

Evaluación Energética para Sistema de Control de un Acondicionador de Aire en un Edificio Público

*Nelson Martínez Ortiz
Maestría de Ingeniería en Manufactura
Dr. José A. Morales
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *Los costos y gastos generados por el sistema de control de un acondicionador de aire que opera en forma deficiente fueron analizados en este proyecto. Este sistema se compone de una serie de paneles eléctricos que operan en forma manual. El administrador de esta facilidad evalúa la opción de reemplazar el sistema existente por uno nuevo. Para desarrollar las estrategias de la reducción de costos se identificó inicialmente el consumo de energía eléctrica y los gastos invertidos en mantenimiento. Define, Mide, Analiza, Mejora y Controla (DMAIC) de la metodología de Seis Sigma fue el modelo de análisis utilizado en este proyecto. La alternativa seleccionada fue un sistema de control automatizado. Además se presentó la propuesta para la etapa de construcción la cual tuvo un costo de \$27,225.00 y pudo ser desarrollada en 30 días. Este proyecto ayudará reducir hasta un 33% los costos energéticos generados por el sistema de control actual y el exceso en gastos de mantenimiento.*

Términos Claves: *Automatización, Costos, DMAIC, Sistema de Control.*

INTRODUCCIÓN

Durante décadas el aumento en el uso de la energía eléctrica ha sido un factor de gran importancia en nuestro diario vivir. Los equipos eléctricos que utilizamos diariamente han requerido de una gran cantidad de energía realizando así la función para la cual fueron diseñados. Asociado a los niveles de energía que se consume a diario se encuentra los problema de los altos costo en los productos para su generación y la problemática del deterioro en las condiciones ambientales debido al uso excesivo de combustible fósiles. Los sistemas

que controlan la temperatura, humedad y ventilación han sido uno de los equipos que han presentado un alto consumo de energía eléctrica a nivel mundial. Además el mantenimiento de estos equipos también representa altos costos de operación. Considerando estos factores debemos dirigir nuestra mayor atención a maximizar la eficiencia de estos equipos reduciendo así los costos y logrando el nivel de temperatura adecuada para el ser humano.

SISTEMA MECÁNICO DEL ACONDICIONADOR DE AIRE DE AGUA HELADA CON TORRE DE ENFRIAMIENTO

Un sistema de aire acondicionado central [1] es el equipo utilizado para eliminar el contenido de calor de múltiples áreas en un edificio. Este sistema está compuesto por una serie de equipos que intercambian calor hasta que en la etapa final del proceso es liberado al aire libre. Mantiene las condiciones adecuadas de humedad, temperatura, limpieza y circulación de aire en edificios y habitaciones, como también elimina el polvo, el polen y otros residuos. El aire se puede esterilizar, como se hace en hospitales y otros lugares públicos.

Un Sistema de un Acondicionador Aire Central está integrado por los siguientes componentes mecánicos:

- Unidad de Manejo de Aire
- Generador de Agua Helada
 - Unidad Evaporadora
 - Compresor
 - Unidad Condensadora
- Sistema de Bombas
- Torre de Enfriamiento

En la Figura 1 se identifican los diferentes equipos mecánicos que componen el sistema de un acondicionador de aire de agua helada con torre de enfriamiento y a la misma vez nos proporciona una vista conceptual del funcionamiento de este sistema.

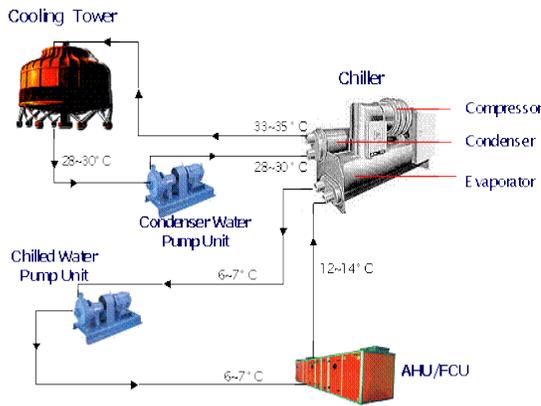


Figura 1
Sistema de Acondicionador de Aire de Agua Helada con Torre de Enfriamiento

SISTEMA DE CONTROL DE UN ACONDICIONADOR DE AIRE

Todo sistema de control según se puede definir desde el que utiliza el termostato más simple hasta el modelo computarizado está constituido por los siguientes elementos de control.

