

Desarrollo e implementación de estrategias enfocadas a la disminución del consumo de energía eléctrica en una empresa cervecera

Gilberto Díaz Caravantes, Jesús Héctor Hernández López, Rafael León Velázquez, Armando Ambrosio López

Resumen— En este artículo se presenta el desarrollo e implementación de las principales estrategias de uso eficiente de energía eléctrica en una industria cervecera, como resultado de la realización de un diagnóstico energético. En este trabajo se desarrolló una metodología para el estudio energético a partir de diversas fuentes de información, agregando además un enfoque de procesos para lograr la solución final, la cual se encontró, principalmente, en los sistemas de refrigeración y aire comprimido de sala de máquinas.

La metodología propuesta consta básicamente de dos etapas: en primer lugar se identificaron los principales equipos consumidores de energía eléctrica en la planta y posteriormente se desarrollaron e implementaron soluciones técnico-económicamente viables para eficientar el uso de energía eléctrica de estos equipos.

Palabras clave— Energía eléctrica, disminución de consumo.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado una tendencia a nivel mundial en lo referente a la economía, la globalización, la cual ha repercutido en todos los países incluyendo el nuestro. Uno de los efectos de esta globalización es la disminución de costos de los productos por la amplia competencia que se presenta, obligando a las empresas a

disminuir costos eficientando los recursos utilizados en sus procesos.

La electricidad, a diferencia de otros productos energéticos, no es un recurso natural sino un bien que el hombre crea y provee dentro de las sociedades modernas para impulsar el desarrollo de sus actividades cotidianas y el crecimiento de sus economías. Sin energía eléctrica suficiente, el crecimiento económico que ha experimentado el mundo entero y por supuesto México durante el último siglo no hubiese sido posible y sin lugar a dudas se comprometería su desarrollo futuro.

México contaba con una capacidad instalada de generación de energía eléctrica de 36,666.3 MW en 1999 distribuidas como sigue: 60 % tuvo como destino el sector industrial, 23 % el residencial, 11 % el comercial y de servicios, y 6 % el agrícola; por otro lado, el 69.47% de la generación de energía eléctrica en México es a través de combustibles fósiles, contribuyendo el combustóleo, diesel y gas con el 60.39 %, el carbón con el 6.07 % y finalmente las nucleoelectricas con el 3.04 %, el resto de la generación eléctrica corresponde a plantas hidroeléctricas con el 27.9 %, geotermoeléctricas con el 2.31 % y eólica con el 0.004% [1].

A fin de garantizar un suministro adecuado y oportuno de este recurso, considerando el acentuado ritmo de crecimiento registrado en la década de los 80, a partir de 1990 se aplicaron en México tres estrategias básicas: la primera consistió en acelerar el proceso de construcción y entrada en operación de nuevas centrales eléctricas; la segunda se enfocó a cambiar algunos conceptos en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, a fin de permitir la participación del sector privado en la generación de este recurso; y por último, en la tercera se planteó como objetivo primordial el ahorro de energía eléctrica [2].

La empresa, en donde se realizó el estudio, no es ajena a esto, por lo que está en un proceso de mejora continua para la disminución de costos de sus productos, garantizando de esta forma su sobrevivencia dentro del mercado cervecero.

De esta forma surge la necesidad de eficientar el consumo de energía eléctrica dentro de la planta, no solo por su beneficio económico, sino también por su contribución al medio ambiente, la cual es otra importante preocupación dentro de la empresa, reflejada en la certificación obtenida en ISO 14000, con la cual se han presentado objetivos de disminución del consumo de energía eléctrica auditables para

Manuscrito recibido el 20 de julio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Gilberto Díaz Caravantes. Actualmente labora como Jefe de Mantenimiento Eléctrico en Cervecería Modelo del Noroeste, S.A. de C.V., gildiaze@hotmail.com

Jesús Héctor Hernández López actualmente labora como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail jehdez@itson.mx)

Rafael León Velázquez actualmente se desempeña como Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail rleon@itson.mx)

Armando Ambrosio López hasta la fecha de ha desempeñado como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail aambrosi@itson.mx)

el sistema de calidad de la planta. De allí surge el objetivo primordial del presente trabajo que es elaborar e implementar estrategias de solución técnica y económicamente viables a las principales causas que impactan al consumo de energía eléctrica en dicha empresa.

II. DESARROLLO

Procedimiento para realizar el diagnóstico energético

El método desarrollado para la realización de estudio es el siguiente:

Paso 1. Recolección de información básica e inventario general de las instalaciones.

- Identificación del proceso productivo y/o áreas principales.
- Identificación de las fuentes de energía.
- Identificación de los consumidores de energía, capacidad instalada y horas de operación.
- Información histórica de las facturas de los suministradores de energía

Paso 2. Elaborar balances de energía, con el objeto de conocer la distribución de energía en las diferentes fases del proceso productivo y/o áreas, es decir, la caracterización de la carga realizando un levantamiento de datos mediante registros y mediciones puntuales. Las diferentes formas de energía que entran o salen del sistema deben estar referidas a un mismo período de tiempo y expresadas en las mismas unidades.

Paso 3. Determinar la incidencia del consumo de energía de cada equipo o grupo de equipos en el consumo de energía total y por lo tanto en el costo total.

Paso 4. Obtener índices de consumo de energía los cuales pueden ser usados para determinar la eficiencia energética de las operaciones y consecuentemente, el potencial de ahorro de energía, que en este caso especial será kWh/hectolitro de mosto diluido.

