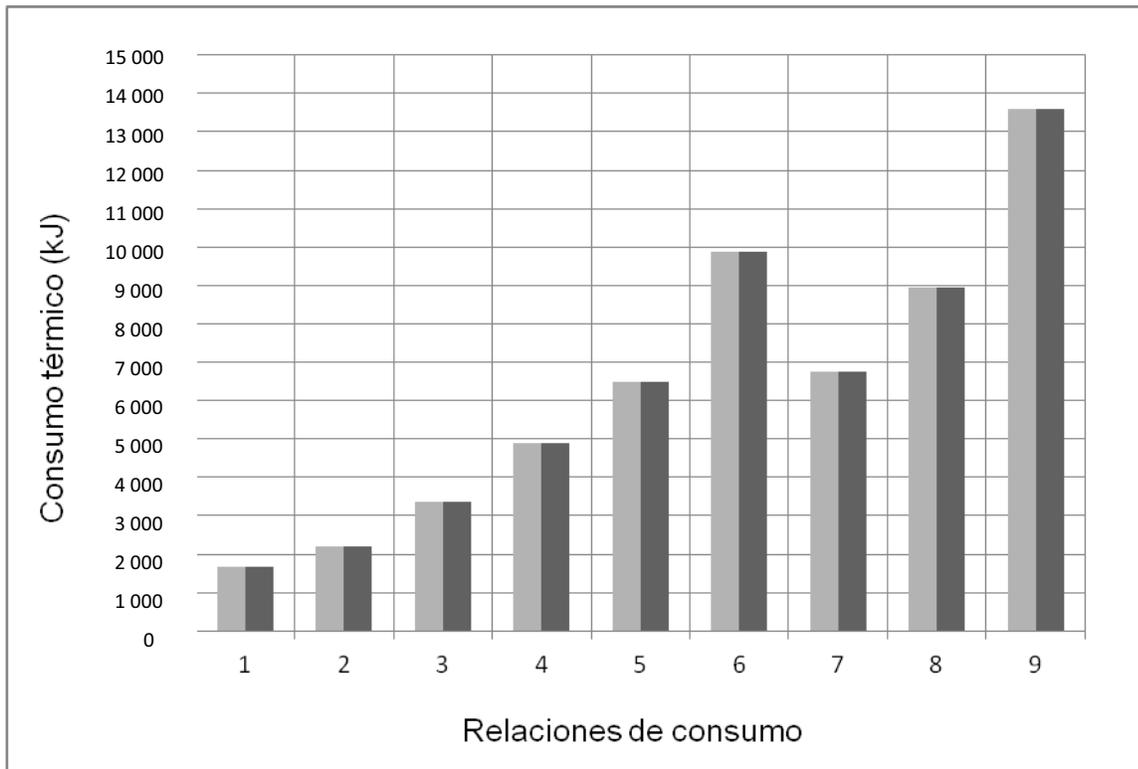
4. RESULTADOS

Tabla I. **Relaciones de consumo energético para diagramas de consumo de vapor y consumo eléctrico**

Consumo energético, vapor o electricidad por funcionamiento de equipo	Tiempo de trabajo de grupo	Relación de consumo
Consumo energético mínimo (kJ/h)	Mínimo	1
	Promedio	2
	Máximo	3
Consumo energético promedio (kJ/h)	Mínimo	4
	Promedio	5
	Máximo	6
Consumo energético máximo (kJ/h)	Mínimo	7
	Promedio	8
	Máximo	9

Fuente: elaboración propia.

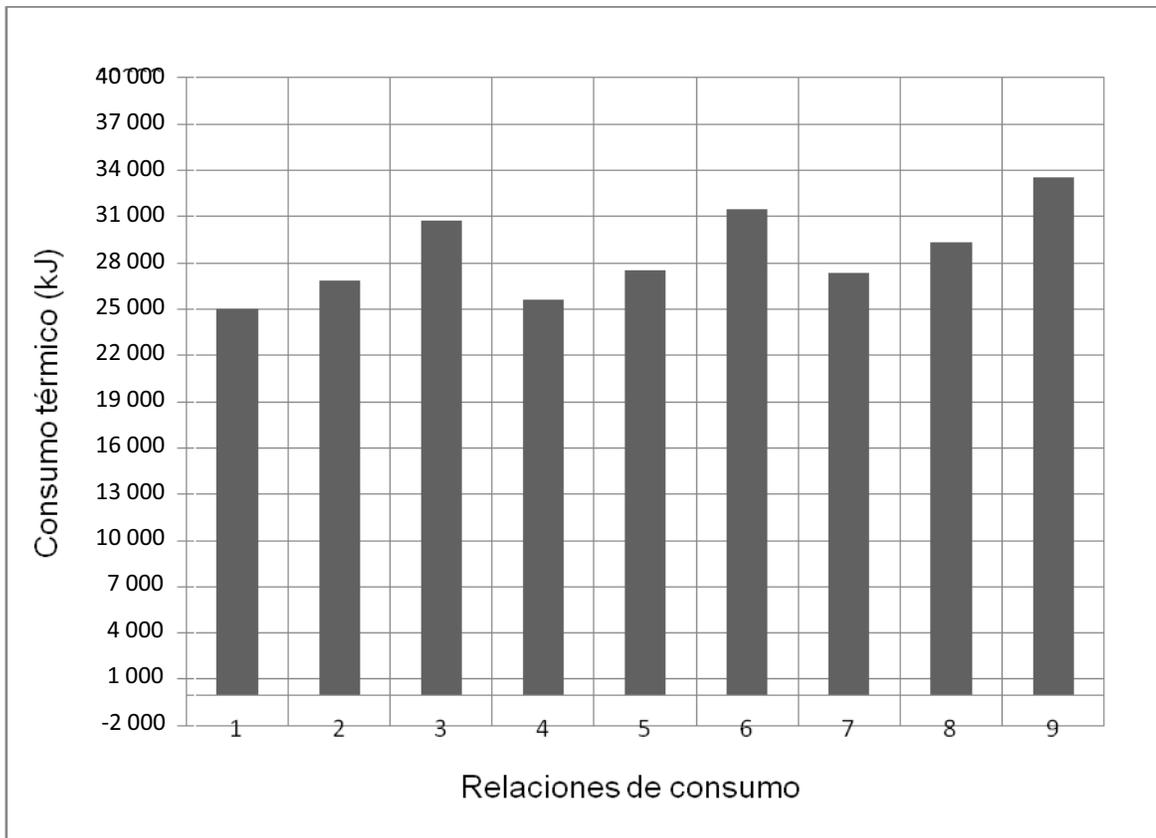
Figura 4. **Diagrama de consumo de vapor, datos experimentales del 2010 para la práctica de tubos concéntricos**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-136 134,6655]	0,5147 %	4,36 %

Fuente: elaboración propia.

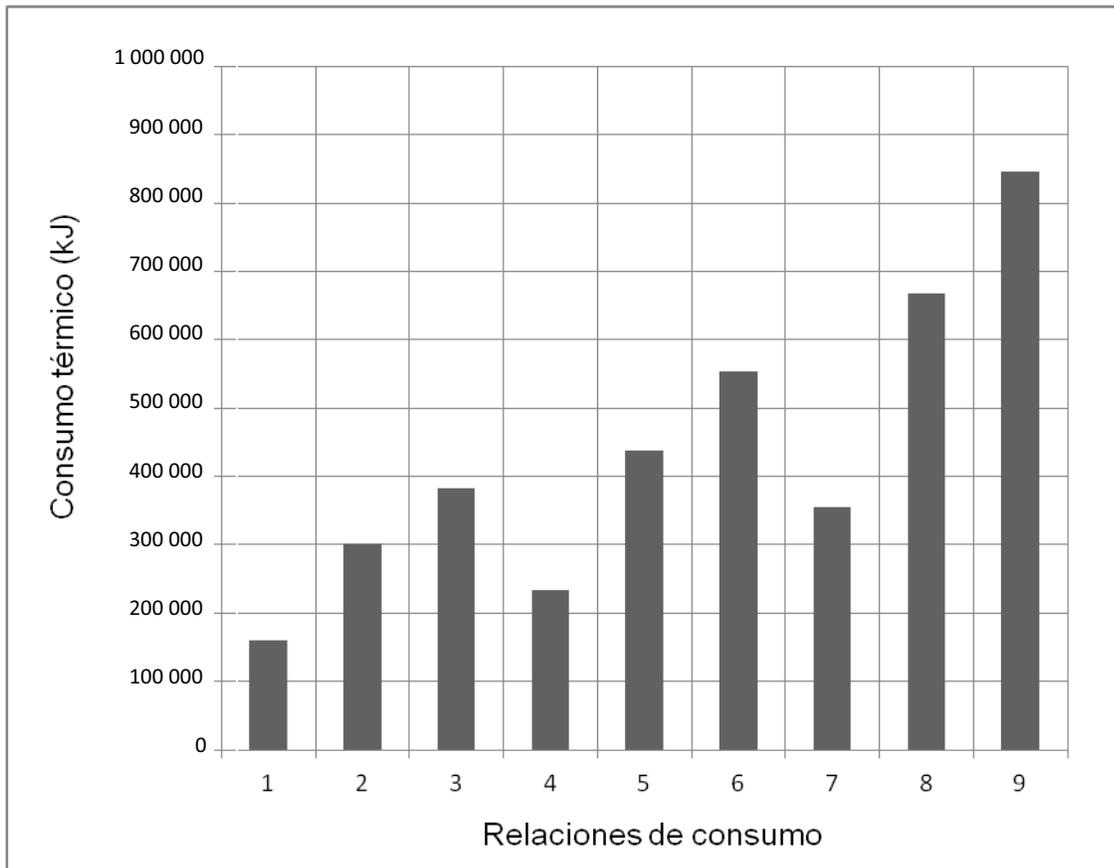
Figura 5. **Diagrama de consumo de vapor, datos experimentales del 2010 para la práctica de intercambiador de concha y tubos**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-33 514,7749]	0,0462 %	3,370 %

Fuente: elaboración propia.

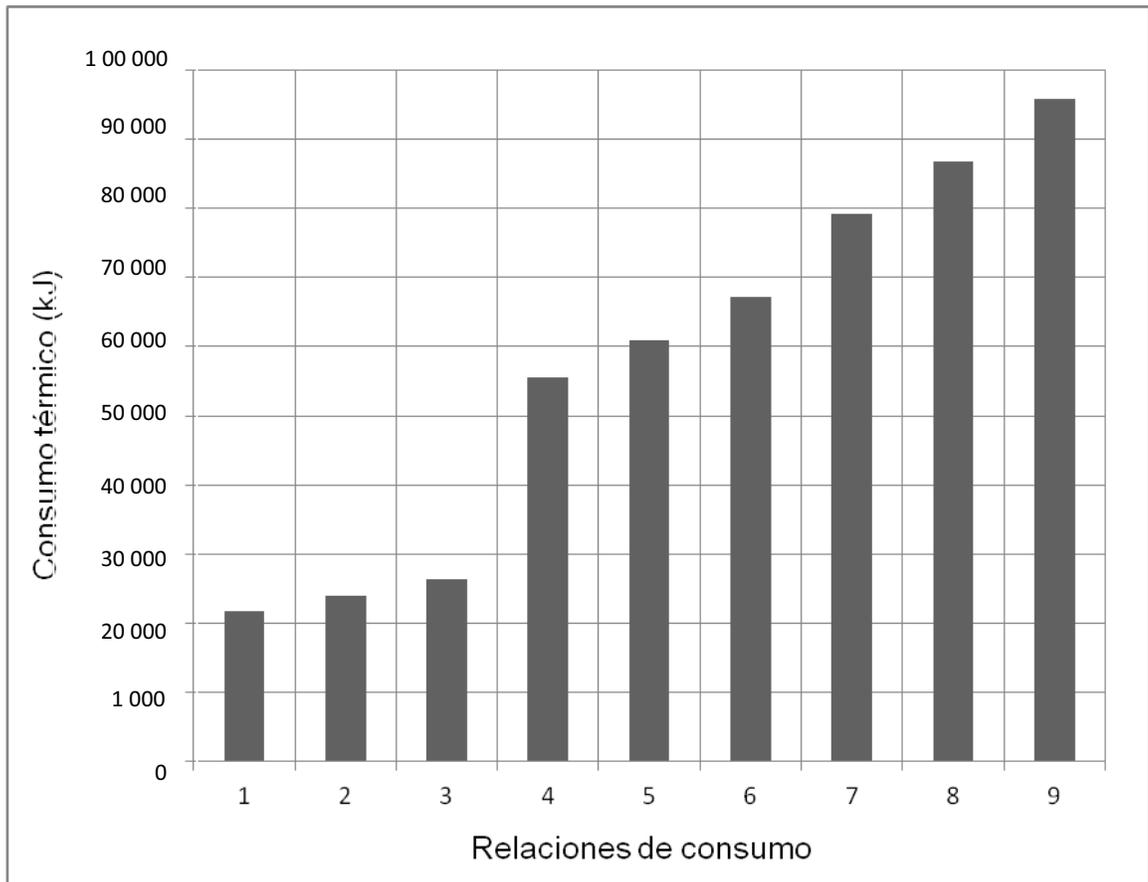
Figura 6. Diagrama de consumo de vapor, datos experimentales del 2010 para la práctica de combustión



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-845 340,8853]	4,3734 %	3,737 %

Fuente: elaboración propia.