Sensores: La función principal de un sensor en un sistema de control de aire acondicionado es medir el valor actual de la variable controlada como es temperatura, humedad, flujo y la presión y proveer información al controlador. Los sensores se pueden clasificar de diferentes tipos:

- Análogos y Digitales.
- Resistencia, Voltage y Corriente.
- Temperatura, Humedad Relativa, Presión, Flujo y Electrónicos.

En la figura 2(a) y 2(b) se presenta un ejemplo de sensores que se utiliza para leer valores de temperatura.



(a) Sensor Termocouple



(b) Sensor Termistor

Figura 2
Sensores de Temperatura

Controladores: Podemos describir el controlador como el dispositivo que recibe las señales de los sensores, compara entradas con un conjunto de instrucciones o valores de ajustes (“set points”) y aplica la lógica de control que produce una señal de salida. El controlador puede enviar desde sus puntos de salidas señales: eléctricas, electrónicas, neumáticas o digitales. En la figura 3 se presenta un ejemplo de un controlador utilizado para un Sistema de aire acondicionado central:

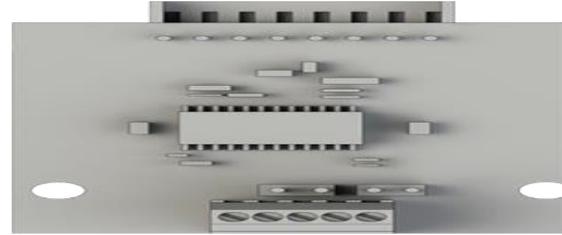


Figura 3
Controlador

Dentro de los diferentes tipos de controladores disponibles en el mercado se encuentran:

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Entalpía
- Universales

Existen 5 modos básicos de control, que son utilizados, ya sea solos o en combinación. Las respuestas de control se caracterizan por señales eléctricas de:

- Dos posiciones: En un control de dos posiciones, el controlador compara el valor de una entrada analógica o variable con instrucciones y genera una salida digital de dos posiciones.
- Control Digital Directo (DDC) Flotante: Esta señal es una variación de Control encendido/apagado. Una respuesta de control flotante produce dos posibles salidas digitales

basadas en un cambio en una variable de entrada.

- Proporcional: Con esta forma de control coloca en posiciones intermedias en proporción a la respuesta a pequeños cambios en la condición controlada.
- Proporcional + Integral (PI): En esta respuesta el controlador siempre intenta coincidir con el punto de referencia y cada vez que cambian las condiciones, el controlador intenta hacer el ajuste y el control de la misma.
- Proporcional +Integral + Derivativa (PID): En el PID el control agrega un elemento predictivo para la respuesta de control, que se encarga de cambios bruscos de desviación debido a los disturbios o en otras palabras el control (PID) acelera la acción de control PI.

Dispositivos Controlados: El dispositivo controlado según [2] actúa para modificar la variable controlada según las indicaciones de controlador. Existen una variedad de dispositivos controlados tales como:

- Actuadores: Los actuadores son dispositivos que accionan válvulas y reguladores de flujo de aire.
- Válvulas: Las válvulas son una parte integral de la operación de un edificio.
- Transductores: Permiten que los controladores electrónicos puedan utilizar actuadores neumáticos. Los Transductores deben convertir de un tipo de energía proporcional a la otra.
- Regulador de flujo de aire (Dampers): El funcionamiento correcto del regulador de flujo de aire es importante para el proceso de ventilación. Los tipos comunes de estos reguladores son: hojas paralela y de hoja opuesta.

Fuente de Energía: Se necesita una fuente de energía para alimentar el sistema de control. Los sistemas de control utilizan una fuente de alimentación neumática o eléctrica.

TIPOS DE CONTROLES

Existen dos modelos [3] básicos de control:

- Modelo Convencional: Es un sistema tradicional compuesto de paneles eléctricos. Todos los componentes de un acondicionador de aire serán monitoreados y controlados desde diferentes tipos de paneles individuales. En la figura 4 podemos ver los elementos básicos de un panel de control. Se pueden observar todos los puntos de entrada/salida del generador de agua helada y las bombas al panel de control desde donde se van a encender/apagar estos equipos en forma manual.