Paso 5. Determinar los potenciales de ahorro de energía por equipos, áreas o centros de costos, mediante una evaluación técnica detallada en los diferentes campos, como:

- Sistemas eléctricos: evaluación de la transformación y distribución, cargas eléctricas, sistema tarifario, generación propia.
- Sistemas mecánicos: evaluación de sistemas de aire comprimido, sistemas de bombeo, sistemas de manejo de aire, manejo de materiales sólidos.
- Sistemas térmicos: generación de vapor, sistemas de recuperación de calor residual, redes de distribución de fluidos térmicos, sistemas de refrigeración y aire acondicionado, hornos industriales, sistemas de quemadores, etc.

Paso 6. Identificar las medidas apropiadas de ahorro de energía.

Paso 7. Evaluación de los ahorros de energía en términos de costos. Se lleva a cabo una evaluación económica que permite realizar un análisis en función de los

desembolsos requeridos para poner en práctica las recomendaciones del diagnóstico. (Eficiencia Energética, 2002).

De esta forma, destaca la importancia del paso 5 y 6, fundamentales para llegar a la evaluación financiera, por lo que a continuación se analizan los sistemas más importantes dentro del departamento de salas de máquinas y calderas que son el sistema de aire comprimido y de refrigeración.

Resultados obtenidos de la aplicación del método

Recolección de información básica

Dentro de este primer punto se obtuvieron los consumos mensuales de energía eléctrica durante los meses del 2003 de la planta, los cuales se tomaron del recibo de CFE.

De la misma forma, se presenta la producción de hectolitros de comparación de cerveza y la relación kWh/hl de comparación como índice energético para la planta en la tabla 1. El hl de comparación es el promedio de los hectolitros producidos en el área de cocimientos más los hectolitros envasados.

Para interpretar mejor la información, se presenta la figura 1 con los datos graficados, dentro de lo que cabe resaltar que la tendencia de los kWh y la producción en hl es muy similar y aumenta en los meses de mayo a septiembre.

Sin embargo, la gráfica con el índice energético de la planta (kWh/hl de comparación) no sigue esa tendencia y tiene picos de variación significativos, lo cual nos indica que existe un potencial de ahorro de energía en la planta, principalmente en los meses de agosto a noviembre, donde a pesar de que el consumo en kWh y los hl de comparación bajan, la relación tiende a subir.

Después de haber observado la gráfica de consumo de energía eléctrica de la planta, obtenida de los recibos de C.F.E., es importante conocer como se distribuye ésta en las diferentes áreas de la planta.

TABLA 1. CONSUMO DE KWH, PRODUCCIÓN EN HL DE COMPARACIÓN Y RELACIÓN KWH/HL DE COMPARACIÓN TOTALES EN PLANTA EN EL 2003.

Mes	2003		
	kWh	hl comparación	kWh / hl
Enero	2,193,268	193,884	11.31
Febrero	2,024,231	195,934	10.33
Marzo	2,347,590	238,151	9.86
Abril	2,325,465	219,930	10.57
Mayo	2,844,502	285,928	9.95
Junio	2,840,306	285,260	9.96
Julio	3,057,969	299,129	10.22
Agosto	2,958,692	272,745	10.85
Septiembre	2,735,451	250,855	10.91
Octubre	2,661,518	242,770	10.96
Noviembre	2,365,458	229,190	10.32
Diciembre	2,172,874	211,381	10.28
TOTAL	30,527,323	2,925,156	10.44

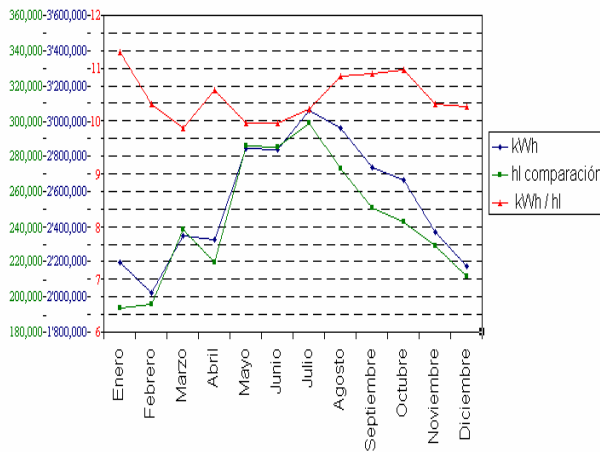


Fig. 1. Gráfica de consumo kWh, hl de comparación y relación kWh/hl .

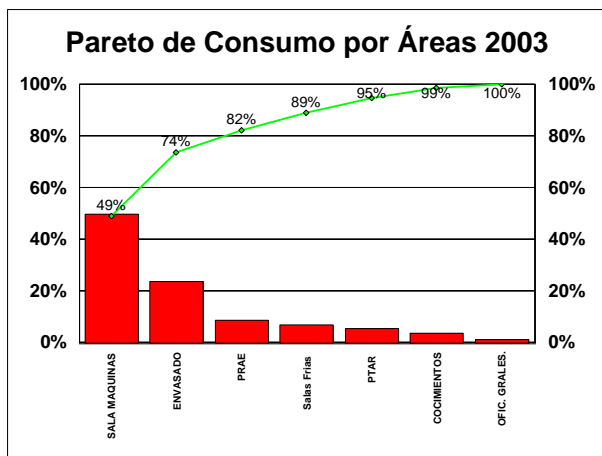


Fig. 2. Gráfico de pareto de consumo en kWh por áreas durante el 2003.

Dentro de la fábrica se tienen 7 áreas específicas con una o más subestaciones para satisfacer las demandas de consumo de energía eléctrica, las cuales son: Envasado (línea 1-5 y 6), planta de tratamiento de aguas residuales, planta de recuperación de agua de embotellado, oficinas generales, sala de máquinas (440 V y 4160 V), salas frías y cocimientos. Se tienen transformadores de 500, 750 y 1000 kVA en las diferentes áreas. Si se suman las capacidades de todos los transformadores de la planta arroja un total de 17,750 kVA.