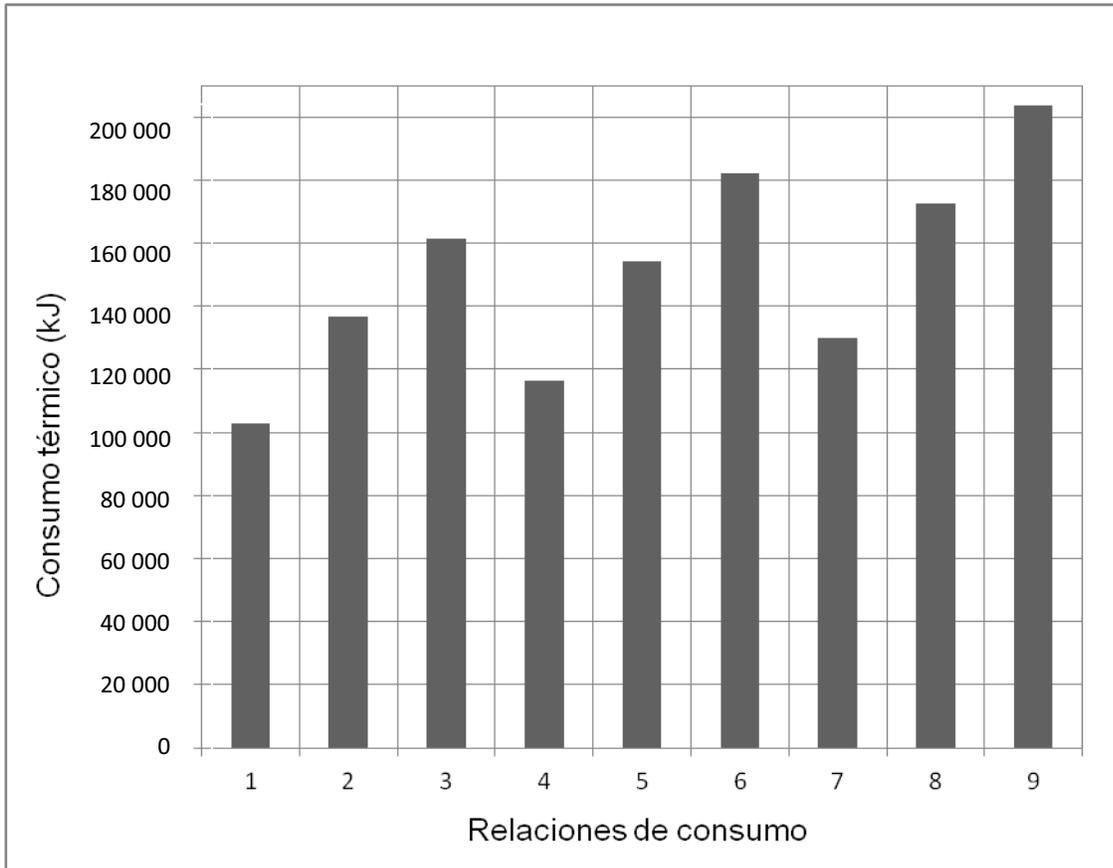
Figura 7. **Diagrama de consumo de vapor, datos experimentales del 2010 para la práctica de secado**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-95 790,1303]	0,1794 %	4,312 %

Fuente: elaboración propia.

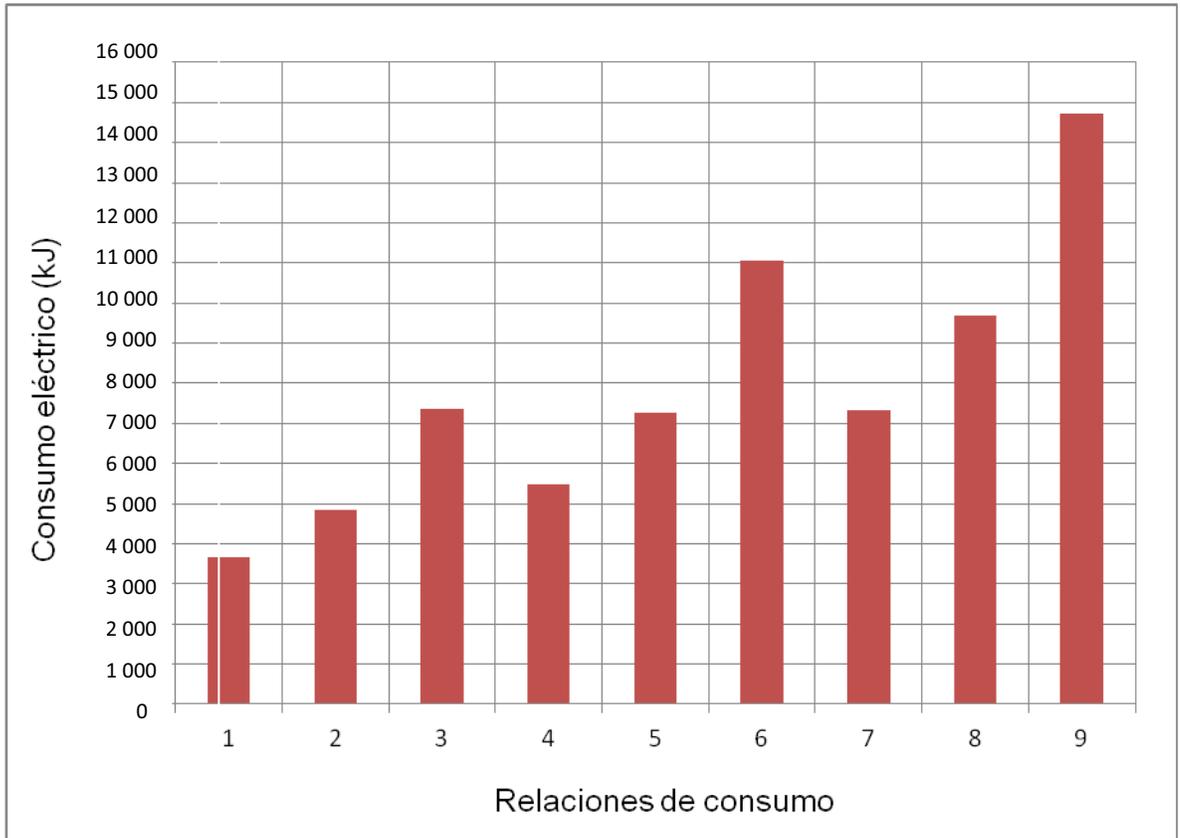
Figura 8. **Diagrama de consumo de vapor, datos experimentales del 2010 para la práctica de humidificación**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-203 731,6367]	0,6530 %	3,965 %

Fuente: elaboración propia.

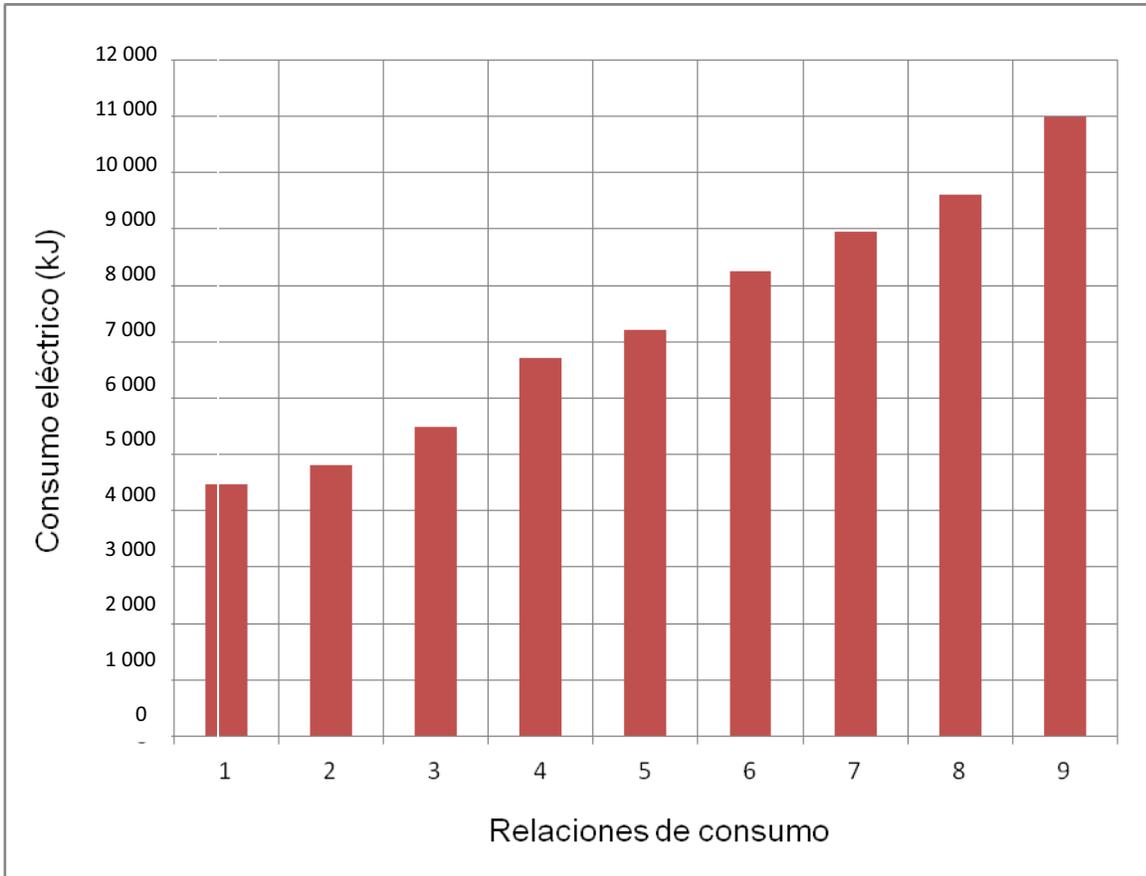
Figura 9. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de tubos concéntricos**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-14 731,2]	0,0211 %	1,534 %

Fuente: elaboración propia.

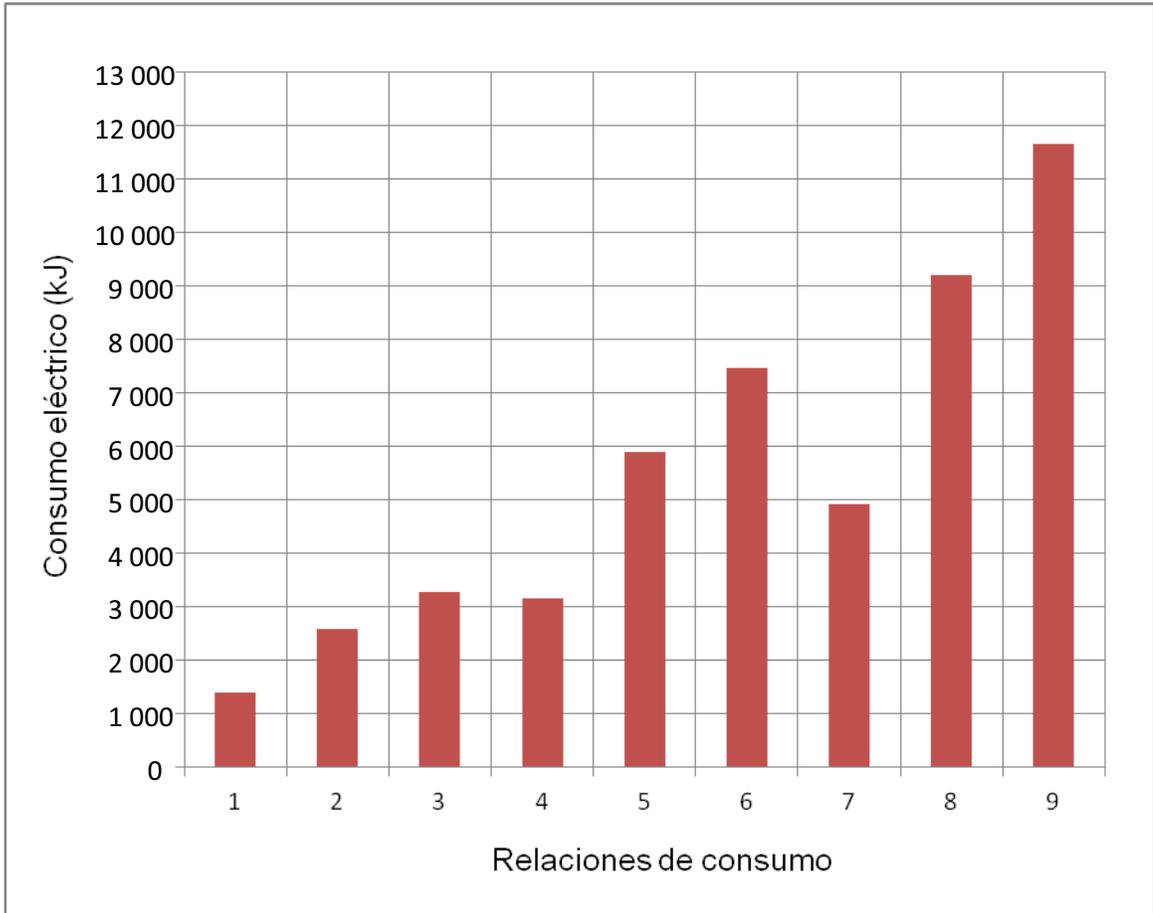
Figura 10. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de intercambiador de concha y tubos**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-10 991,7]	0,0159 %	1,145 %

Fuente: elaboración propia.