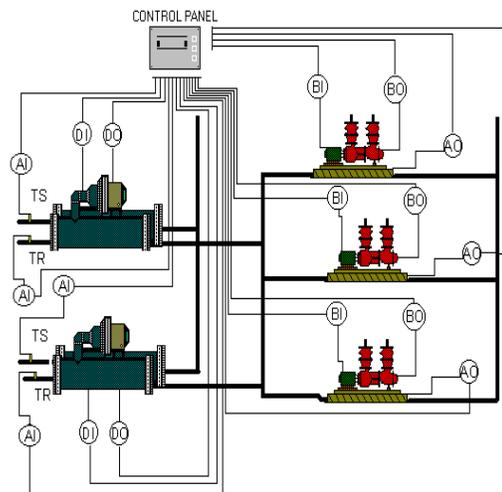


Figura 4

Diagrama del Sistema de Control Convencional

- Modelo Automatizado: Los objetivos de la automatización de edificios es mejorar las condiciones de temperatura de los ocupantes, el funcionamiento eficiente de los sistemas que lo integran, la reducción en el consumo de energía y los costos de operación. Un Sistema de Automatización de Edificio (BAS) [4] debe reducir la energía del edificio y los costos de mantenimiento en comparación con un edificio no controlado. Un sistema de controles automático de un acondicionador de aire para un edificio (Ver figura 5) está compuesto por controladores inteligentes configurables e integrados en una red que proveen los niveles adecuados de temperatura,

humedad y presión. El sistema es controlado por un operador que ordena las acciones a realizar a través de una computadora personal y un software. El operador tendrá la oportunidad de realizar ajustes en temperatura, flujo de aire y otras funciones principales.

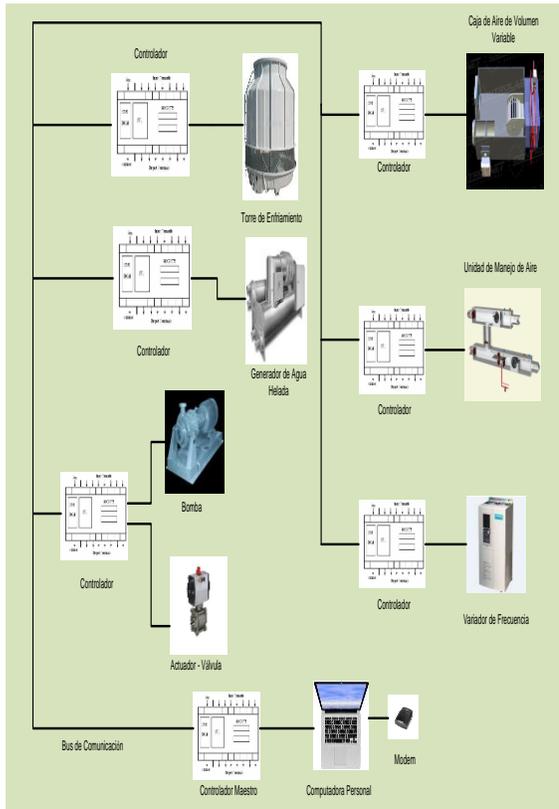


Figura 5
Diagrama de Sistema de Control Automatizado

MÉTODO DE SEIS SIGMA: DEFINE, MIDE, ANALIZA, MEJORA, CONTROLA (DMAIC)

DMAIC es una estrategia de calidad [5] basada en datos para mejorar los procesos y se compone de las siguientes etapas. (Ver figura 6)

- Se define el propósito y alcance del proyecto. Se reúne la información sobre antecedentes del proceso y sobre los requerimientos y necesidades del cliente.
- Medimos las condiciones actuales. Se recolecta la información sobre la situación actual para suministrar un esfuerzo correcto al objetivo de mejora.

- Se analiza para identificar las causas de los defectos. Se presentan soluciones.
- Mejorar: Desarrollamos, probamos e implementamos soluciones que ataquen las causas. Se utilizan datos para evaluar los resultados de las soluciones y de los planes utilizados para realizarlos.
- Control: Se mantienen los logros obtenidos mediante la normalización de sus procesos o métodos de trabajo. Se anticipa mejoramiento futuro y se hacen planes para preservar las lecciones aprendidas en el proyecto.