Sin embargo, cabe señalar que sobresale de manera importante, como capacidad de transformación instalada, el área de sala de máquinas con 7000 kVA, lo que representa el 39.4% del total de la planta.

En la figura 2 se presentan los kWh consumidos en las diferentes áreas de la planta durante el 2003.

Es importante señalar que estos consumos de energía eléctrica se obtuvieron de los diferentes medidores de parámetros eléctricos (marca: Cutler Hammer, modelo: IQ-DP4000) instalados en cada una de las subestaciones, conectados en red a un software de monitoreo y adquisición de datos (Power Net), para registrar de esta forma los parámetros

eléctricos y poder obtener tendencias. De este pareto, se puede observar que el área de mayor consumo es sala de máquinas con casi la mitad del total de la planta (49 %), seguido de envasado y PRAE para completar entre estas tres áreas, el 82 % del consumo de energía eléctrica en la planta. Al final aparecen las áreas de salas frías, PTAR, cocimientos y oficinas generales como las de menor consumo, sumando el 18 % restante.

Una vez comprobado que la mayor área consumidora de energía eléctrica es sala de máquinas, se procede a realizar un levantamiento de las cargas de motores instalados, anotando la potencia en HP, kW, Volts y eficiencia, los cuales se presentan en una hoja de levantamiento de datos en la tabla 2.

Aquí se puede observar que la mayor carga instalada son los compresores de amoniaco Frick 13 y 14 , los cuales son motores de 500 HP cada uno, encontrando también motores de 400 HP, 250 HP, 150 HP, 100 HP, 40 HP, 30 HP, hasta motores fraccionarios.

Determinación de incidencia del consumo de energía de cada área y equipos contra el total.

Una vez localizada el área de mayor consumo y obtenido los datos de placa de los motores instalados, se procede a obtener las horas de operación de estos equipos de un mes en específico (para este estudio se tomó el mes de mayo del 2003) y realizar mediciones puntuales de los equipos para corroborar el consumo real en kWh .

Al terminar estas mediciones puntuales, apéndice B, se comparan con el consumo de los medidores de las subestaciones del área durante el mes del estudio, hasta obtener el consumo total de estos medidores con un porcentaje de error de +/- 5 %.

Ya que se ha encontrado el consumo de cada uno de estos equipos en particular, se ponen en orden del consumo mensual de estos y los de mayor impacto se tomarán para realizar propuestas de disminución en su consumo de energía eléctrica. En la tabla 3 se puede observar los equipos ordenados de mayor a menor consumo en kWh , dentro de los cuales el 81.1% del total en kWh son equipos del sistema de refrigeración (Mycom 9 y 10, Frick 1, 2, 11, 13 y 14, ventiladores y bombas de la torre de enfriamiento) y de aire comprimido (Cooper 4 y 5).

Una vez localizado los equipos con el mayor consumo en kWh dentro de Sala de Máquinas y Calderas, se procede a realizar un estudio técnico para encontrar posibilidades de disminución del consumo. En este caso, como lo habíamos mencionado, en los sistemas de refrigeración y aire comprimido.

Análisis del sistema de refrigeración

El Departamento de Sala de Máquinas y Calderas tiene como función principal proporcionar los servicios de aire comprimido, refrigeración, vapor y CO2 a las diferentes áreas que lo requieran. En la figura 3 se muestra brevemente las áreas que requieren servicio de este departamento.

Después de conocer que el mayor porcentaje de la refrigeración se está utilizando en la producción, se analizaron los consumos de los equipos usados para generar esta refrigeración, dividiéndolos en compresores y evaporadores, ventiladores y bombas de torres de enfriamiento y equipos booster.

Al analizar los consumos en kWh de estos diferentes equipos se obtuvo la figura 5, de la cual se puede notar claramente que el mayor consumo de energía eléctrica se tiene debido a los compresores y evaporadores del sistema de refrigeración.

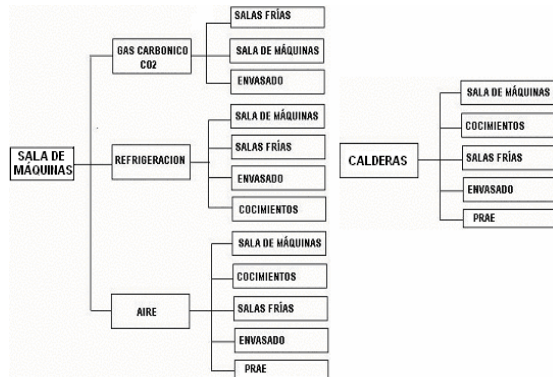


Fig. 3. Áreas de servicio de Sala de Máquinas y Calderas.

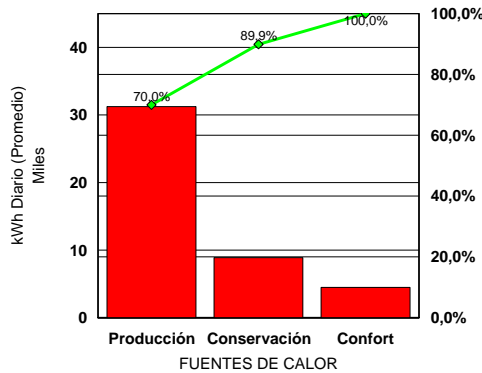


Fig. 4. Principales usos de la refrigeración en planta.

De allí que surge la necesidad de analizar a fondo el sistema de refrigeración de la planta, por lo que en la figura 6 se muestra un diagrama del ciclo de refrigeración, iniciando por la unidad compresora, (1) la cual succiona y comprime el refrigerante elevando a una alta presión para llevarlo al condensador (2) cuya función es hacer el cambio de estado de gas a líquido, posteriormente baja al recipiente termosifón (3) donde se hace la separación gas líquido, continuando el ciclo, el refrigerante baja al tanque de presión controlada (4) del cual se hace la distribución del amoniaco líquido a los evaporadores (5) donde se lleva a cabo el enfriamiento y la temperatura adecuada para el proceso, al evaporarse el líquido el gas es succionado al acumulador de succión (6) donde se separa el refrigerante líquido que baja a la trampa phillips (7) y el gas es succionado por el compresor, para iniciar nuevamente el ciclo.