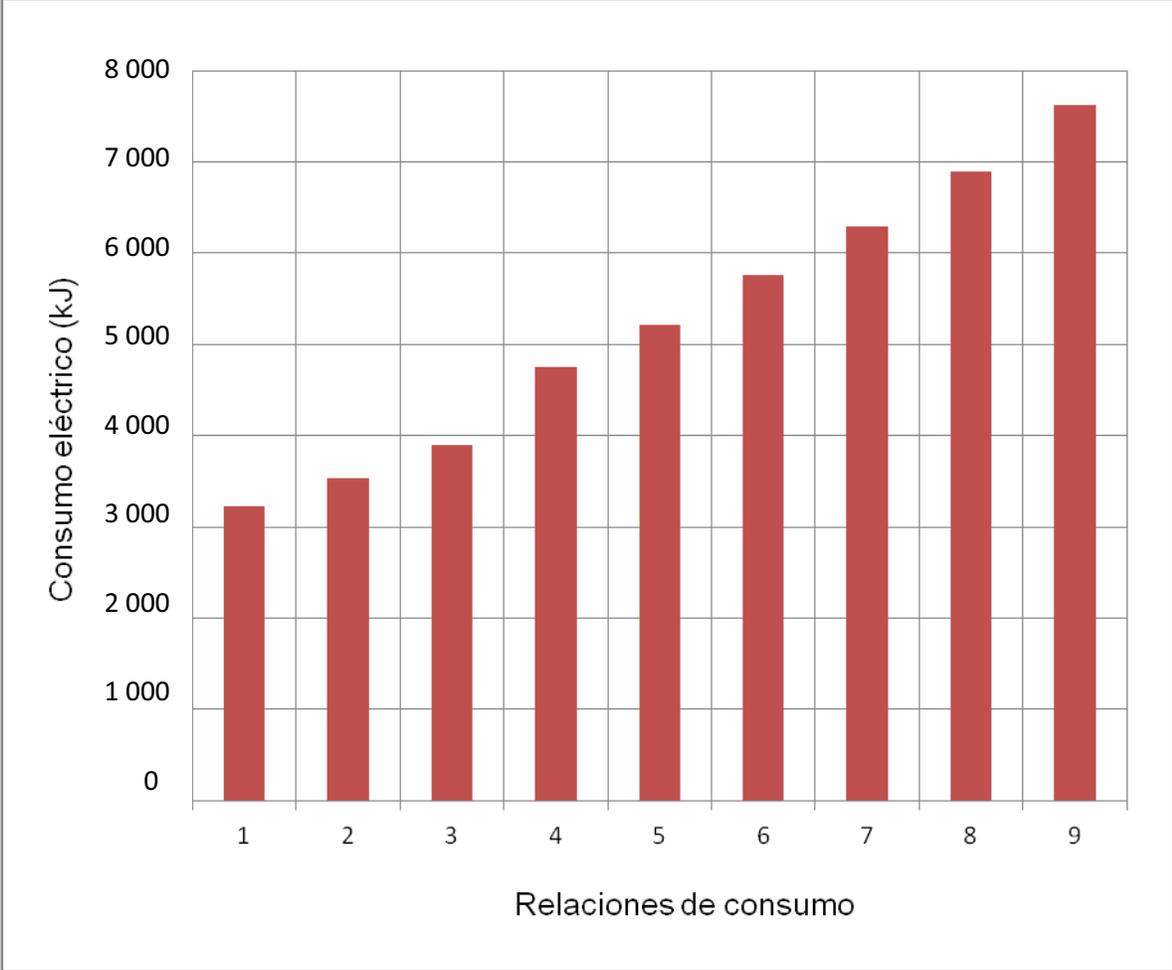
Figura 11. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de combustión**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-11 667,9]	0,0176 %	1,038 %

Fuente: elaboración propia.

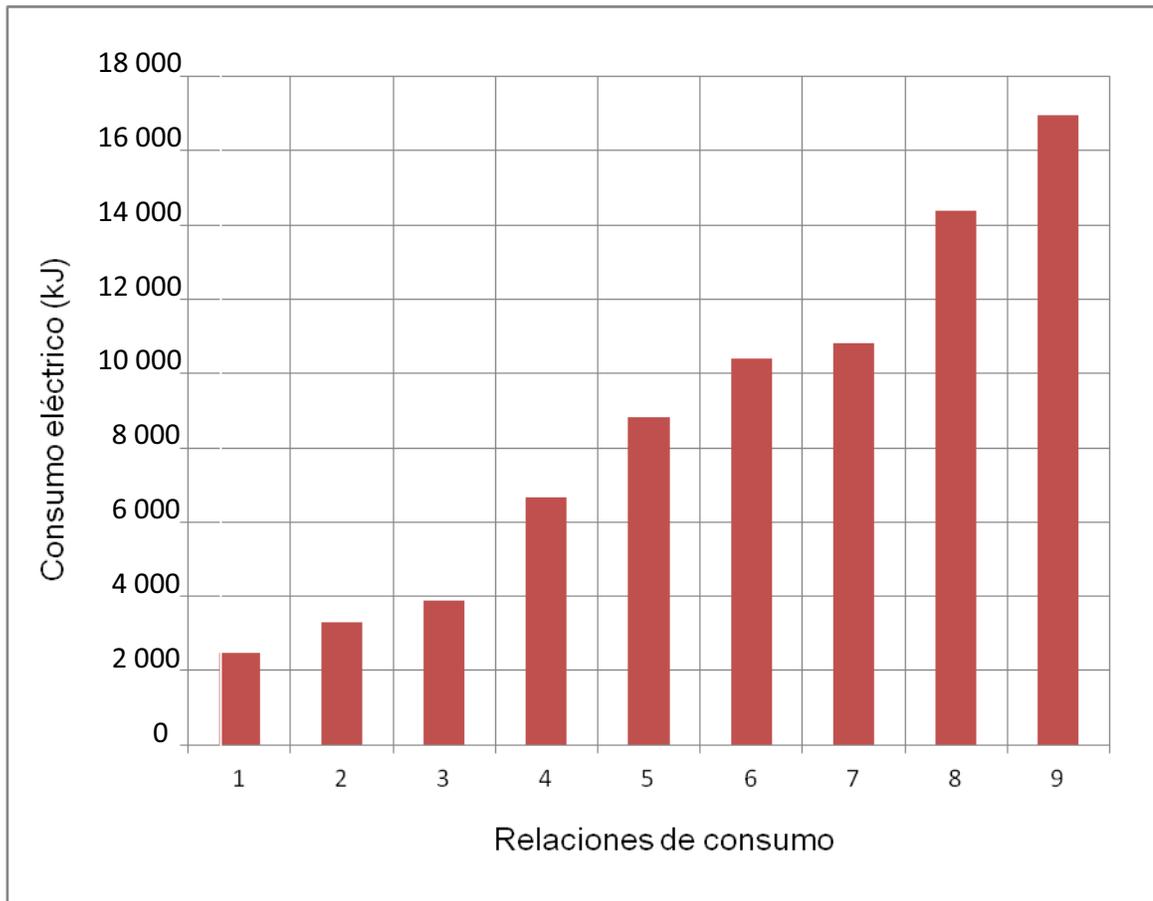
Figura 12. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de secado**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-7 617,6]	0,0153 %	0,8001 %

Fuente: elaboración propia.

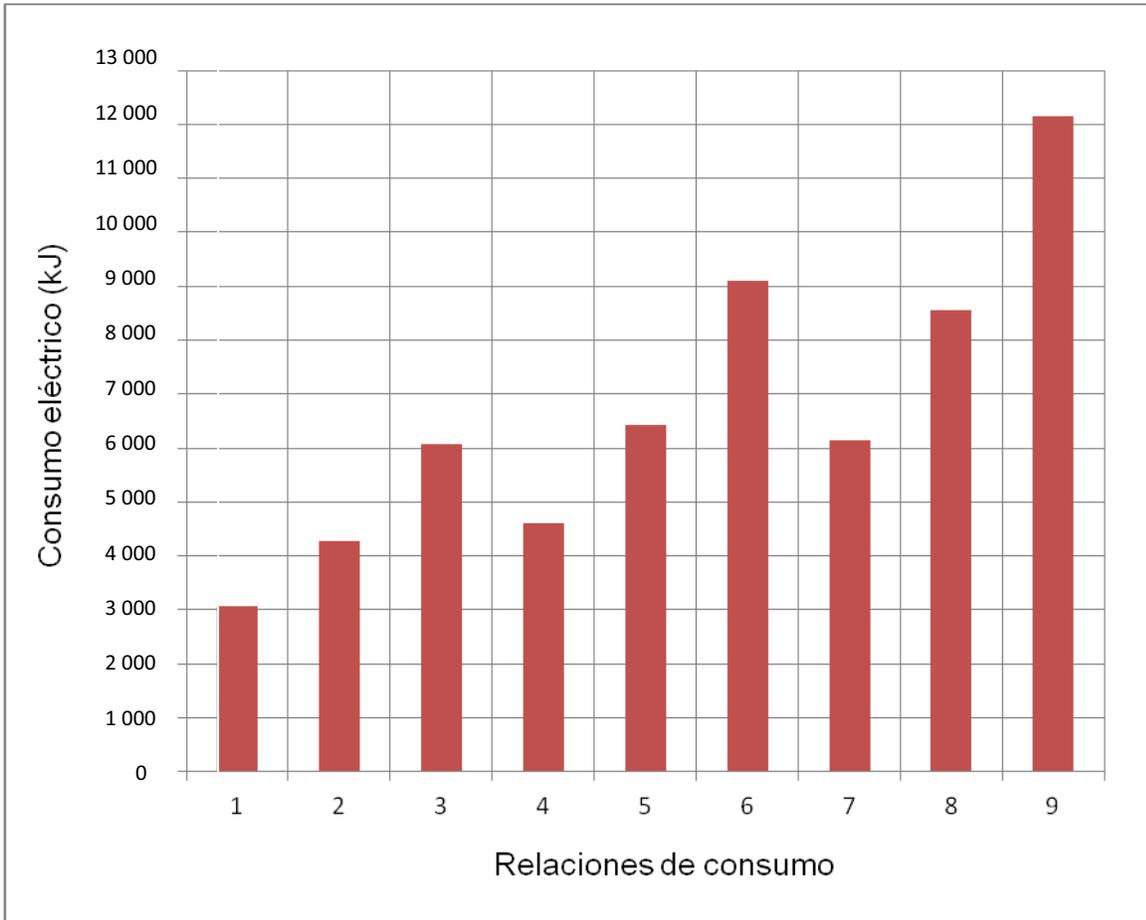
Figura 13. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de humidificación**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-169 953,3]	0,0164 %	1,447 %

Fuente: elaboración propia.

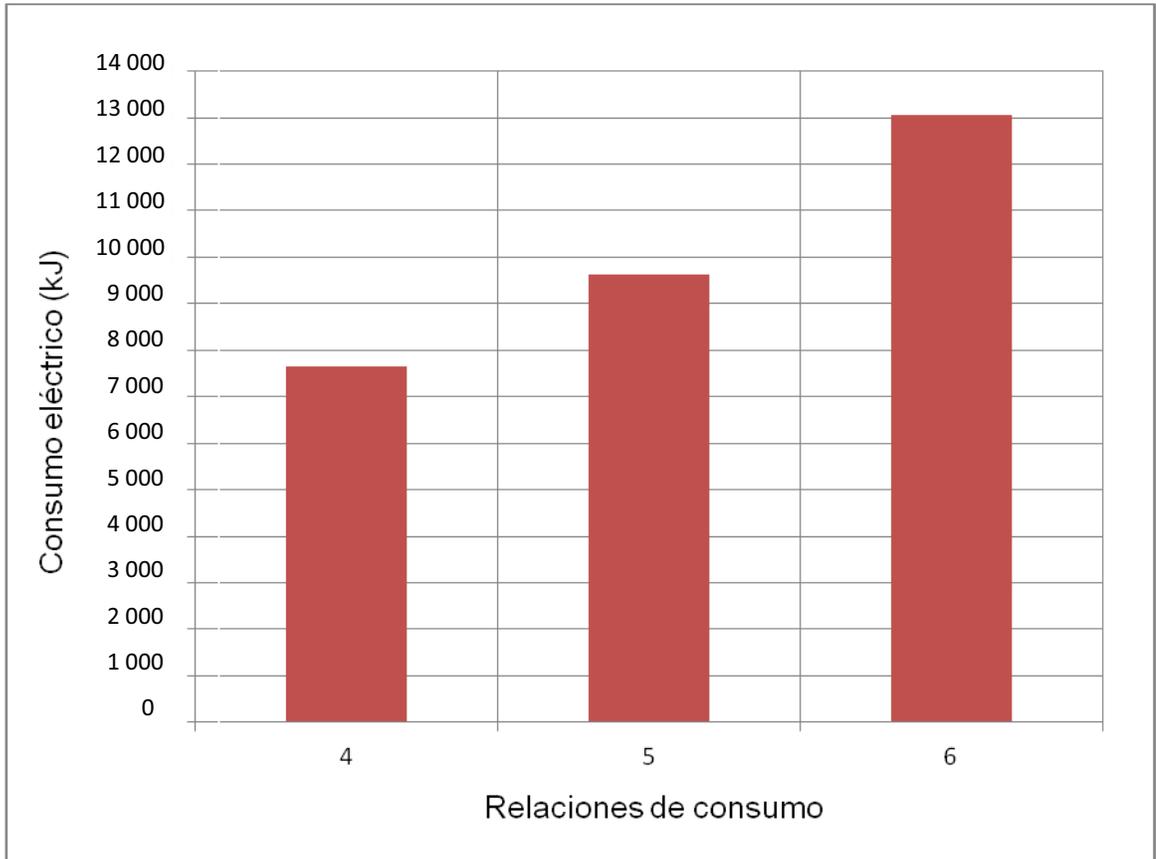
Figura 14. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de medidores de flujo**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-12 149,28]	0,0197 %	1,265 %

Fuente: elaboración propia.