METODOLOGIA DE SEIS SIGMA
DEFINE, MIDE,
ANALIZA, MEJORA, CONTROLA

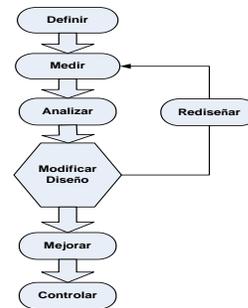


Figura 6
Diagrama Metodología DMAIC

REDUCCIÓN DE COSTOS Y AUMENTO DE EFICIENCIA

La ventaja de automatizar un sistema de aire acondicionado en un edificio debe ser vista desde una reducción de gastos que se relaciona con una reducción de costos. Todo proyecto dirigido a una reducción en el manejo de energía deberá también tener una disminución en los costos generados por sus equipos. Tener un sistema de controles a través de una red que comunica con diferentes instrumentos que serán controlados a través de una computadora principal en un centro de operación, también nos genera un ahorro en los gastos ya que son necesarios menos cantidad de empleados maximizando así el recurso humano disponible. La creación de un mantenimiento preventivo también ayudará a los técnicos a determinar los cambios necesarios de unidades como a prolongar la vida útil de la maquinaria logrando así una reducción en los gastos.

La red proporcionará una acción más rápida para la conveniencia del personal dentro del edificio. Todo este método automatizado que estará trabajando en el sistema de aire acondicionado va permitir a su propietario un ahorro, logrando así una mejor optimización de las unidades que permitirá un apoyo mínimo del personal si se compara con sistema manual no automatizado.

CONDICIONES AMBIENTALES

Los siguientes términos según son considerados como las variables de suma importancia que deben ser controladas en un sistema de aire acondicionado.

Temperatura

- Podemos definir la temperatura como el grado de calor de un cuerpo, una sustancia, o medio. O una propiedad física relacionada con la energía cinética media de los átomos o moléculas de una sustancia.
- Según los códigos establecidos por la Asociación Americana de Ingenieros de Refrigeración y Calefacción (ASHRAE) 55-1992 los siguientes rangos de temperatura son necesarios para lograr temperaturas agradables en el área. Ver tabla #1.

Tabla 1
Temperaturas por Temporadas

Temporada	Temperatura Óptima	Rango de Temperatura
Invierno	22 °C o 71 °F	20-23.5 °C o 68-75 °F
Verano	24.5 °C o 76 °F	23-26 °C o 73-79 °F

Humedad Relativa

- La humedad es la presencia de vapor de agua en el aire y afecta el confort humano.
- Según ASHRAE 55-1992 por sus siglas en inglés se recomienda una humedad relativa de entre 25 y 60%. Usualmente el aire tiene una humidificación entre 25% y 45% durante el invierno y de humidificación por debajo de 60% durante el verano. Cualquier valor fuera de este rango debería producir inconformidad, como

también crear problemas en la calidad del aire interior.

Ventilación

- Es el acto o proceso de permitir que aire fresco entre en un cuarto o edificio.
- Según ASHRAE Standard 62-1999: Recomienda un grado de ventilación mínima por persona. En muchas situaciones códigos locales de edificios estipulan la cantidad de ventilación requerida por edificios comerciales y ambientes de trabajo. El valor recomendado de aire externo es típicamente es de 20 CFM por ocupante. El grado de ventilación especificada por ASHRAE diluye efectivamente el dióxido de carbono y otros contaminantes creados por la respiración y otras actividades.

Presión

- La fuerza normal aplicada a una unidad de área de una superficie, generalmente se mide en pascuales (newton por metro cuadrado), milibares, torr o atmósferas p, P. p., centésimas de pulgadas de agua.
- El aire se mueve desde cualquier área de alta presión a una de baja presión. Una pequeña grieta o agujero puede admitir cantidades significativas de aire, si los diferenciales de presión son lo suficientemente altos (que puede ser muy difícil el acceso al área). Las habitaciones y edificios típicamente tienen una presión ligeramente positiva para reducir la infiltración del aire exterior. Esto ayuda a mantener limpio el edificio. Normalmente se recomienda la presión positiva estable de .01-0.05.

VENTAJAS DE LA AUTOMATIZACIÓN

- Mantiene [6] las condiciones termales en forma agradable.
- Mantiene la calidad del aire interior en forma óptima.
- Reduce el uso de energía.

- Mantiene la operación de los edificios en forma segura.
- Reduce el costo del recurso humano.
- Identifica problemas de mantenimiento.
- Monitorea la operación del sistema de forma interna y externamente.
- Mantiene la operación en forma eficiente para que coincida con la necesidad termal del área.
- Reduce averías en equipos e instrumentos.