TABLA 2. HOJA DE LEVANTAMIENTO DE DATOS DE MOTORES EN SALA DE MÁQUINAS Y CALDERAS.

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	H.P.	KW	Volts	Efic.
SALA DE MÁQUINAS				
* TORRE DE ENFRIAMIENTO No. 1				
Motor del ventilador celda 1	75	56,0	460	95,0
Motor del ventilador celda 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 1	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 3	75	56,0	460	95,0
Motobomba ácido sulfúrico	0,125	0,1	440	
Motobomba dióxido de cloro	0,125	0,1	440	
* TORRE ENFRIAMIENTO No. 2				
Motor del ventilador celda 1	75	56,0	460	95,0
Motor del ventilador celda 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 1	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 3	75	56,0	460	95,0
Motobomba ácido sulfúrico	0,125	0,1	440	
Motobomba dióxido de cloro	0,125	0,1	440	
Bomba booster agua No. 1	10	7,5	460	87,5
Bomba booster agua No. 2	10	7,5	440	90,0
* COMPRESORES DE AMONIACO				
Motor Frick No. 1	250	186,5	460	95,8
Motor Frick No. 2	250	186,5	460	95,8
Motor Mycom No. 3	100	74,6	440	80,0
Motor Mycom No. 6	150	111,9	440	80,0
Motor Mycom No. 8	50	37,3	440	75,0
Motor Mycom No. 9	400	298,4	4160	81,0
Motor Mycom No. 10	400	298,4	4160	81,0
Motor Frick No. 11	500	373,0	4160	85,0
Motor Frick No. 12	40	29,8	460	91,0
Motor Frick No. 13	500	373,0	4160	93,0
Motor Frick No. 14	500	373,0	4160	93,0
Motor Frick No. 15	50	37,3	460	93,6
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 11	0,75	0,6	440	86,5
Motor de bomba de aceite del compresor Mycom No. 9	7,5	5,6	440	91,0
Motor de bomba de aceite del compresor Mycom No. 10	7,5	5,6	440	91,0
Motor de bomba de desalojo del compresor Frick No. 14	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 14	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de desalojo del compresor Frick No. 13	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 13	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 15	1	0,7	440	82,5
* COMPRESORES DE AIRE				
Motor Cooper No. 5	250	186,5	460	95,0
Motor Cooper No. 4	250	186,5	460	95,0
Motor Joy No. 1	100	74,6	440	79,0
Motor Joy No. 2	100	74,6	440	79,0
Motor Joy No. 3	150	111,9	460	95,8
Motor de bomba de aceite del compresor Cooper No. 5	3	2,2	440	81,5
Motor de bomba de aceite del compresor Cooper No. 4	1,5	1,1	440	87,0
* EQUIPO DE CO2				
Motor de compresor Joy No. 1	60	44,8	440	91,7
Motor de compresor Joy No. 2	60	44,8	440	91,7
Motor de compresor Hasselberg No. 3	40	29,8	440	78,5
Motor de bomba de llenado de tanques	5	3,7	440	84,0
CALDERAS				
* CALDERA No. 1				
Motor Ventilador de Tiro Forzado	30	22,4	440	82,0
Motor bomba No. 1 de combustoleo	3	2,2	440	83,0
Motor bomba No. 2 de combustoleo	3	2,2	440	83,0
* CALDERA No. 2				
Motor Ventilador de Tiro Forzado	30	22,4	440	91,0
Motor bomba No. 1 de combustoleo	3	2,2	440	80,0
Motor bomba No. 2 de combustoleo	3	2,2	440	80,0

De lo anterior se establece que la operación de los compresores esta directamente relacionado a la presión a la que se eleva el amoniaco en el sistema de refrigeración. Esta presión que se maneja en el sistema, presión de succión es de 28 psi y basándonos en que el incremento de presión de succión de los compresores de amoniaco reduce su consumo en kWh, se analiza en las diferentes unidades evaporativas la presión de succión en la cual operan obteniendo la tabla 4. Conociendo la presión de succión del sistema entre 28 y 30 lbs., la cual esta muy por debajo de las presiones de operación de las unidades evaporativas, se incrementa la misma hasta una presión de 35 psi, tomando lectura del comportamiento de la carga instantánea en kW de los compresores de tornillo de

250 HP y 500 HP, observando como disminuye la carga en la figura 7.

Al monitorear las unidades evaporativas se encontró que ocasionalmente el enfriador de agua No.1 de dilución (figura 8) se afectaba en su operación con esta presión de succión y no en el enfriador No.2, por lo que se revisaron las válvulas de corte de amoniaco líquido y reguladoras de amoniaco gas encontrando que para poder estabilizar la temperatura del agua era necesario abrir manualmente la válvula reguladora de alta presión.

Para resolver el problema de la válvula reguladora neumática de succión por cuestión de capacidad se instaló una válvula reguladora con solenoide tipo RS en paralelo con la automática, la cual se energizará cuando la presión suba por encima del setpoint de presión de operación para ayudar a desfogarla.