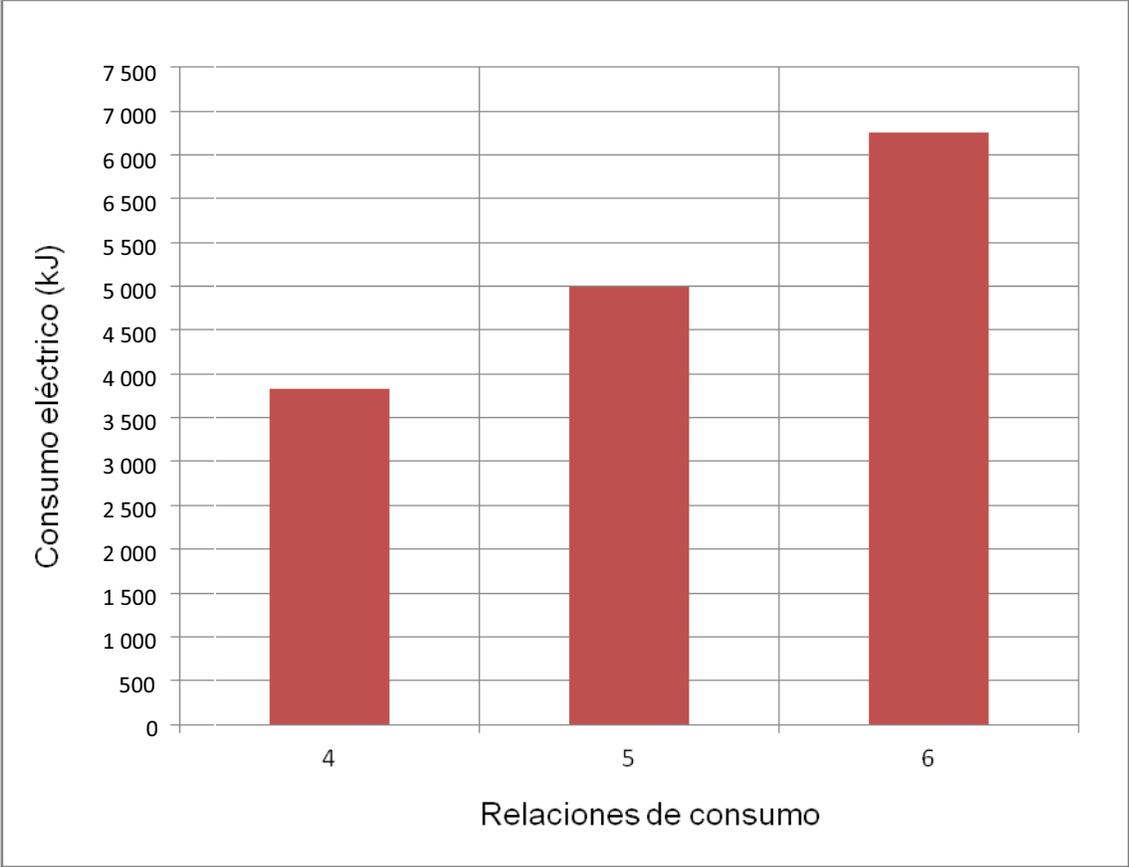
Figura 15. **Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de bomba centrífuga**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-13 050]	0,0188 %	1,812 %

Fuente: elaboración propia.

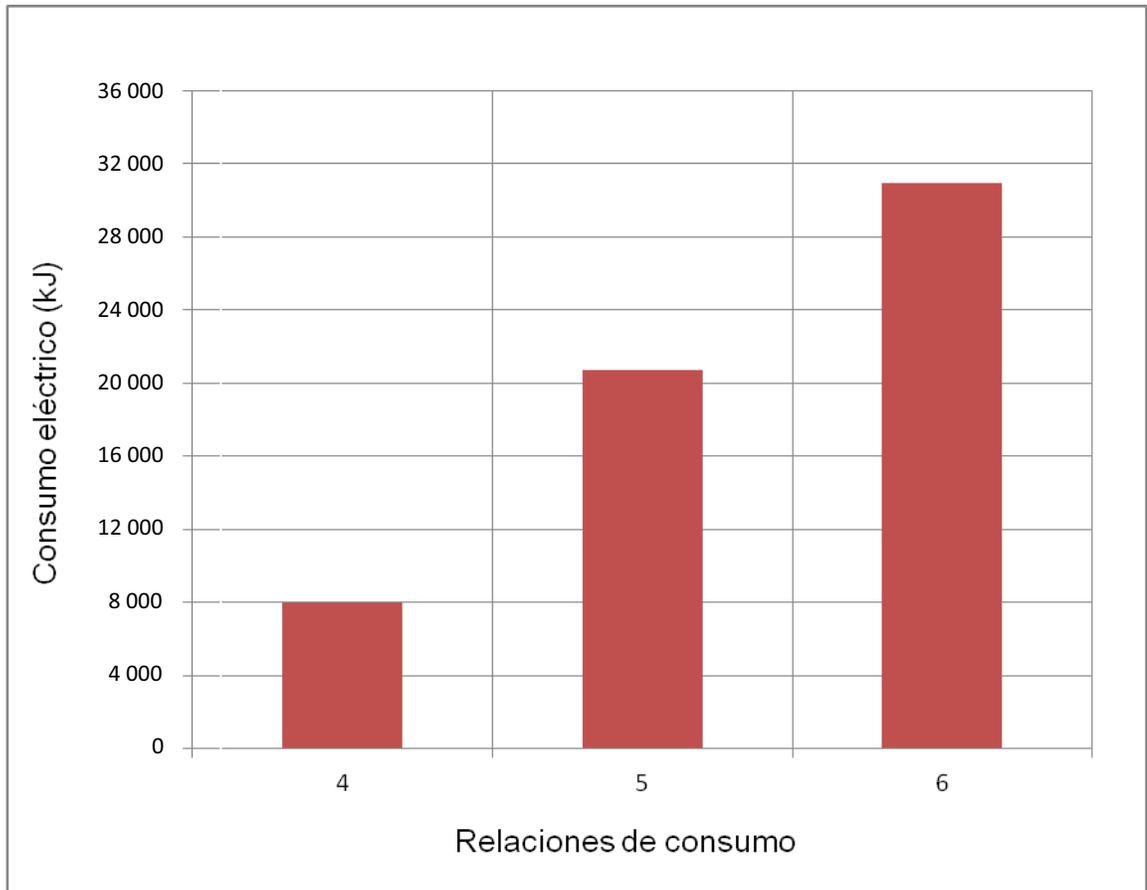
Figura 16. Diagrama de consumo eléctrico, datos experimentales del 2010 para la práctica de tuberías y accesorios



Rango vertical “y”	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-67 050]	0,0188 %	0,9375 %

Fuente: elaboración propia.

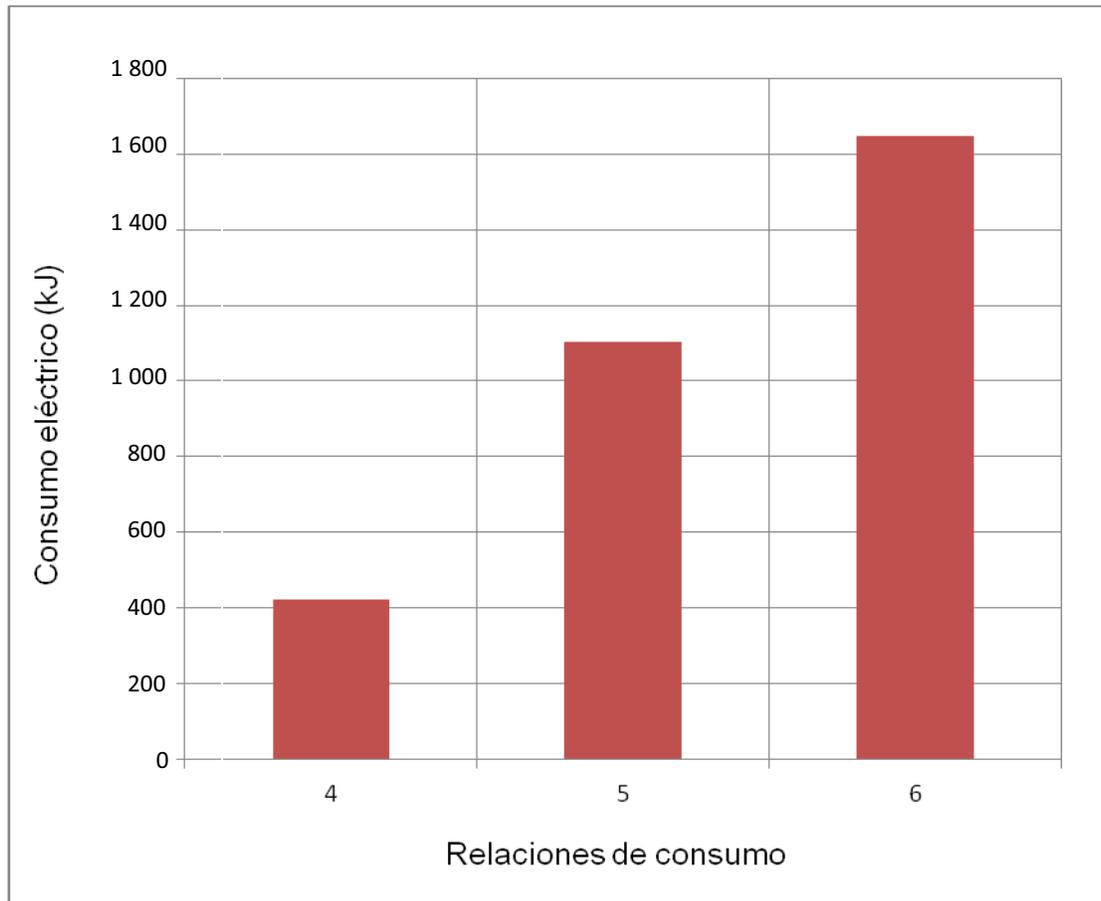
Figura 17. Diagrama de consumo eléctrico, luminarias



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-30 891,7056]	0,0208 %	4,290 %

Fuente: elaboración propia.

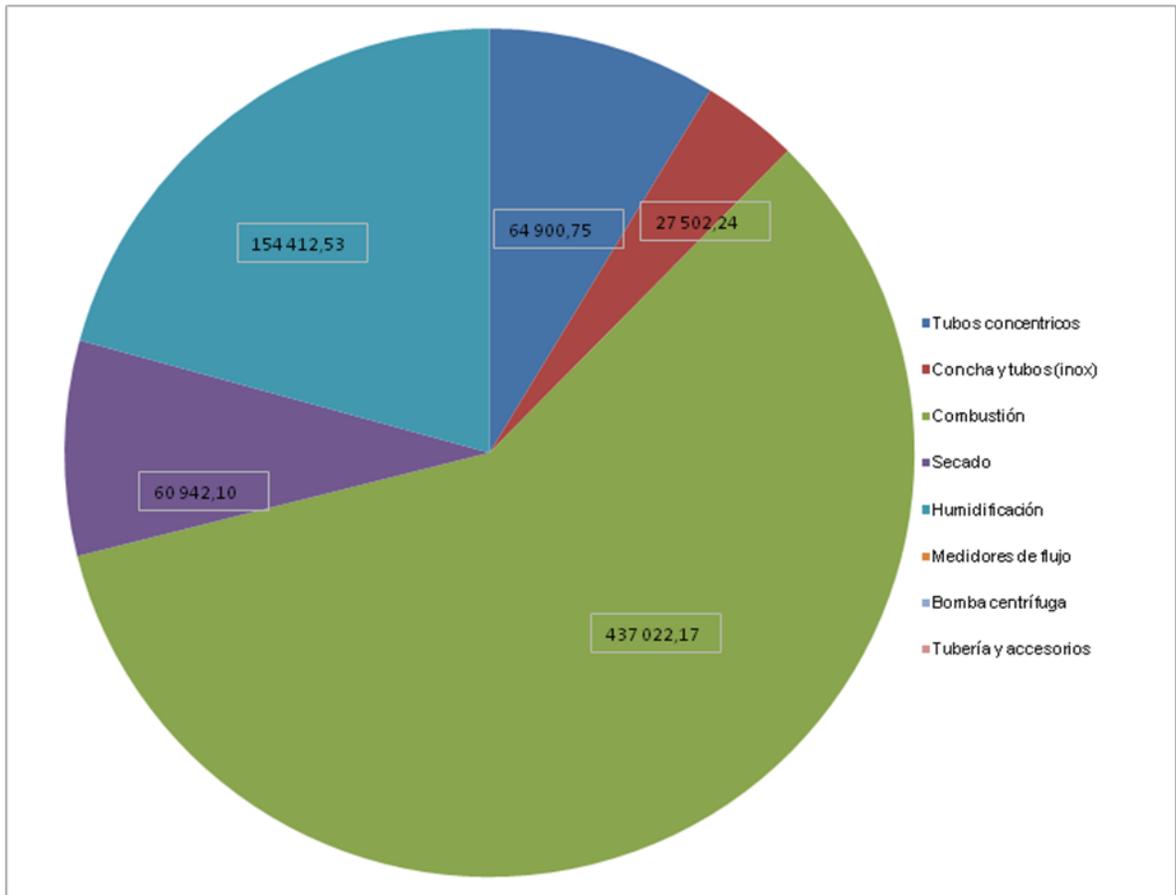
Figura 18. Diagrama de consumo eléctrico, ordenadores portátiles



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-1 647,36]	0,0207 %	0,2287 %

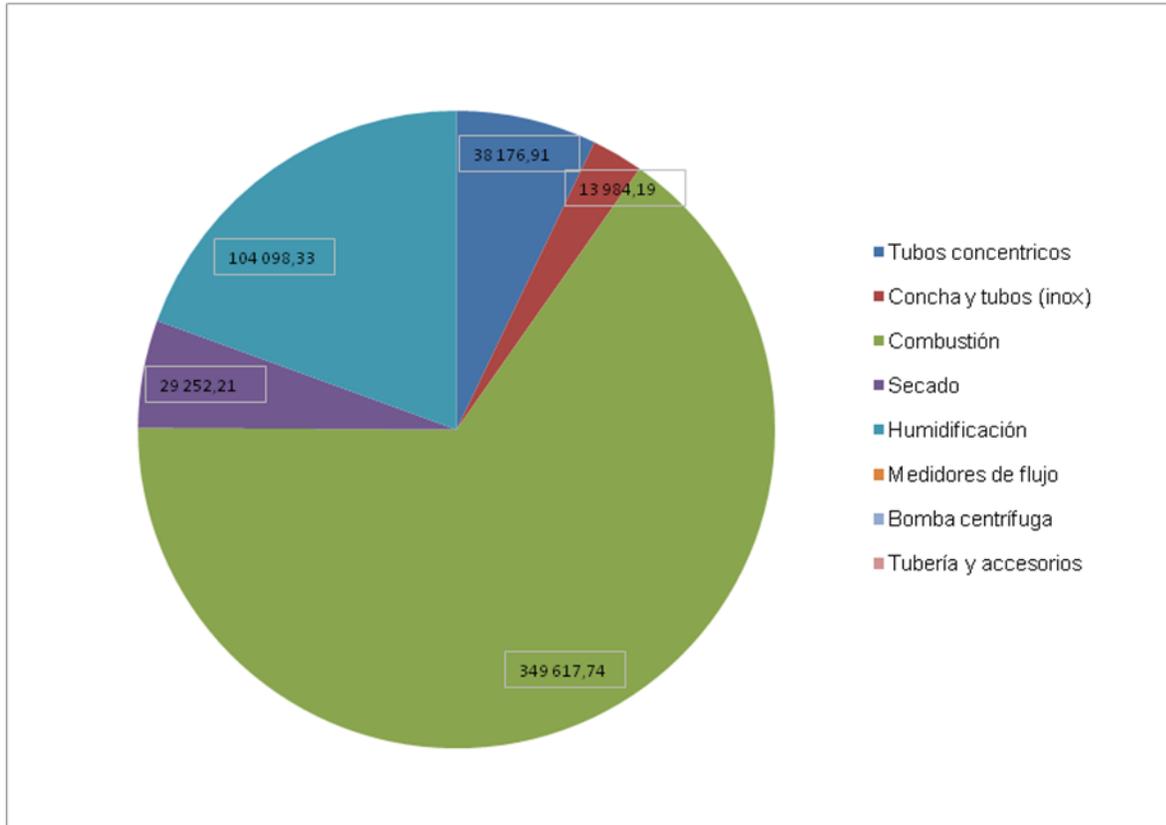
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Magnitudes de consumo térmico (kJ) datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**