METODOLOGÍA

En este proyecto se ha utilizado la metodología Define, Mide, Analiza, Mejora, Controla de Seis Sigma para identificar el exceso en los gastos que nos crean un exceso en los costos. Veamos el análisis:

Define

- El acondicionador de aire central en un edificio que ofrece servicios a empleados públicos fue analizado en este proyecto.
- Actualmente esta unidad es controlada mediante un método convencional.
- Este equipo opera 24 horas los 7 días de la semana para evitar que los paneles de control manual sigan afectándose por la operación de encendido y apagado constante.
- Se ha tenido que utilizar un recurso humano para realizar las funciones principales de operación y ajustes a este sistema.
- Los costos de mantenimiento han aumentado por la cantidad de equipos e instrumentos que han tenido que ser reemplazados por la cantidad de horas que la unidad se mantiene encendida.
- El administrador de esta facilidad se encuentra en estos momentos evaluando la opción de instalar un sistema automatizado para de esta manera reducir los costos operacionales.
- Este sistema está compuesto por: 10 máquinas para el manejo de aire, 2 generadores de agua helada, 20 unidades de aire de volumen variable, 2 torres de enfriamiento, 5 bombas y 15 paneles de control manual.

Mide

Inicialmente se comienza recolectando los datos de los gastos actuales en las áreas de energía y mantenimiento del sistema de control del acondicionador de aire de esta facilidad. En las tablas 2 y 3 encontraremos cuanto es el consumo energético, mientras en la tablas 4 y 5 veremos cuanto son los costos actuales.

Tabla 2
Consumo Energético de Abril 2013 a Marzo 2014

Fecha de Lectura	Consumo KW/hr Edificio	Consumo KW/Hr Sistema de Acondicionador Aire
23-Apr-13	376,200.00	214,434.00
22-May-13	374,550.00	213,493.50
21-Jun-13	377,850.00	215,374.50
23-Jul-13	403,045.50	229,736.22
22-Aug-13	443,404.50	252,740.85
21-Sep-13	402,600.00	229,482.00
23-Oct-13	458,700.00	261,459.00
21-Nov-13	415701.00	236,949.57
19-Dec-13	300399.00	171,227.43
21-ene-2014	310200.00	176,814.00
20-feb-2014	326700.00	186,219.00
21-mar-2014	315810.00	180,011.70

Tabla 3
Consumo Energético de Abril 2014 a Marzo 2015

Fecha de Lectura	Costo Energía Eléctrica Edificio	Costos Energía Eléctrica Sistema de Acondicionador Aire
23-Apr-13	\$ 112,045.51	\$ 63865.94
22-May-13	\$ 94,031.71	\$ 53598.08
21-Jun-13	\$ 115,165.17	\$ 65644.15
23-Jul-13	\$ 122,471.11	\$ 69808.54
22-Aug-13	\$ 114,267.14	\$ 65132.27
21-Sep-13	\$ 111,187.91	\$ 63377.11
23-Oct-13	\$ 126,415.43	\$ 72056.8
21-Nov-13	\$ 110,845.51	\$ 63181.94
19-Dec-13	\$ 80,290.57	\$ 45765.62
21-ene-2014	\$ 87,286.20	\$ 49753.14
20-feb-2014	\$ 90,950.11	\$ 51841.56
21-mar-2014	\$ 92,310.49	\$ 52616.98

Tabla 4
Costo de Energía de Abril 2013 a Marzo 2014

Fecha de Lectura	Costo Energía Eléctrica Edificio	Costos Energía Eléctrica Sistema de Acondicionador Aire
22-Abr-2014	\$ 93,485.42	\$53,286.69
21-May-2014	\$ 93,651.39	\$ 53,381.29
20-Jun-2014	\$ 84,195.78	\$ 47,991.60
22-Jul-2014	\$ 99,439.65	\$ 56,680.60
21-Aug-14	\$ 84,831.45	\$ 48,353.93
22-Sep-14	\$ 87,920.90	\$ 50,114.91
23-Oct-14	\$ 84,810.74	\$ 48,342.12
19-Nov-14	\$ 68,584.01	\$ 39,092.89
18-Dec-14	\$ 72,228.02	\$ 41,169.97
20-Ene-2015	\$ 62,353.22	\$ 35,541.34
18-Feb-15	\$ 60,475.86	\$ 34,471.24
18-Mar-15	\$ 54,064.35	\$ 30,816.68