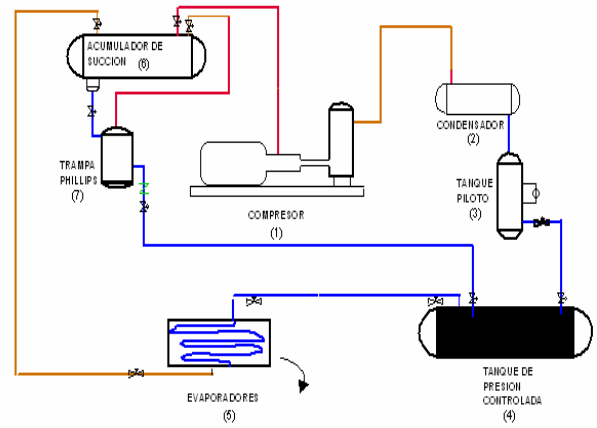


Figura 6. Ciclo de refrigeración en planta.

TABLA 3. RESUMEN DE EQUIPOS ORDENADOS POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	H.P.	KW	HORAS DE OPERACIÓN MAYO					TOTAL	Kwh MAYO	MEDICIONES Kwh
			5-11	12-18	19-25	26-31				
Motor Frick No. 13	500.0	373.0	144	122	120	115	501	186.873	143.787	
Motor Frick No. 14	500.0	373.0	92	121	83	70	366	136.518	126.636	
Motor Cooper No. 4	250.0	186.5	128	123	164	115	530	98.845	98.792	
Motor Mycom No. 10	400.0	298.4	59	88	98	85	330	96.472	86.790	
Motor Cooper No. 9	250.0	186.5	123	132	149	121	525	97.913	97.860	
Motor Mycom No. 5	400.0	298.4	87	69	60	83	299	89.222	84.916	
Motor Mycom No. 9	250.0	186.5	47	45	55	63	210	39.165	42.210	
Motor Frick No. 1	250.0	186.5	68	35	39	62	204	38.046	41.004	
Motor Frick No. 2	100.0	74.6	127	124	101	109	461	34.391	33.985	
Motor VTF Caldera 3	75.0	56.0	137	134	120	112	502	28.143	28.005	
Motor bomba 3 TE 1	75.0	56.0	114	115	120	111	460	25.737	23.587	
Motor del ventilador celda 1 TE 1	75.0	56.0	131	125	108	95	459	25.681	24.563	
Motor del ventilador celda 2 TE 1	75.0	56.0	126	86	88	120	420	23.499	23.987	
Motor Frick No. 11	500.0	373.0	5	0	23	26	54	20.142	20.628	
Motor bomba 2 TE 1	75.0	56.0	145	135	16	56	352	19.694	19.985	
Motor compresor Joy No. 1 CO2	60.0	44.8	83	126	119	98	426	19.068	18.269	
Motor del ventilador celda 1 TE 2	75.0	56.0	83	78	88	57	306	17.121	16.598	
Motor bomba 1 TE 2	75.0	56.0	0	58	120	113	291	16.281	17.210	
Motor compresor Joy No. 2 CO2	60.0	44.8	76	91	103	85	355	15.890	15.425	
Motor bomba 3 TE 2	75.0	56.0	109	97	65	0	271	15.162	15.652	
Motor Frick No. 15	50.0	37.3	86	123	88	98	395	14.734	13.825	
Motor del ventilador celda 2 TE 2	75.0	56.0	73	121	42	13	249	13.932	13.568	
Motor bomba sulzer No. 4	40.0	29.8	127	124	101	109	461	13.756	14.025	
Motor Joy No. 3 Aire	150.0	111.9	21	23	33	43	120	13.428	13.920	
Motor bomba 1 TE 1	75.0	56.0	7	0	152	55	214	11.973	11.289	
Motor VTF Caldera 1	30.0	22.4	122	139	108	119	488	10.921	10.158	
Motor bomba sulzer No. 1	30.0	22.4	127	124	101	109	461	10.317	9.984	
Motor Joy No. 2 Aire	100.0	74.6	9	10	9	8	36	2.686	3.312	
Motor Mycom No. 3	100.0	74.6	3	6	10	15	34	2.536	2.451	
Motor Joy No. 1 Aire	100.0	74.6	13	11	5	2	31	2.313	2.852	
Bomba booster agua No. 1	10.0	7.5	126	126			252	1.880	1.880	
Motor bomba aceite Mycom No. 10	7.5	5.6	59	88	98	85	330	1.846	1.846	
Bomba booster agua No. 2	10.0	7.5	29	126	115	241	1.798	1.798		
Motor VTF Caldera 2	30.0	22.4	29	17	17	15	78	1.746	1.746	
Motor bomba No. 1 de combustión Caldera 3	5.0	3.7	127	124	101	109	461	1.720	1.720	
Motor bomba aceite Mycom No. 9	7.5	5.6	87	69	60	83	299	1.673	1.673	
Motor bomba No. 2 Envío de combustible	15.0	11.2	28	28	28	28	112	1.253	1.253	
Motor bomba aceite Cooper No. 5	3.0	2.2	123	132	149	121	525	1.175	1.175	
Motor bomba No. 1 de combustión Caldera 1	3.0	2.2	122	139	108	119	488	1.092	1.092	
Motor bomba No. 2 Recepción de comb.	15.0	11.2	24	24	24	24	96	1.074	1.074	
Motor Bomba No. 1 Recepción de comb.	15.0	11.2	24	24	24	24	96	1.074	1.074	
Motor bomba No. 1 Envío de combustible	15.0	11.2	28	28			56	627.000	627.000	
Motor Bomba No. 3 Envío de combustible	15.0	11.2			28	28	56	627.000	627.000	
Motor bomba No. 4	1.5	1.1	128	123	164	115	530	593.000	593.000	
Motor bomba aceite Frick No. 13	1.5	1.1	144	122	120	115	501	561.000	561.000	
Motor bomba aceite Frick No. 14	1.5	1.1	92	121	83	70	366	410.000	410.000	
Motor bomba aceite Frick No. 15	1.0	0.7	86	123	88	98	395	295.000	295.000	
Motor bomba No. 2 de combustión Caldera 2	3.0	2.2	29	17	17	15	78	175.000	175.000	
Motor bomba aceite Frick No. 11	0.8	0.6	5	0	23	26	54	30.000	30.000	

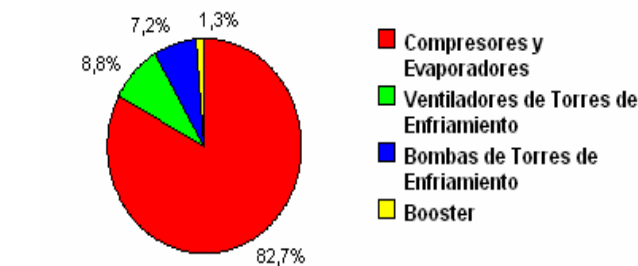


Fig. 5. Porcentaje de consumo de energía eléctrica de los equipos utilizados para el sistema de refrigeración.