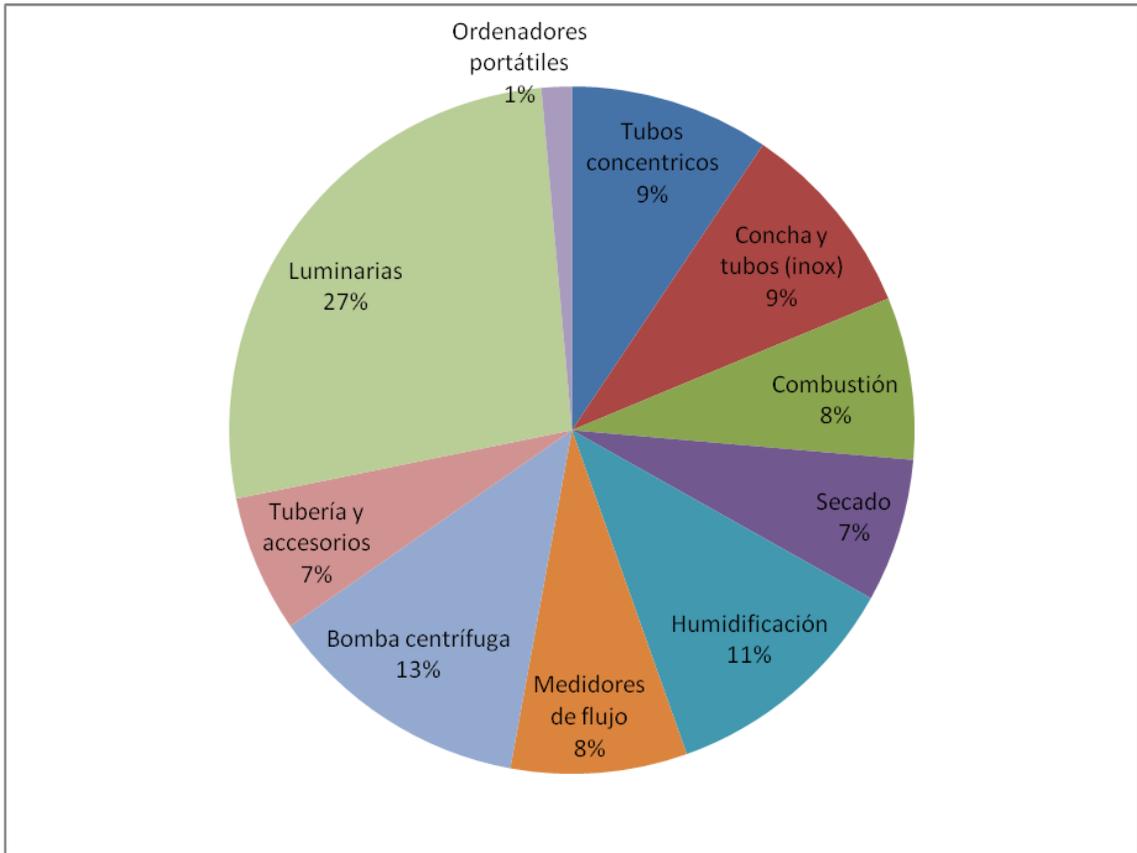
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Consumo térmico (kJ/h) datos experimentales del 2010**
laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2



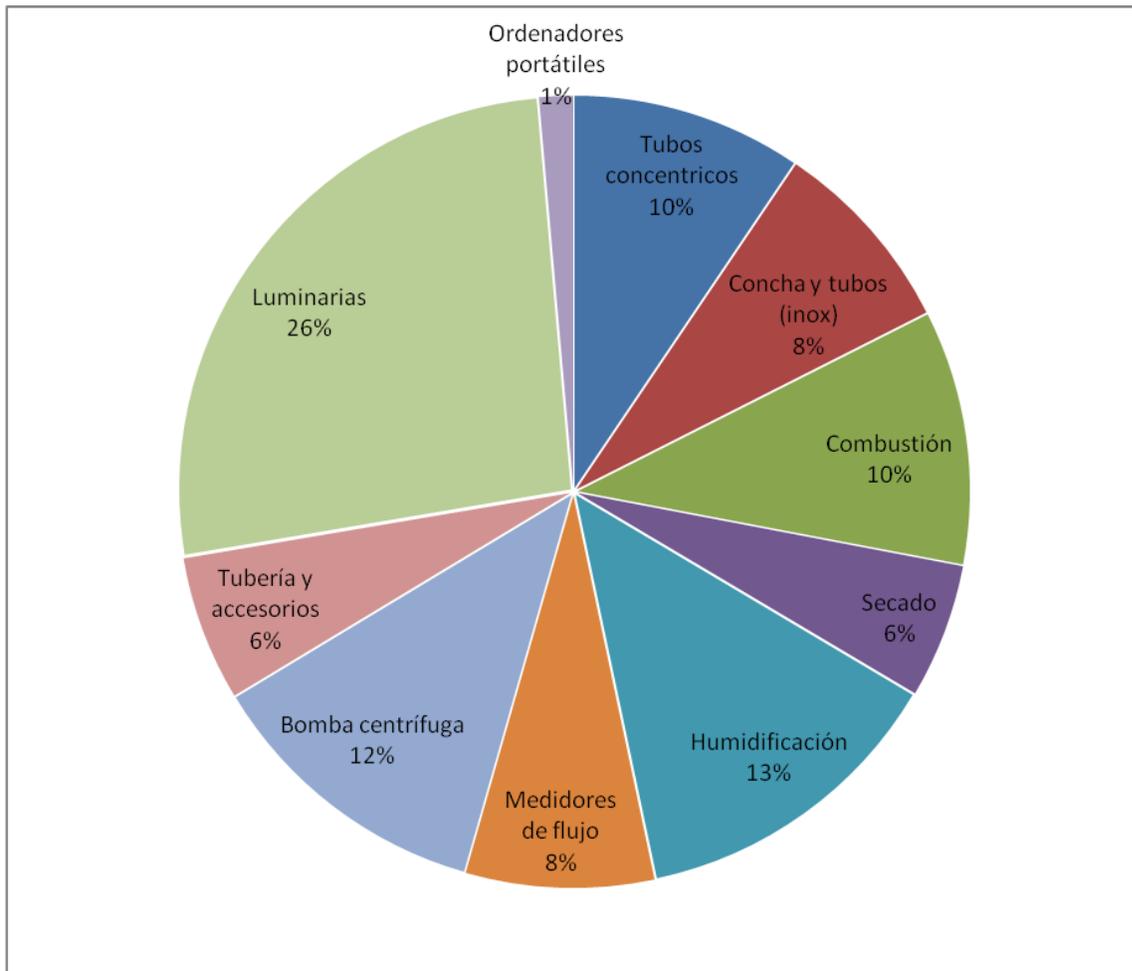
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Magnitudes de consumo eléctrico (kJ) datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**



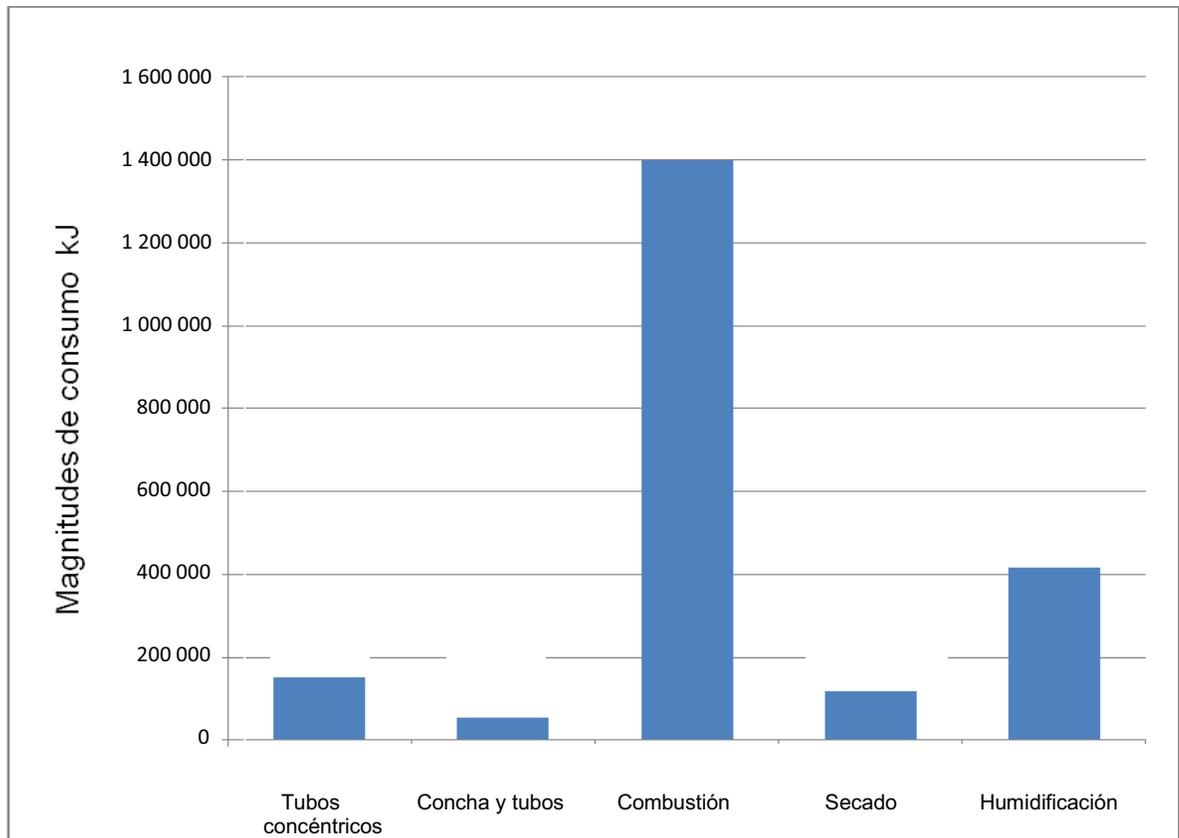
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Consumo eléctrico (kW) datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**



Fuente: elaboración propia

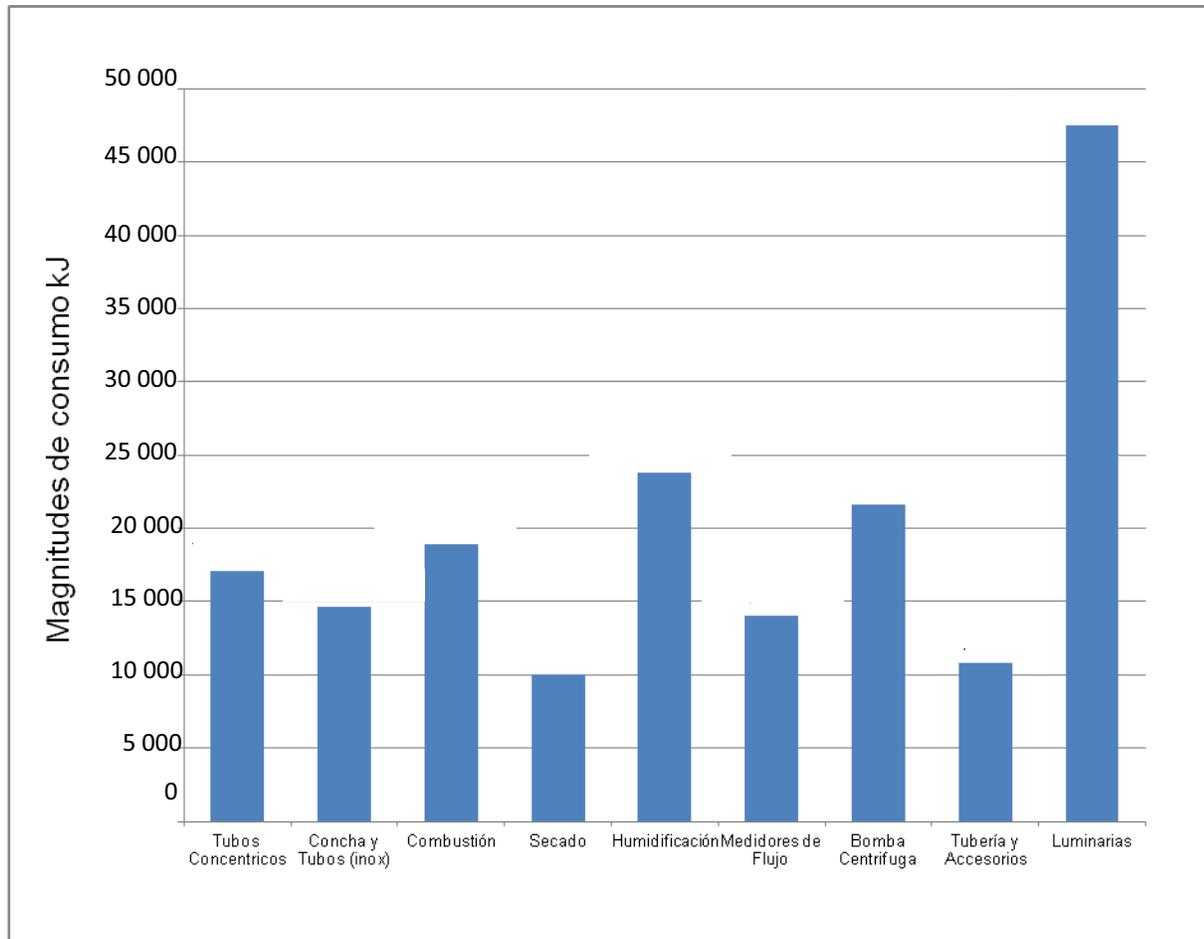
Figura 23. **Magnitudes de consumo térmico máximo (kJ) datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-1 398 470,96]	4,3734 %	4,364 %

Fuente: elaboración propia.