Tabla 5
Costo de Energía de Abril 2014 a Marzo 2015

Fecha de Lectura	Consumo KW/hr Edificio	Consumo KW/Hr Sistema de Acondicionador de Aire
22-Abr-2014	321,090.00	183,021.30
21-May-2014	330,000.00	188,100.00
20-Jun-2014	320,100.00	182,457.00
22-Jul-2014	364,650.00	207,850.50
21-Aug-14	318,450.00	181,516.50
22-Sep-14	330,000.00	188,100.00
23-Oct-14	311,850.00	177,754.50
19-Nov-14	271,606.50	154,815.71
18-Dec-14	312,493.50	178,121.30
20-Ene-2015	275,550.00	157,063.50
18-Feb-15	277,200.00	158,004.00
18-Mar-15	247,500.00	141,075.00

Tabla 6
Costos de Mantenimiento de Abril 2013 a Marzo 2015

Año	Costos de Recursos Humanos	Costos de Instrumentos y Componentes de Control Reemplazados	Total de Costos Mantenimiento al año
Abril 2013-Marzo 2014	\$50,400.00	\$2,501.00	\$52,901.00
Abril 2014-Marzo 2015	\$50,400.00	\$2,852.00	\$53,252.00
Total			\$106,153.00

Analiza

Según nos indica [7] el diagrama Causa-Efecto es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado (Ver figura 7) Además en este análisis identifican las alternativas que ayudarán a lograr una mayor eficiencia y un ahorro en los costos operacionales.

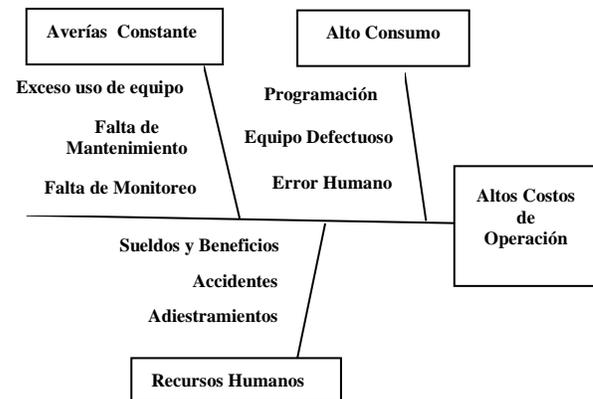


Figura 7
Diagrama de Causa y Efecto

ALTERNATIVA PROPUESTA

- **Averías:** Un sistema de controles automatizado en este proyecto logrará eliminar el uso excesivo de los diferentes equipos, ya que a través de la programación se podrá encender y apagar todos los equipos que componen el sistema del acondicionador de aire de este edificio. Además nos ofrecerá la alternativa de identificar cuando un componente en el sistema se encuentre operando con problemas técnicos.

- **Recursos Humanos:** Actualmente los dos empleados que laboran realizando el control de este sistema ya se encuentran disponibles para acogerse a su beneficio de retiro. Aplicando este proceso laboral podremos eliminar costos por sueldo, accidentes y adiestramientos contratando una compañía externa para este servicio reduciendo así este gasto.
- **Alto Consumo Energético:** Los altos costos del consumo energético en este proyecto están asociados a la cantidad de horas que este sistema de acondicionador de aire se encuentra en operación. Un horario de funcionamiento de 24 horas durante los 7 días de la semana representan un gasto de energía en exceso. Esto nos indica que al tener la oportunidad de seleccionar los intervalos de encendido y apagado a través de la programación mediante el método automatizado lograremos reducir las horas de operación de este sistema. El gasto por equipos defectuosos también se verá reducido ya que el periodo de funcionamiento de estos equipos será mucho menor. Además el sistema automatizado nos ayudará a reducir el error humano de funcionamiento en este sistema.

Mejora

En esta parte de la metodología Define, Mide, Analiza, Mejora y Controla realizamos un análisis estadístico de los gastos y costos energéticos actuales y proyectados. Además se analizan los costos por mantenimiento. Como podemos ver en la tabla 7 sea a proyectado un ahorro de 33% en los costos energéticos generados por el sistema del acondicionador aire de este edificio. Debemos tener presente que existe un factor de gran importancia en esta parte asociado a los ajustes que realiza [8] la autoridad de energía eléctrica en sus facturas. En otras palabras los costos por compra de combustible y compra por energía tienen una variación entre los meses del año. Indica que los meses de verano tendrán un valor mayor en estos costos por las altas temperaturas que se generan.