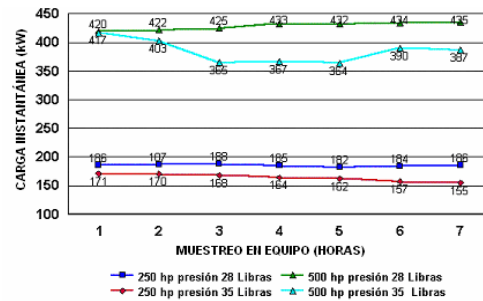


Fig. 7. Comportamiento de la carga (kW) en compresores de 250 y 500 HP.

TABLA 4. PRESIONES DE TRABAJO DE LOS EVAPORADORES EN PLANTA.

Evaporador	Presión en Libras
Difusores	45
Unitanques	36
Enfriadores de Cerveza	38
Enfriadores de agua	45
Banco de Hielo	45

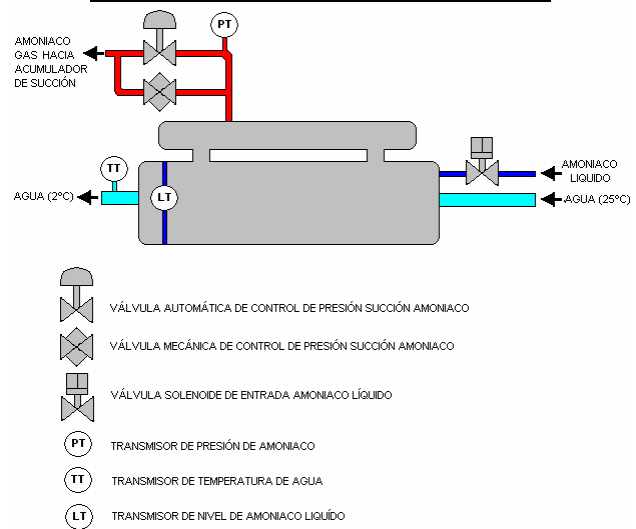


Fig. 8. Diagrama de flujo de enfriador de agua de dilución no. 1.

Después de esto, se evaluó la disminución que se logró con el incremento satisfactorio de la presión de succión del sistema de la siguiente forma:

- Se obtuvo el promedio en el que se disminuyó la demanda en kW de los compresores que normalmente se encuentran en operación que son de 500 HP, 400 HP y 250 HP (tabla 5).
- De la tabla 3 se obtuvieron las horas de operación mensuales de cada uno de los compresores obteniendo lo siguiente:
 Compresores 500 HP = 867 horas
 Compresores 400 HP = 683 horas
 Compresores 250 HP = 414 horas
- Se multiplicaron las horas de operación por la diferencia promedio en kW obtenida en la tabla 5.
 Disminución Compresor 500 HP = (867 horas) * (46 kW) = 39,882 kWh
 Disminución Compresor 400 HP = (683 horas) * (33 kW) = 22,539 kWh
 Disminución Compresor 250 HP = (414 horas) * (21 kW) = 8,694 kWh

TABLA 5. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA EN KW EN COMPRESORES DE AMONIACO.

HORA	COMPRESOR 500 HP				COMPRESOR 400 HP				COMPRESOR 250 HP			
	28 PSI (kW)	35 PSI (kW)	Disminución (kW)	%	28 PSI (kW)	35 PSI (kW)	Disminución (kW)	%	28 PSI (kW)	35 PSI (kW)	Disminución (kW)	%
00:00	420	417	3	1%	285	267	18	6%	183	172	12	7%
01:00	422	403	19	5%	287	254	33	11%	187	170	17	9%
02:00	425	365	60	14%	290	254	36	12%	188	168	20	11%
03:00	433	367	66	15%	298	265	33	11%	185	164	21	11%
04:00	432	364	68	16%	297	265	32	11%	182	162	20	11%
05:00	434	390	44	10%	299	259	40	13%	184	157	27	15%
06:00	435	387	48	11%	300	267	33	11%	186	155	31	17%
07:00	429	390	39	9%	294	264	30	10%	185	163	22	12%
08:00	428	391	37	9%	293	256	37	13%	186	163	23	12%
09:00	415	372	43	10%	280	248	32	11%	185	164	21	11%
10:00	417	371	46	11%	282	249	33	12%	183	161	22	12%
11:00	430	393	37	9%	295	258	37	13%	182	161	21	12%
12:00	439	387	52	12%	304	263	41	13%	183	163	20	11%
13:00	410	374	36	9%	275	239	36	13%	184	164	20	11%
14:00	419	378	41	10%	284	254	30	11%	185	163	22	12%
15:00	421	379	42	10%	286	253	33	12%	185	164	21	11%
16:00	426	369	57	13%	291	259	32	11%	184	161	23	13%
17:00	429	386	43	10%	294	257	37	13%	183	162	21	11%
18:00	421	384	37	9%	286	249	37	13%	182	164	18	10%
19:00	429	381	48	11%	294	261	33	11%	182	163	19	10%
20:00	433	367	66	15%	298	268	30	10%	183	163	20	11%
21:00	432	364	68	16%	297	265	32	11%	184	164	20	11%
22:00	434	390	44	10%	299	259	40	13%	185	163	22	12%
23:00	429	379	50	12%	294	266	28	10%	185	162	23	12%
PROMEDIO	427	381	46	11%	292	258	33	11%	184	163	21	11%

Por lo tanto se tiene un ahorro mensual de 71,115 kWh por subir la presión de succión de 28 a 35 psi.