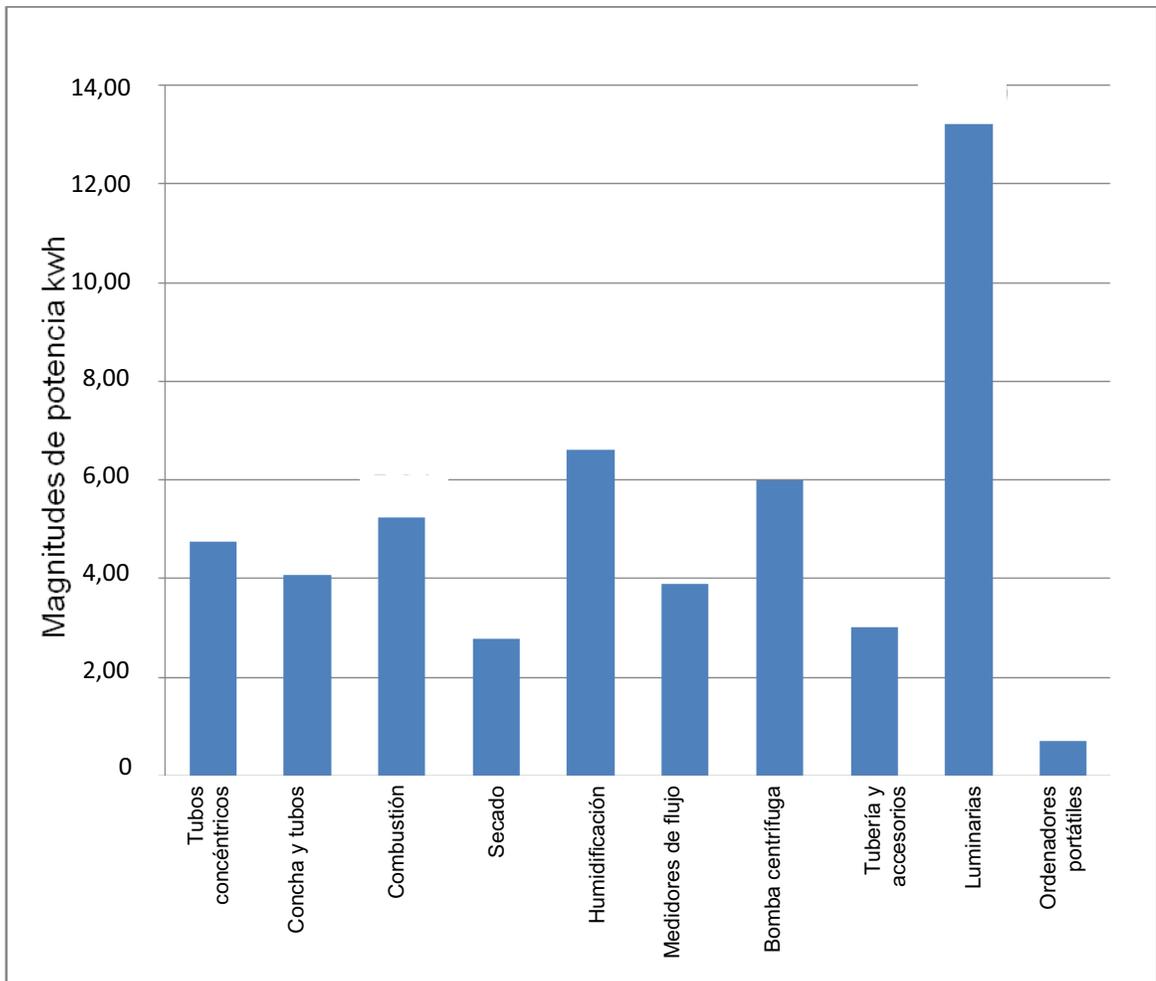
Figura 24. **Magnitudes de consumo eléctrico máximo (kJ) datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-47 524,70]	0,0211 %	4,290 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Magnitudes de potencia eléctrica máxima (kWh) datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**



Rango vertical "y"	Error por incertidumbre (%)	Error por desviación (%)
[0-13,20]	0,0411 %	2,180 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Consumo de combustible diésel, datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**

Equipo	Consumo de diesel por práctica (gal/práctica)	Costo (Q/práctica)
Tubos concéntricos	0,8929 ± 0,0786	28,573 ± 2,5179
Concha y tubos	0,3271 ± 0,0041	10,466 ± 0,1342
Combustión	8,1766 ± 0,7895	261,651 ± 25,67
Secado	0,6841 ± 0,0726	21,892 ± 2,3240
Humidificación	2,4346 ± 0,0604	77,906 ± 1,9337

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Consumo potencia eléctrica máxima, datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**

Equipo	kwh Promedio por práctica	Costo (Q/práctica)
Tubos concéntricos	4,752 ± 0,0013	0,7128 ± 0,00020
Concha y tubos	4,071 ± 0,0011	0,6106 ± 0,00017
Combustión	5,244 ± 0,0015	0,7866 ± 0,00022
Secado	2,783 ± 0,0008	0,4174 ± 0,00012
Humidificación	6,614 ± 0,0018	0,9921 ± 0,00028
Medidores de flujo	3,894 ± 0,0011	0,5841 ± 0,00016
Bomba centrífuga	6,000 ± 0,0017	0,9000 ± 0,00025
Tubería y accesorios	3,000 ± 0,0008	0,4500 ± 0,00013
Luminarias	13,20 ± 0,0037	1,9802 ± 0,00055
Ordenadores portátiles	0,704 ± 0,0002	0,1056 ± 0,00003

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Consumos de potencia promedio, datos experimentales del 2010, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2**

Consumos de potencia (W/práctica)	
Equipo	Promedio
Tubos concéntricos	11 792,70 ± 339,16
Concha y tubos	4 902,25 ± 140,99
Combustión	98 427,04 ± 2 830,76
Secado	8 821,36 ± 253,70
Humidificación	30 569,70 ± 879,18
Medidores de flujo	973,50 ± 28,00
Bomba centrífuga	1 500,00 ± 43,14
Tubería y accesorios	750,00 ± 21,57
Luminarias	3 300,40 ± 94,92
Ordenadores portátiles	176,00 ± 5,06

Fuente: elaboración propia.

Distribución de luminarias, laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2

Cantidad actual: 11 luminarias en laboratorio de operaciones unitarias.

Figura 26. **Distribución actual de luminarias**



Fuente: elaboración propia.

Cantidad adecuada: 22 luminarias en laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2

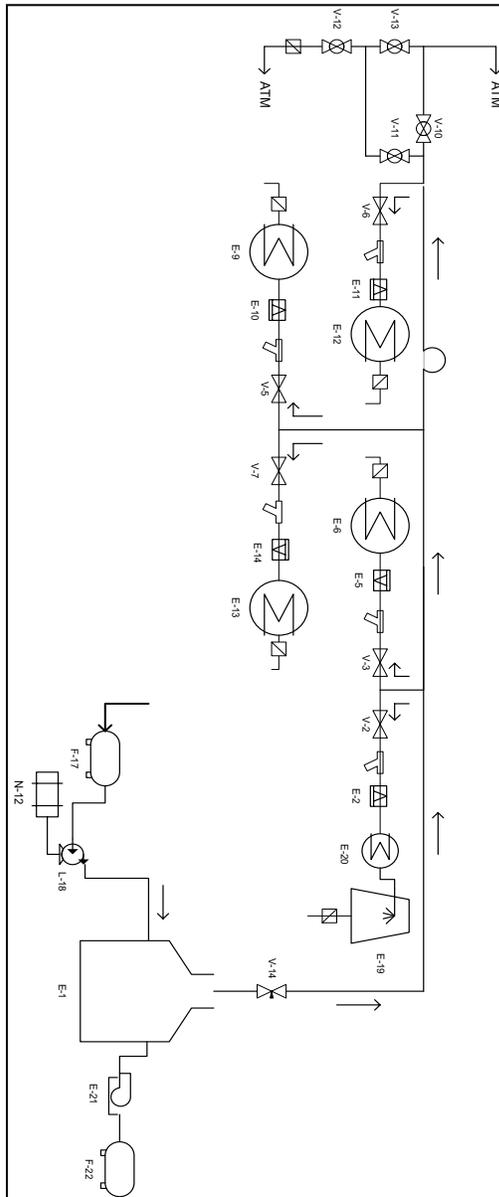
Figura 27. **Distribución adecuada de luminarias**



Fuente: elaboración propia.

Identificación de los flujos de vapor en laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2

Figura 28. Diagrama de vapor



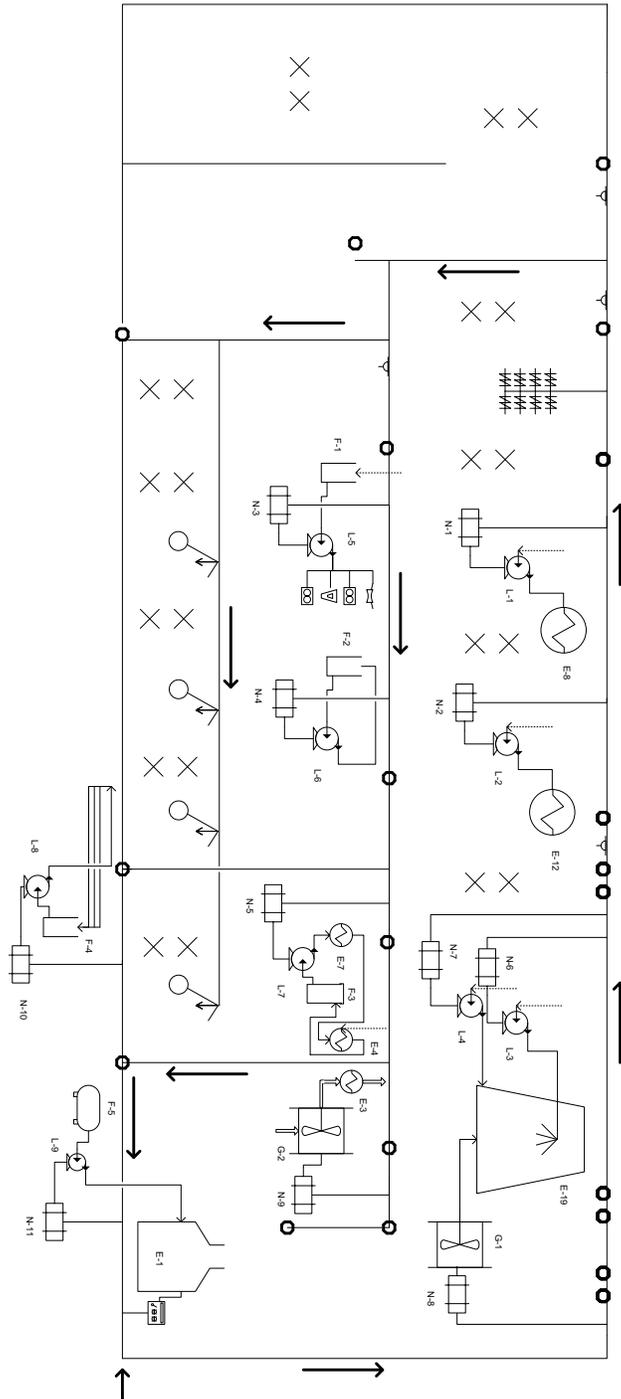
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Lista de equipos en diagrama de vapor**

Equipo	Código
Intercambiadores de calor	E-12, 6, 20, 9, 13
Reguladores de presión	E-2, 5, 10, 11, 14
Torre de humidificación	E-19
Caldera	E-1
Bomba centrífuga de agua	L-18
Tanque de combustible	F-22
Quemador	E-21
Tanque de combustible	F-17
Motor	N-12

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Diagrama eléctrico



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Lista de equipos en diagrama eléctrico**

Lista de equipos	Código
Intercambiadores de calor	E-1,3,4,7,8,12,19
Bomba centrífuga de agua	L-3,4,5,6,8,9
Bomba centrífuga de aceite	L-1,2,7
Transportador de gas	G-1,2
Motores	N-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11
Recipientes de almacenamiento	F-1,2,3,4,5
Caldera	E-1

Fuente: elaboración propia.

4.1. Propuestas de mejoras en el laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2

Las propuestas de mejoras planteadas se enfocaron en optimizar la utilización del recurso energético, buscando la reducción de la energía calórica residual y la energía eléctrica.

4.1.1. Recirculación de vapor de práctica combustión para calentamiento de agua de alimentación

La recirculación de condensados e intercambio de calor mediante una chaqueta térmica para calentar el agua de evaporación, constituye una fuente de reutilización de la energía que actualmente se descarga hacia el ambiente.

En las prácticas en las que involucra la utilización de vapor para calentamiento, al transferir el vapor su calor latente, cambia de fase y se tiene un condensado a la temperatura de líquido saturado máxima (depende del punto de ebullición del mismo, a condiciones actuales del laboratorio se tiene a 94 °C la temperatura del condensado) la reutilización de los condensados o el vapor liberado al ambiente proporciona, con una variación de ± 20 °C, una temperatura de agua de alimentación de 70 °C.

Este aumento de temperatura en el agua de alimentación de la caldera, reduce el consumo energético en un 5.48 % que se traduce en una reducción en la utilización de combustible para producción de vapor.