Tabla 7
Análisis Estadístico de kW/ hr Actual y Proyectado

Análisis kW/hr		
	Actual	Proyectado
	214,434.00	143,027.48
	213,493.50	142,400.16
	215,374.50	143,654.79
	229,735.94	153,233.87
	252,740.57	168,577.96
	229,482.00	153,064.49
	261,459.00	174,393.15
	236,949.57	158,045.36
	171,227.43	114,208.70
	176,814.00	117,934.94
	186,219.00	124,208.07
	180,011.70	120,067.80
	183,021.30	122,075.21
	188,100.00	125,462.70
	182,457.00	121,698.82
	207,850.50	138,636.28
	181,516.50	121,071.51
	188,100.00	125,462.70
	177,754.50	118,562.25
	154,815.71	103,262.08
	178,121.30	118,806.90
	157,063.50	104,761.35
	158,004.00	105,388.67
	141,075.00	94,097.03
Promedio	194,409.19	129,670.93
Desv. Est.	31,544.33	21,040.07
N	24	24

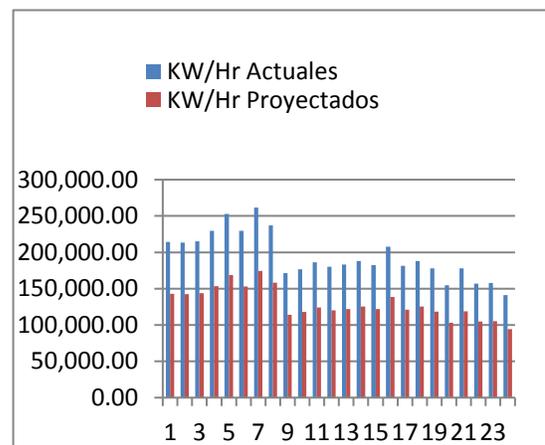


Figura 8
Gráfica kW/hr Actual vs Proyectado

Tabla 8
Análisis Estadístico de Costos Actuales y Projectados

Análisis de Costos		
	Actual	Projectado
	63,865.94	42,598.58
	53,598.08	35,749.92
	65,644.15	43,784.64
	69,808.54	46,562.29
	65,132.27	43,443.23
	63,377.11	42,272.53
	72,056.80	48,061.88
	63,181.94	42,142.35
	45,765.62	30,525.67
	49,753.14	33,185.34
	51,841.56	34,578.32
	52,616.98	35,095.53
	53,286.69	35,542.22
	53,381.29	35,605.32
	47,991.59	32,010.39
	56,680.60	37,805.96
	48,353.93	32,252.07
	50,114.91	33,426.65
	48,342.12	32,244.20
	39,092.89	26,074.95
	41,169.97	27,460.37
	35,541.34	23,706.07
	34,471.24	22,992.32
	30,816.48	20,554.59
Promedio	52,328.55	34,903.14
Desv. Est.	11,229.10	7,489.81
N	24	24

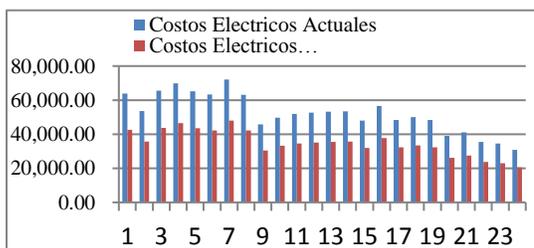


Figura 9
Gráfica Costos Eléctricos Actuales vs Projectado

Tabla 9
Análisis de Costos de Mantenimiento

	Total de Costos Mantenimiento 2 Años
Edificio Público	\$106,153.00
Compañía Externa	\$ 40,000.00
Ahorro Total	\$66,153.00

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

La compañía Carriotech Inc. ubicada en el pueblo de Dorado y dedicada al desarrollo de proyectos en el área de automatización de edificios ganó la subasta para el desarrollo de este proyecto.

Áreas de Construcción

- Instalación de un nuevo sistema de automatización para controles de un acondicionador de aire de agua helada con torre de enfriamiento compuesto por: 10 unidades manejadoras de aire, 20 máquinas manejadoras de volumen variable, 2 generadores de agua helada, 2 torres de enfriamiento y sistemas de 5 bombas de agua.
- Además se incluirán reemplazo de actuadores, sensores, transmisores e interruptores de flujo que se encuentren defectuosos.
- El proyecto se realizará en un periodo de 30 días.
- Tendrá un costo de construcción de \$27,225.14.