Análisis del sistema de aire comprimido

El sistema de generación de aire inicia en los compresores donde el aire del ambiente se incorpora al sistema de compresores y es comprimido, posteriormente pasa a través de un post-enfriador para eliminar humedad y bajar su temperatura, luego llega al tanque de aire húmedo el cual sirve de distribuidor para los departamentos que lo requieran en estas condiciones (envasado, tanques de combustóleo y tolvas de bagazo); después pasa por la secadora donde al aire se le elimina la humedad y por último llega al tanque distribuidor de aire seco. Éste alimenta de aire seco a los departamentos que lo requieran, tal como se puede ver en la figura 9.

El sistema de generación de aire cuenta con dos compresores de tipo centrífugos de la marca Cooper con una capacidad de 1200 ft³/min y cinco compresores auxiliares de la marca Joy de tipo recíprocante: dos de 850 ft³/min, uno de 600 ft³/min y dos de 435 ft³/min.

Se obtuvieron gráficas del comportamiento de la presión del sistema de generación de aire comprimido donde, como se había visto anteriormente, el ciclo inicia cuando el aire se incorpora al sistema para comprimirlo y elevar su presión a un setpoint de 100 PSI, al entrar en operación los compresores, éstos paran y vuelven a arrancar para mantener esta presión de operación y de las veces que operan los compresores depende el consumo en kWh.

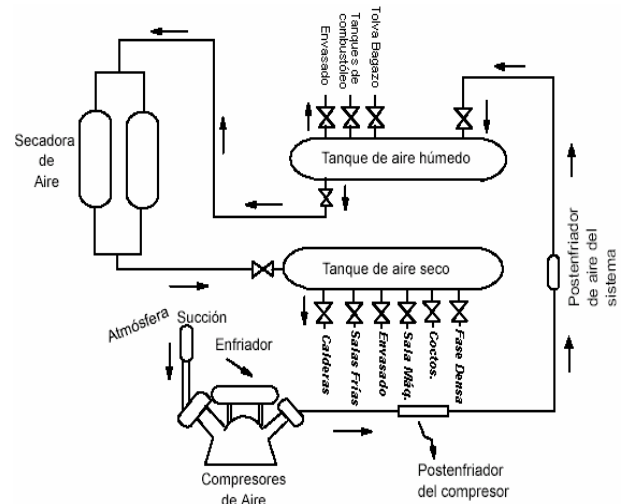


Fig. 9. Sistema de aire comprimido en planta.

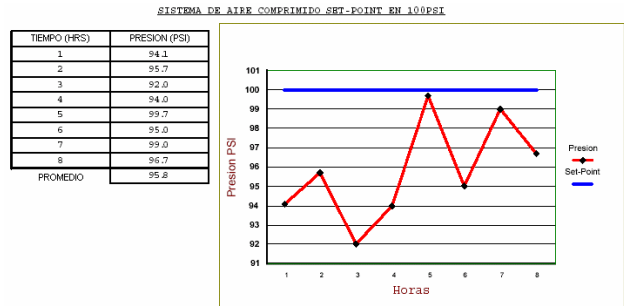


Fig. 10. Cambios en el setpoint de presión de aire comprimido en planta.

Una vez conociendo el setpoint de operación, se procedió a comprobar en un turno (ocho horas) el comportamiento del mismo, obteniendo la gráfica de la figura 10.

Aquí se puede observar que se tiene una variación de presión entre 92 y 100 psi, con un promedio de 95.8 psi, por lo que se procedió a verificar las presiones de operación de las diferentes áreas de servicio de aire comprimido.

Así, se elaboró un gráfico de barras, figura 11, para mostrar los equipos más importantes y su presión de operación, que en un momento dado pueden ser afectados por una disminución en la misma. Se observa que Kelcoloid y ozonador son los que operan con una presión más alta, que es de 80 psi, por lo tanto considerando el setpoint de 100 psi del sistema, está muy por arriba de este valor y tomando en cuenta que las bajas en la presión son en promedio 4.2 psi, existe la posibilidad de bajar la presión hasta 85 psi para obtener una reducción de energía en la generación de aire comprimido.

De esta forma se procedió a disminuir el setpoint de operación a 85 psi obteniendo una disminución en el consumo medido en el compresor de aire de 250 HP, de acuerdo a la tabla 6.

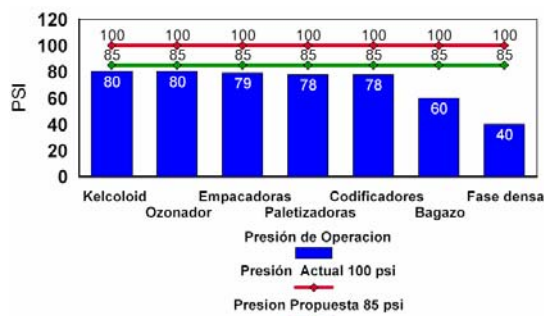


Fig. 11. Presiones de operación de aire en los diferentes equipos de planta.

TABLA 6. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA EN KW DE COMPRESOR.