4.1.2. Dosificación continua de agua a caldera

La caldera del laboratorio de operaciones unitarias produce vapor condensado a 150 psi para utilización en el curso práctico de tipo laboratorio, en cada una de las sesiones prácticas donde se tenga algún intercambio térmico. El vapor se produce intermitentemente debido a que el sistema de dosificación de agua fresca para evaporación es intermitente también. La adición de agua por períodos de tiempo, reduce la temperatura interna de la caldera, lo que influye directamente en el flujo de vapor de salida.

Se propone dosificar el agua para evaporación mediante un sistema de dosificación continua, en el que adicione la cantidad necesaria según balance, para mantener el flujo de vapor requerido.

4.1.3. Medidor de flujo de vapor en salida de caldera para el laboratorio de operaciones unitarias 1 y 2

Figura 30. *Vortex flowmeter*



Fuente: <http://www.emersonprocess.com/rosemount/document/pds/00813-0100-4004.pdf>.

[Consulta: abril de 2010].

Como medida de control y análisis se plantea la posibilidad de instalar un medidor de flujo en la tubería de salida de la caldera, a una distancia adecuada para que el régimen se haya establecido plenamente.

El medidor de flujo planteado funciona para líquidos, gases y vapor. Fabricado en acero inoxidable con aleación de níquel. Debe estar instalado en un mínimo de diez diámetros de tubería sobre la fuente de la corriente y cinco diámetros debajo de la fuente de la corriente utilizando un factor de corrección de flujo, si se tienen más de treinta y cinco diámetros corriente arriba o diez diámetros corriente abajo, el factor no es necesario. El fluido debe ser homogéneo y en una sola fase. La selección de las dimensiones del medidor de flujo apropiado para las condiciones de producción de vapor del laboratorio, están en función de las siguientes variables:

- Propiedades del fluido
- Número de Reynolds
- Velocidades de diseño mínimas
- Temperatura de flujo
- Temperatura ambiental
- Presión
- Humedad ambiental

4.1.4. Luminarias ahorradoras, cubre polvos

La utilización de luminarias fluorescentes ahorradoras requiere de la instalación de protectores cubre polvo para las mismas. Estos protectores protegen la integridad de las lámparas de los factores ambientales (humedad y polvo) además de aumentar la seguridad ocupacional al prevenir y contener cualquier ruptura de las lámparas.

Figura 31. **Luminarias con cubre polvo**



Fuente: <http://www.eltacnet.com/industriales.pdf>. [Consulta: abril de 2010]

4.1.5. Ventilación natural

La ventilación (natural) se puede definir como un flujo de aire a través de un espacio causado por diferencias de presión en una planta o también por gradientes térmicos entre el interior y el exterior.

En algunos casos se puede obtener una excelente ventilación con solo aprovechar las leyes naturales, el aire caliente sube debido a que posee una densidad menor a la del aire frío.

La ventilación natural es una manera eficiente de economizar energía y de contribuir con el ambiente. Los edificios permeables pueden utilizar este tipo de ventilación por medio de secciones abiertas para generar ventilaciones cruzadas y en columnas.

La ventilación cruzada remueve el calor durante períodos calientes y además da la sensación de enfriamiento. Sin embargo, durante períodos calientes, el movimiento de aire es lento y la ventilación en columnas se torna importante. En plantas industriales la ventilación natural no solo genera ahorro energético sino que también ventila áreas donde hay peligro de que se concentren gases químicos que pueden perjudicar a los empleados.

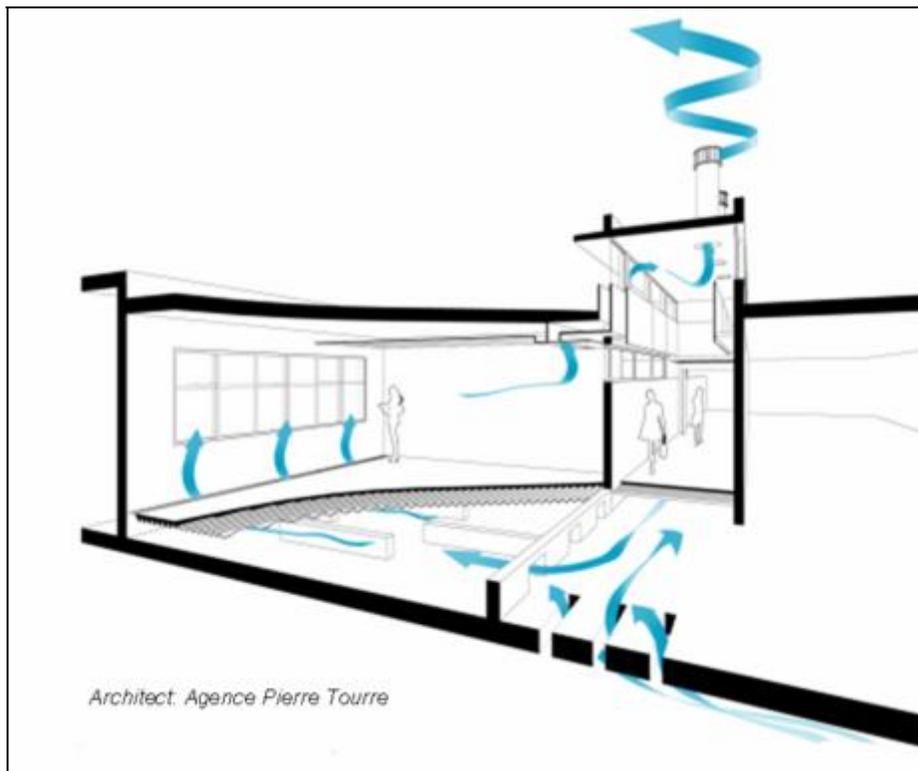
Las aberturas en las paredes se pueden optimizar de tal forma que se aumente la ventilación cruzada y circular el aire a través de los ocupantes para incrementar la sensación de enfriamiento. Si el aire se logra mover rápidamente, se incrementa la velocidad de evaporación de la humedad de la piel de los ocupantes. Cuando la temperatura del aire exterior se encuentre encima de la zona de *confort*, las ventilaciones se deben diseñar no sólo para lograr remover el calor de los cuartos sino también para lograr enfriar a los ocupantes.

El promedio de la velocidad del aire interior es una función de la velocidad del aire exterior, el ángulo de entrada del viento, la ubicación y el tamaño de la abertura. En general, la efectividad del aire que pasa por las aberturas es de 50 a 60% para aberturas perpendiculares a la dirección del viento. Y de 25 a 45 cuando las aberturas se encuentran diagonales a la dirección del viento.

Si bien es cierto que aberturas en paredes opuestas crean un movimiento veloz del viento, las aberturas en paredes adyacentes donde les pega el viento generan turbulencia y mezcla del aire, causando una distribución mayor del aire y un efecto de enfriamiento a través del cuarto.

Es importante que las aberturas se encuentren a un nivel medio de las paredes en los 30 cm y el 1,80 m. No importa si unas están altas y otras bajas, se van a generar altas velocidades.

Figura 32. **Ventilación natural**



Fuente: http://www.acca.it/euleb/es/p15/index_s2.html. [Consulta: abril de 2010]

4.1.6. Ventilación forzada

Es la que se realiza mediante la creación artificial de depresiones o sobre presiones en conductos de distribución de aire o áreas del edificio. Éstas pueden crearse mediante extractores, ventiladores, unidades manejadoras de aire (UMAs) u otros elementos accionados mecánicamente.

La principal diferencia entre los distintos tipos de ventiladores depende específicamente de su aplicación y robustez recomendable, los extractores succionan gases, mientras que los inyectores proporcionan o trasladan aire fresco, ya sea natural o acondicionado de un lugar a otro. Las recomendaciones de instalación para los diferentes tipos de ventiladores son tener claro qué función desempeñará el ventilador, su capacidad de remoción o traslado y su área o ubicación.

Para seleccionar un ventilador industrial se debe verificar el tipo y cantidad de caudal a manejar, el área que deberá instalarse (dimensiones físicas y condiciones térmicas), control de operatividad manual o automático y el tiempo de operación del ventilador.

Es recomendable utilizar variadores de frecuencia en los ventiladores industriales cuando por la capacidad de los motores internos de cada ventilador, se necesite tener un torque adecuado y una velocidad constante. Al utilizarlos se controla un proceso y al mismo tiempo se aplica un ahorro energético por equipo.

Existen dos tipos básicos de ventilación mecánica:

- Enfriamiento de un área, el cual utiliza ventiladores para inyectar el aire exterior al interior, removiendo el calor de los cuartos.
- Enfriamiento de personas, el cual utiliza ventiladores para mover el aire a través de los ocupantes y remover el calor de sus cuerpos.

La ventilación mecánica se puede utilizar en conjunto con la ventilación natural de tal forma que se logre generar un ahorro energético.

4.1.7. Iluminación natural

Se puede definir como el aprovechamiento de la iluminación proveniente de los rayos del sol. Existen diversos medios, desde algunos muy simples hasta otros extremadamente complejos, en los que se puede aprovechar la energía lumínica proveniente del sol. De estos medios, el más adecuado según la infraestructura existente actualmente en el laboratorio, son láminas translúcidas de fibra de vidrio.

Estas láminas permiten el paso de luz, además de poseer ciertas ventajas en comparación a otros sistemas, entre las que se encuentran: económicas, fáciles de instalar y simples en funcionamiento. Este sistema presenta ciertas desventajas, entre las que se tienen: limpieza (necesitan una limpieza periódica para mantener una iluminación adecuada) y durabilidad.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las magnitudes de energía consumida, térmica y eléctrica, se presentaron en un diagrama de barras y en un diagrama de distribución de proporciones. La energía térmica consumida, por equipo, se presenta en un gráfico de barras, que presenta el incremento en el consumo de energía, proporcional al tiempo de trabajo y al consumo de vapor presentado por práctica. El tiempo de trabajo y las magnitudes presentadas, se determinaron durante las sesiones de práctica realizadas por estudiantes del laboratorio de operaciones 1 y 2.

Los gráficos de proporciones presentados son para cada uno de los equipos que consumen vapor como fuente de energía para intercambio de calor. Magnitudes eléctricas se presentaron de igual forma, en un gráfico de magnitudes de consumo mínimas, promedio y máximas. Los gráficos presentados, concuerdan con el comportamiento esperado para el consumo energético, el consumo aumenta al crecer el tiempo de utilización del equipo y lógicamente al aumentar el flujo del vapor utilizado para calentamiento.

Se presentan diagramas de proporciones para consumo térmico y eléctrico, en el que la magnitud del consumo o el flujo de consumo se encuentran en proporción al diagrama presentado, en cada equipo y para cada práctica de laboratorio. En esta representación se utilizan consumos promedio de cada equipo, con la finalidad de ilustrar la distribución de consumo por equipo, para cada sesión de práctica en el laboratorio.

El consumo térmico máximo lo constituye la práctica de combustión. Debido al diseño experimental de la misma, en el que se trabajan ciclos repetitivos de encendido y apagado de la bomba que introduce el agua en la caldera, el flujo de vapor para realizar estos ciclos se libera al ambiente continuamente durante el tiempo de práctica. Al no presentar ninguna restricción en la salida, el flujo de vapor no aprovechado en las otras prácticas se pierde al ambiente, constituyendo el 62% del vapor y de la energía térmica consumida en el proceso.

El consumo de diésel está ligado con el flujo másico de vapor generado por práctica y por día. El volumen consumido de diésel aporta poder calorífico, mediante su combustión, al agua para el cambio a la fase de vapor y trasladarlo a los equipos a la presión y temperatura necesaria. La relación entre el volumen de diésel necesario para evaporar una unidad de masa de vapor por unidad de tiempo, depende de la energía que es capaz de aportar el combustible, la entalpía de vaporización del agua, la eficiencia de transferencia de calor y el tiempo de residencia de los gases de combustión dentro de los tubos de la caldera.

El tiempo de trabajo máximo lo constituye la práctica de secado, que tiene como objetivo de análisis, la construcción de curvas de secado empíricas para el sólido utilizado en el proceso. La magnitud de energía térmica consumida aumenta en proporción al tiempo de trabajo, a la velocidad de admisión de aire para calentamiento y a la apertura de la válvula dámper que se encuentra en el secador.

El mayor costo, derivado del consumo eléctrico, está asociado al consumo por parte de las luminarias en funcionamiento, este consumo depende del tiempo de trabajo promedio por sesión de prácticas y del periodo de trabajo. Este costo puede disminuirse aprovechando la iluminación natural o disminuyendo el consumo de las mismas.

Las propuestas de mejoras planteadas se enfocan en dos aspectos: optimización de energía térmica y mejoras generales. El primer aspecto plantea la reducción o reutilización de la energía térmica residual de los procesos que involucran intercambio de calor entre el vapor, un medio intermedio de transferencia y un fluido de enfriamiento final. La energía transmitida al medio de enfriamiento, que usualmente es agua, puede reutilizarse al ser introducida nuevamente para su evaporación. El beneficio involucra la reducción del gradiente de calentamiento (calor sensible) dentro de la caldera, y si se mantiene el sistema de llenado intermitente, beneficiará reduciendo el período de enfriamiento interno y no generación de vapor de la caldera.

Período que resulta cuando se adiciona agua a temperatura ambiente para evaporación, la cual reduce la temperatura interna de la caldera y como consecuencia se obtiene un período corto de reducción de flujo de vapor.

En las mejoras generales planteadas, se mencionan mejoras en aspectos ocupacionales del laboratorio, los que se contemplan: mejoras en iluminación, ventilación y equipos. Estas propuestas buscan, con la menor cantidad de cambios, beneficios ambientales en la realización de las prácticas, mayor comprensión del principio fundamental de funcionamiento de cada equipo y optimización en uso de insumos energéticos y másicos.

CONCLUSIONES

1. Los diagramas presentados para cada práctica muestran magnitudes de consumo según las relaciones entre flujo de vapor y tiempo de práctica, incrementando la magnitud de energía consumida al aumentar el tiempo de práctica y el flujo de vapor.
2. La magnitud de consumo térmico mayor lo constituye la práctica de combustión, al requerir un mayor intercambio de calor para producir vapor y distribuirlo para el funcionamiento de los demás equipos y liberarlo al ambiente.
3. El mayor consumo de combustible, derivado del consumo energético en proporción, lo presenta la práctica de combustión.
4. Las luminarias instaladas actualmente en el laboratorio de operaciones unitarias representan el mayor consumo de energía eléctrica, según el diagrama de proporciones presentado por equipos.
5. El mayor consumo eléctrico, como potencia, derivado del consumo energético en proporción, lo constituyen las luminarias instaladas actualmente.
6. Mejoras propuestas, en términos de reutilización de vapor, plantean la reducción o reutilización de la energía térmica residual de los procesos que involucran intercambio de calor utilizando como insumo primordial vapor perdido y condensado.