Controla

Este proyecto ha tenido un periodo de tres meses de operación una fue vez terminado en mayo 2015 para presentar que este proceso se ha mantenido dentro de los parámetros de control esperados. El consumo de KW/Hr por los últimos tres meses ha logrado ser estable. En la parte del costo energético podemos observar unas pequeñas variaciones que la podemos atribuir a los ajustes que realiza la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico a la compra de combustible y compra de energía.

Tabla 10
kW/hr Consumidos 2015

Junio	158,944.00
Julio	153,301.00
Agosto	154,338.00
Promedio	158,944.00

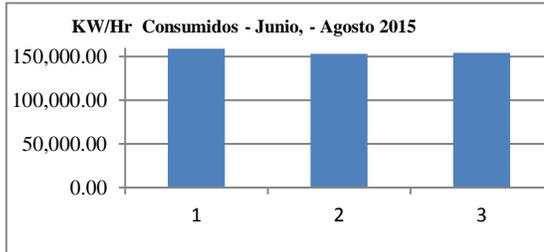


Figura 10

Gráfica kW/hr Junio - Agosto 2015

Tabla 11
Costo Energético Junio - Agosto 2015

Junio	\$39,441.29
Julio	\$36,606.24
Agosto	\$39,584.29
Promedio	\$38,543.94

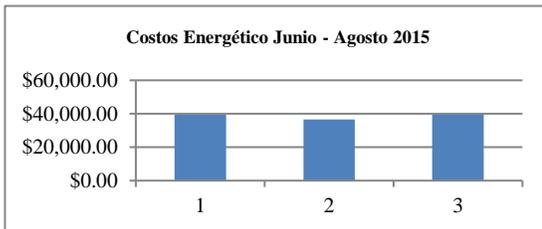


Figura 11

Gráfica Costos Energético

CONCLUSIÓN

A través de este proyecto queda demostrado que el Sistema de controles automáticos es el más eficiente y económico cuando se compara con un modelo convencional manual. Tener la oportunidad de programar el tiempo de encendido y apagado es un factor determinante en este proceso. La programación también nos ayudará a extender la vida útil de los diferentes equipos y componentes ya que se reduce el tiempo de uso de cada uno de ellos. El consumo del gasto energético tendrá una reducción de hasta un 33% en esta facilidad. Además la automatización nos ha presentado un ahorro en los gastos por mantenimiento de \$ 66,153 en dos años. La importancia de maximizar los

recursos humanos y tener la oportunidad de observar el comportamiento del sistema del acondicionador de aire en una pantalla nos ayuda a mantener las condiciones climáticas adecuadas para lograr un excelente temperatura en el interior de este edificio. El modelo automatizado nos ayudará a identificar averías de una manera más rápida y eficiente. A través del beneficio que se ha obtenido en este trabajo se recomienda al administrador de este edificio incluir los sistemas de iluminación y seguridad para reducir aún más el gasto energético.

REFERENCIAS

- [1] PDHcenter. (2015, Junio 8). *Fundamentals of HVAC Controls* [Online]. Available: <http://www.cs.berkeley.edu/~culler/cs294f09/m197content.pdf>.
- [2] Invensys Building System. (2015, Junio 8). *HVAC Control Introduction* [Online]. Available: <http://www.enesystems.com/portals/0/hvac.pdf>.
- [3] NJATC, "Building Automation: Control Devices and Applications", in *American Technical Publishing*, 2008, pp. 50-82.
- [4] F. Shu., M. N. Halgamuge and W. Chen. (2015, Junio 23). *Building Automation Systems using Wireless Sensor Networks: Radio Characteristics and Energy Efficient Communication Protocols* [Online]. Available: <http://www.ejse.org/Archives/Fulltext/2009/Special/2009SP7.pdf>.
- [5] ASQ. (2015, Julio 12). *The Define Measure Analyze Improve Control (DMAIC) Process* [Online]. Available: http://aceee.org/files/proceedings/2003/data/papers/SS03_Panel2_Paper07.pdf.
- [6] Sites. (2015, Agosto 10). *Ventajas de la Automatización* [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/automatizacionycontrol2/automatizacion/ventajas>.
- [7] Fundibeq. (2015, Agosto 15). *Diagrama Causa – Efecto* [Online]. Available: http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_causa_efecto.pdf.
- [8] Autoridad de Energía Eléctrica. (2015, Agosto 22). *Tarifas para el Servicio de Electricidad* [Online]. Available: <http://www.aeepr.com/DOCS/manuales/LibroTarifas02.pdf>.