COMPRESOR 250 HP				
HORA	100 psi (kW)	85 psi (kW)	Disminución (kW)	%
00:00	185	164	21	11%
01:00	189	170	19	10%
02:00	190	170	20	11%
03:00	187	166	21	11%
04:00	184	164	20	11%
05:00	186	168	18	10%
06:00	188	170	18	10%
07:00	187	167	20	11%
08:00	188	168	20	11%
09:00	187	168	19	10%
10:00	185	167	18	10%
11:00	184	166	18	10%
12:00	185	167	18	10%
13:00	186	168	18	10%
14:00	187	169	18	10%
15:00	187	166	21	11%
16:00	186	167	19	10%
17:00	185	164	21	11%
18:00	184	166	18	10%
19:00	184	165	19	10%
20:00	185	165	20	11%
21:00	186	166	20	11%
22:00	187	165	22	12%
23:00	187	164	23	12%
PROMEDIO	186	167	20	10%

TABLA 7. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE AMBAS ALTERNATIVAS.

Beneficios en cada sistema	Beneficios (pesos m.n.)	
	Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire comprimido
Periodo Invierno	\$ 292,742.77	\$ 86,459.00
Periodo Verano	\$ 429,846.74	\$ 116,172.10
Total anual	\$ 722,589.51	\$ 202,631.10

De la tabla 3 se obtuvieron las horas de operación mensuales de cada uno de los compresores de aire, Cooper 4 y 5, los cuales funcionaron 1,055 horas.

Al multiplicar las 1,055 horas por la disminución promedio de la demanda en kW del compresor de 250 HP, que son 20 kW, se obtiene el ahorro mensual en kWh.

Al realizar la operación anterior, se obtiene una disminución mensual de 21,100 kWh en los compresores de aire comprimido por bajar la presión de operación de 100 a 85 psi.

Evaluación económica de soluciones

En este último punto se evalúa económicamente la implantación de las soluciones propuestas en el punto anterior, para lo cual se debe obtener en primer lugar los beneficios económicos que se obtienen debido a la disminución del consumo de energía eléctrica y en segundo lugar los gastos o inversiones realizadas para implementar las soluciones. Para obtener el beneficio económico de ambos sistemas se evalúa el

costo de disminuir el consumo de energía eléctrica obtenido en el punto anterior, de acuerdo a las tarifa de CFE, que en este caso es la tarifa HSL. Para esto se toma en cuenta los dos periodos con los que cuenta esta tarifa, el periodo de invierno y el periodo de verano, tomando en consideración los costos de kWh y demanda facturable del mes de julio de 2004, el cual es el dato más actualizado con el que se cuenta.

El beneficio obtenido en la disminución del consumo de energía eléctrica en los sistemas de refrigeración y de aire comprimido se resume en la tabla siguiente.

III. CONCLUSIONES

Se puede observar y comprobar la importancia del diagnóstico energético como herramienta de identificación de las principales cargas consumidoras de energía eléctrica dentro de un sistema.

La aplicación de este método lleva de lo general, el total de cargas que contribuyen al consumo total de energía eléctrica, a lo particular para llegar a las cargas específicas que están consumiendo el mayor porcentaje de energía eléctrica, ya sea por su potencia demandada o por sus horas de operación.

Otro aspecto a resaltar es la importancia de analizar un sistema de acuerdo a su diagrama de flujo de operación, con lo cual se logran soluciones buenas con poca inversión en su implementación, como lo fue el subir la presión de succión del sistema de refrigeración y el bajar la presión de operación del sistema de aire comprimido, acciones que tienen un impacto sobresaliente en la disminución del consumo de energía eléctrica y por ende en beneficio económico para la empresa.

La aplicación de este método es inductivo, llevando de todas las cargas que contribuyen al consumo total de energía eléctrica, a las cargas específicas que están consumiendo el mayor porcentaje de energía eléctrica, ya sea por su potencia demandada o por sus horas de operación.

REFERENCIAS

- [1] www.conae.gob.mx, 2003
- [2] www.sede.gob.mx, 2003
- [3] www.fide.org.mx
- [4] BACBOCK, Daniel L. Managing Engineering Technology.
- [5] DOSSAT, Roy J., 1988, Principios de Refrigeración, Editorial Continental.
- [6] EZQUERRA PIZÁ, Pere, 1988, Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía, Editorial Marcombo,.
- [7] GAYNOR, Gerald., 1999, Manual de Gestión en Tecnología. McGraw-Hill. Colombia.
- [8] Improving Compressed Air System Performance, November 2003, U.S. Department of Energy,
- [9] DOE/GO-102003-1822.
- [10] NIGEL, Cross, 1999, Métodos de Diseño. Editorial Limusa. México.
- [11] Revista Informativa del Ahorro de Energía Eléctrica, FIDE, Año 11. Número 42, páginas 39-44.
- [12] WENDES, Herb, 1994, HVAC Retrofits: Energy Savings Made Easy,, The Fairmont Press Inc.,

Gilberto Díaz Caravantes candidato al grado de Maestro en Ingeniería en Tecnología Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Sonora. Actualmente labora como Jefe de Mantenimiento Eléctrico en Cervecería Modelo del Noroeste, S.A. de C.V., donde ha trabajado también como ingeniero de proyectos área electrónica de julio de 1997 a septiembre de 2001. Laboró como supervisor de materiales en Thomas & Betts en Empalme, Sonora de junio de 1996 a julio de 1997. gildiazc@hotmail.com

Jesús Héctor Hernández López egresó en 1996 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista, en 2001 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Desde el año 2001 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor–Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. jehdez@itson.mx

Rafael León Velázquez egresó de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1985 como Ingeniero Mecánico Electricista, de 1985 a 1988 se desempeñó como jefe de mantenimiento en un centro comercial; en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la UANL Desde 1984 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. rleon@itson.mx

Armando Ambrosio López egresó en 1997 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista; de 1997 a 1999 cursó la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, obteniendo el grado en 2001. Desde el año 1999 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor–Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. aambrosi@itson.mx