7. La reutilización de agua de enfriamiento, beneficia la evaporación al reducir el gradiente de calentamiento (calor sensible) dentro de la caldera, disminuyendo el aporte de energía necesario por parte de la quema de combustible.

8. Actualmente, no se cumple con las condiciones mínimas de iluminación artificial, haciendo necesario la reestructuración de la cantidad y el tipo de luminarias a utilizar.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el vapor de salida, producto de la práctica de combustión, para calentamiento del agua utilizada como insumo para la producción de vapor, aprovechando de esta forma el 60% de vapor liberado al ambiente. Esta modificación reduciría la inversión energética necesaria para el cambio de fase del agua en un 5,48%.
2. Incluir en la práctica de combustión la utilización de la caldera instalada para suministrar vapor en el LIEXVE, con el fin de disminuir el consumo de combustible en la generación de vapor, debido a la menor capacidad de esta caldera (en comparación con la caldera utilizada actualmente). Esta caldera posee la instrumentación básica para el monitoreo del funcionamiento y desempeño del equipo, de manera que puede utilizarse para el cumplimiento de los objetivos prácticos del laboratorio.
3. Utilizar condensados como insumo para agua de evaporación, reduce el gradiente de calentamiento y reduce el volumen de agua necesario para tratamiento previo de reducción de dureza. Se propone la reutilización en un máximo de 20 ciclos de concentración.
4. Incrementar el número de luminarias dentro del laboratorio, utilizando lámparas con un consumo menor de potencia y con la misma o mayor cantidad de lúmenes de iluminación, para de esta forma cumplir con los requerimientos mínimos para un laboratorio práctico

BIBLIOGRAFÍA

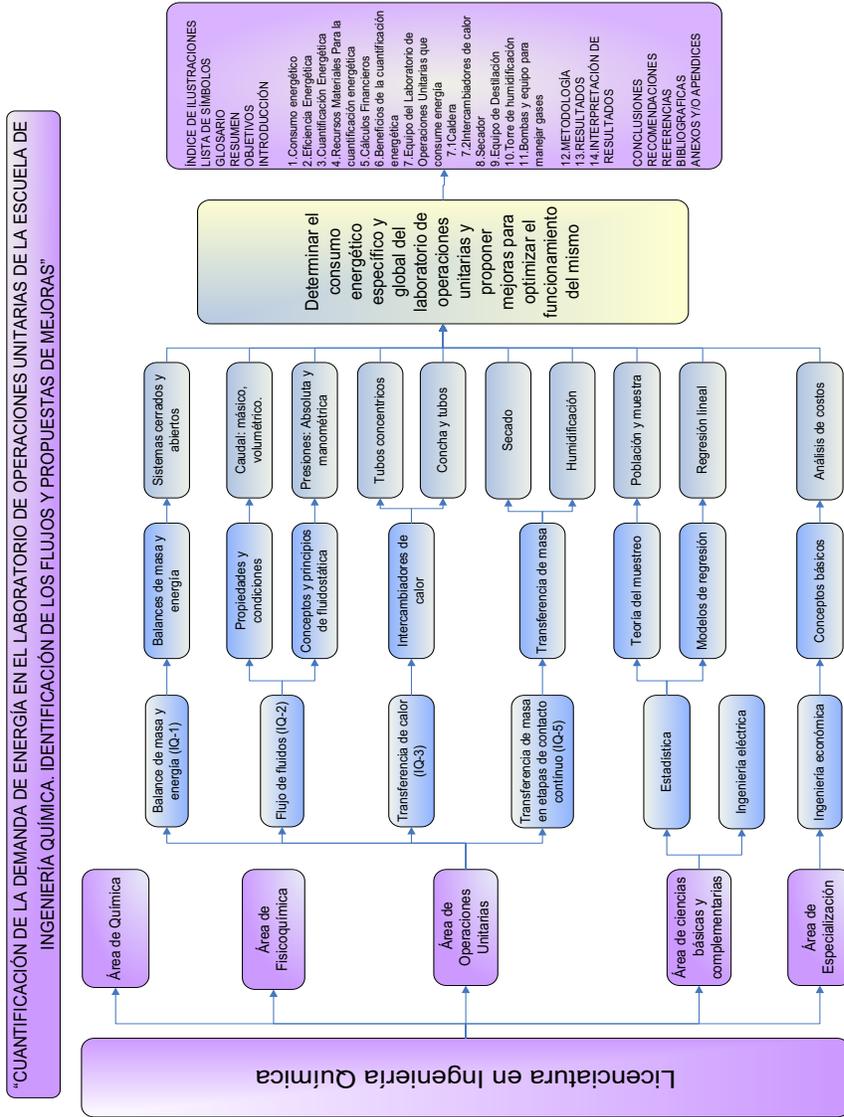
1. Agencia Centroamericana de Acreditación de programas de Ingeniería y Arquitectura. *Informe de visita de equipo evaluador. España: ACAAI, 2008. p. 12-36.*
2. Asociación para la Investigación y Diagnóstico de la Energía. *Manual de Auditorías Energéticas [en línea]. 2003. España: AEDIE. <<http://www.camamadrid.es>> [Consulta: junio de 2010].*
3. CENGEL, Yunus A. *Transferencia de calor y masa. 3ª ed. México: McGraw-Hill, 2007. p. 11-16, 667–683. ISBN-13: 978-970-10-6173-2.*
4. CREA. *Auditorías energéticas [en línea]. <http://crea.uclm.es/crea2/sp/actividades/documentos/Auditorias_energ%C9ticasCREA.pdf> [Consulta: marzo de 2009].*
5. GARCIA, Manuel. *Eficiencia energética: sector industrial [en línea]. Madrid. <http://www.atisae.com/opencms/opencms/sectores/energia/3-_Ficha_comerc_E_Industria.pdf>. [Consulta: abril de 2010].*
6. GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª ed. México: CECSA, 1998. p. 712 – 753. ISBN: 968-26-1316-7.*

7. McCABE, Warren. et. al. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4^a ed. España: McGraw-Hill, 1991. p. 767 – 867. ISBN: 84-481-1918-5.

8. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2^a ed. México: McGraw-Hill, 1998. p. 378–472. ISBN: 968-6046-34-8.

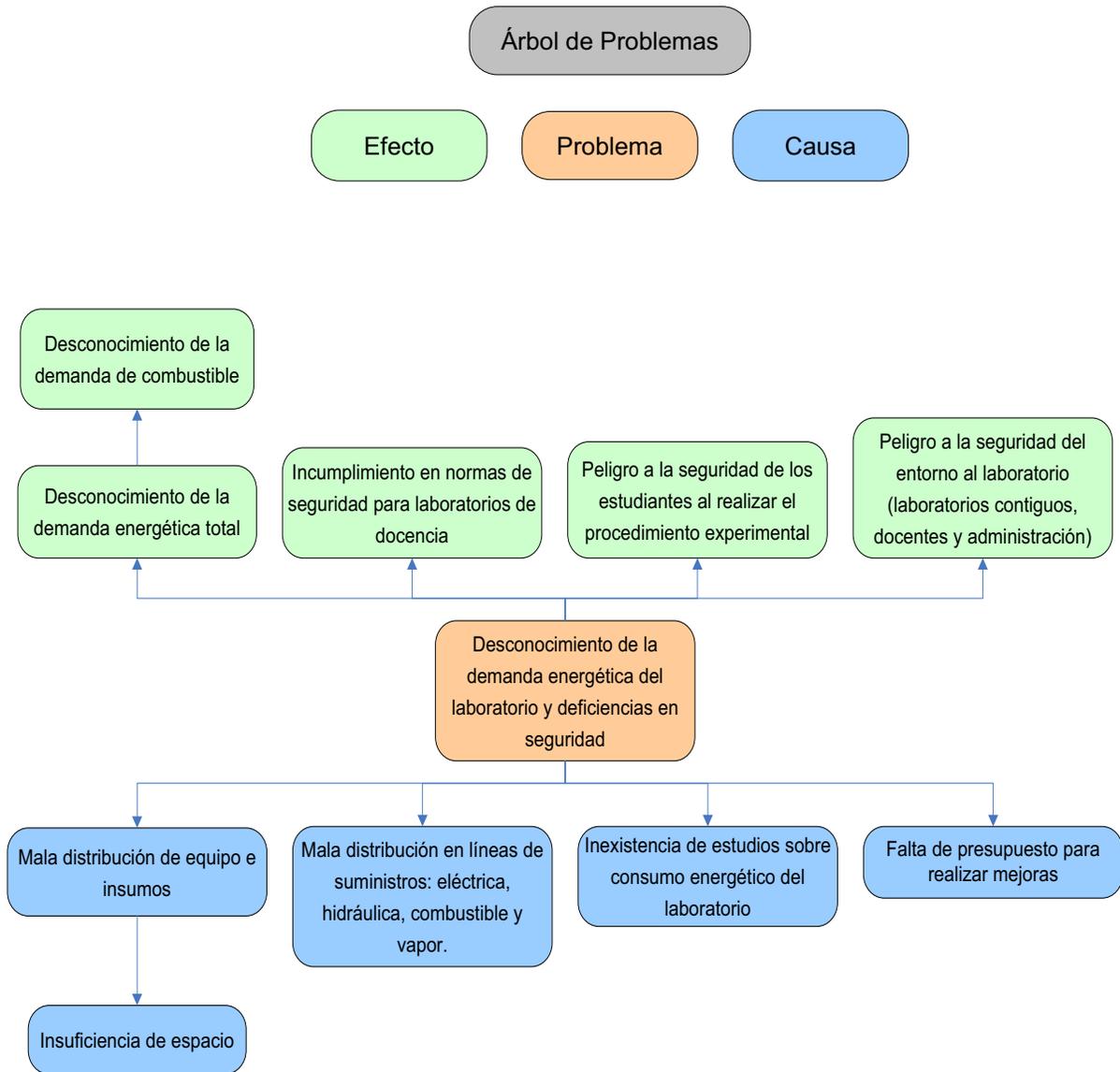
APÉNDICES

APÉNDICE 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 2. Árbol de problemas



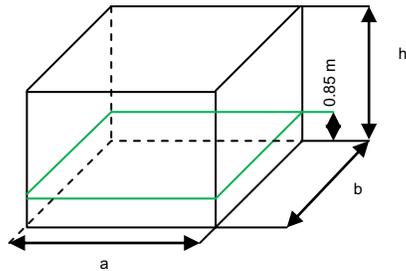
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Método cavidad zonal, cálculo de luminarias

Datos de entrada para el método de cavidad zonal

Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0,85 m.

- $a = 8,27$
- $b = 32,24$
- $h' = 3,45$



Nivel de iluminancia media en el Laboratorio de Operaciones Unitarias

Centros docentes: aulas, laboratorios, 500 luxes.

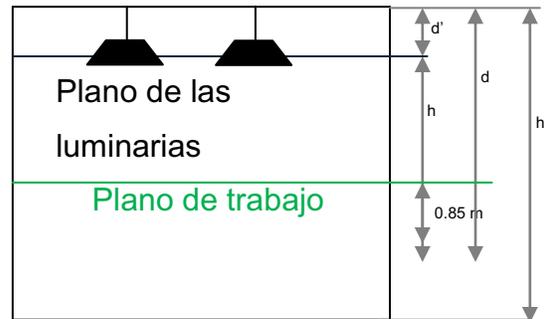
Tipo de lámpara en el Laboratorio de Operaciones Unitarias

Industrial = luminarias situadas a baja altura ($\leq 6\text{ m}$). Fluorescentes

Sistemas de alumbrado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias

Alumbrado general.

Altura de suspensión de luminarias en el Laboratorio de Operaciones Unitarias



- h : altura entre el plano de trabajo y las luminarias
- h' : altura del local
- d : altura del plano de trabajo al techo
- d' : altura entre el plano de trabajo y las luminarias

Altura óptima de luminarias en el Laboratorio de Operaciones Unitarias

$$h = \frac{4}{5} * (h' - 0,85)$$

$$h = \frac{4}{5} * (3,45 - 0,85) = 2,08m$$

$$d = 2,6 \quad d' = 0,52m$$

Índice del local (k) para el método de cavidad zonal

$$k = \frac{a*b}{h*(a+b)}$$

$$k = \frac{8,27 * 32,24}{2,08 * (8,27 + 32,24)} = 3,1642$$

Determinar los coeficientes de reflexión para el método de cavidad zonal

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Medio	0,3
Paredes	Oscuro	0,1
Suelo	Oscuro	0,1

Determinar el factor de utilización del método

FU = 0,45 (determinado en tabla)

Factor de mantenimiento (f_m) o conservación en el Laboratorio de Operaciones Unitarias

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Sucio	0,6

Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula

$$\Phi_T = \frac{E * S}{n * f_m}$$

Donde:

- Φ_T es el flujo luminoso total
- E es la iluminancia media deseada
- S es la superficie del plano de trabajo
- n es el factor de utilización
- f_m es el factor de mantenimiento

$$\Phi_T = \frac{500 * (8,27 * 32,24) * (0,4)}{0,45 * 0,8} = 148\ 124,89 \text{ lumenes}$$

Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \quad \text{Redondeado por exceso}$$

Donde:

- N es el número de luminarias
- Φ_T es el flujo luminoso total
- Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara
- n es el número de lámparas por luminaria

$$N = \frac{148\ 124,89}{2 * 3\ 200} \approx 22 \text{ lu min arias}$$

Emplazamiento de luminarias en el Laboratorio de Operaciones Unitarias

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{22}{32,24}} * 8,27 \approx 2 \text{ lu min arias}$$

$$N_{largo} = 2 * \frac{32,24}{8,27} \approx 10 \text{ lu min arias}$$

