

Optimización del Programa de Mantenimiento Preventivo de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados Utilizando la Metodología Six Sigma

*Rosa M. Artilés Rodríguez
Maestría en Ingeniería de Manufactura
Carlos J. González Miranda
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *La metodología Six Sigma se utiliza para optimizar el Programa de Mantenimiento Preventivo de la Autoridad de Acueductos Y Alcantarillados. Esta corporación que se clasifica dentro de la industria de la manufactura ya que produce agua potable 24 horas al día, siete días a la semana, necesita tener un programa robusto para evitar interrupciones en el servicio e incumplimiento con el Departamento de Salud y la Agencia de Protección Ambiental. Además, las mejoras obtenidas redundan en una mejor calidad del agua que es servida a las personas. En la definición del problema se realiza una Matriz de Prioridades de Problemas que identifica como el programa SAP y la falta de integración entre los departamentos afectan el funcionamiento del programa. En la etapa de medir se utiliza el Diagrama de Pareto que identifica las variables donde se concentran los problemas. Además, se presenta como se mide las ejecutorias de las plantas por medio de métricas. Esto permite analizar el PIMP para implementar unas mejoras con el propósito de mantener los resultados obtenidos.*

Key Terms — *Correctivo, Mantenimiento, Optimización, Preventivo.*

INTRODUCCIÓN

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillado (AAA) implementó el Programa Integrado de Mantenimiento Preventivo y Correctivo en el 2007 por la falta de mantenimiento a equipos e instalaciones que tenían como consecuencia inmediata la afectación de servicios a los clientes. Han pasado siete años desde dicha implementación

que ha traído muchos cambios positivos a la corporación pública.

No obstante, el Programa no está funcionando a cabalidad, se puede estimar que sólo trabaja en un 65%, obtenido del análisis de datos. Esto ha traído serias repercusiones financieras para la AAA debido al costo que representa arreglar o reemplazar los equipos que se dañan continuamente. A esto se le añade las multas por no cumplir con los organismos regulatorios como la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Departamento de Salud.

Por ende, necesita una optimización del programa para que funcione a cabalidad, más cuando tiene una fecha límite impuesta por la mencionada agencia estatal y federal para que esto suceda. La metodología que se aplica es la de six sigma ya que tiene el objetivo de buscar los problemas que muchas veces permanecen ocultos o no son tomados en consideración.

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados tiene como misión “proveer un servicio de agua y alcantarillados de calidad al menor costo posible”. Para lograr esto, los equipos y herramientas asociados al proceso son pieza clave para que el proceso de filtración y tratamiento sea el mejor. Esto obliga a que el Programa de Mantenimiento Preventivo sea optimizado para garantizar que los equipos trabajen eficientemente, producción de agua potable y tratamiento de agua usada de forma continua, se conozcan los activos de la AAA, automatización del proceso y cumplir con las regulaciones y acuerdos.

La metodología Six Sigma sería aplicada al Programa para descubrir las causas de los problemas que evitarían reducir los tiempos de los órdenes de mantenimiento preventivo y correctivo, la coordinación eficaz entre el Departamento de Mantenimiento y los clientes internos que son las plantas, el cumplimiento de las órdenes de trabajos, la especialización de las brigadas de trabajo, la integración del proceso del mantenimiento con el Departamento de Compras y el manejo correcto de los datos para la toma de decisiones.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los Programas de Mantenimiento Preventivo proveen un servicio compuesto por varias tareas que permiten obtener una mayor confiabilidad de los equipos, máquinas, instalaciones y el proceso que se lleve a cabo. El mantenimiento provee unos beneficios tangibles como la capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad. Antes de que surgiera la necesidad de implementar programas de mantenimiento a equipos en las empresas, se producía de forma continua con el único objetivo de tener el producto. Por lo que se reparaba tan pronto se dañaba la máquina.

Tipos de Mantenimientos

Mantenimiento Preventivo: se realizan ciertas tareas relacionadas al tipo de equipo con anticipación y de forma planificada. Tiene como objetivo evitar que surjan correctivos y alargar la vida útil del equipo. Se realiza de forma periódica para asegurar que la máquina no se dañe por no haberse dado el mantenimiento adecuado.

Mantenimiento Correctivo: ocurre cuando la máquina o equipo se daña. El equipo puede estar fuera de operación o estar trabajando con alguna falla. Por lo que este tipo de mantenimiento se clasifica en correctivos no planificados y correctivos planificados. Los que son no planificados es el que ocurre de emergencia y debe ser reparado lo antes posible ya que afecta la producción. Mientras que el correctivo planificado es el que se sabe la reparación que se va a hacer,

por lo que se planifica tener el material disponible y el personal técnico adecuado.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA AL PROGRAMA INTEGRADO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El Programa Integrado de Mantenimiento Preventivo (PIMP) de la Autoridad de Acueductos se divide en PIMP Sede y PIMP plantas y redes de distribución. PIMP Sede se encuentra en las oficinas centrales de la corporación y consta del director general del Programa y sus asesores. Esta división es quién toma las decisiones sobre el programa de mantenimiento preventivo, el programa de computadora SAP y sus cambios, los adiestramientos que se deben dar y todo lo necesario para que el programa cumpla las fechas acordadas con los organismos regulatorios. Por otro lado, el PIMP que se encuentra en las plantas y redes de distribución son quienes ejecutan las decisiones de PIMP Sede, planifican y realizan las órdenes preventivas y correctivas, utilizan el programa de computadora SAP y reciben los adiestramientos. Para este trabajo es muy importante conocer el organigrama del Programa para entender y analizar los problemas que no se pueden detectar. Ver Figura 1.

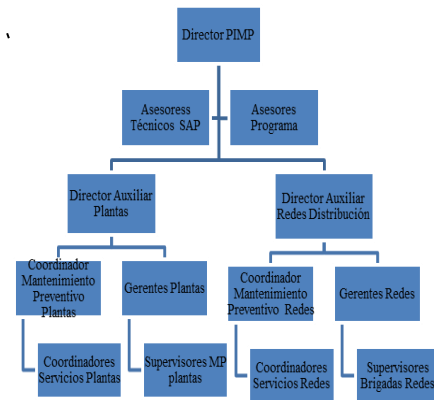


Figura 1
Organigrama Programa Integrado MP Área Metro

Primera Fase: Definir el Problema

En esta fase se identifican los principales problemas presentados en el Programa Integrado de

Mantenimiento Preventivo. Primero se presenta el Project Charter en la tabla 1 y luego se utiliza una matriz de priorización de problemas en la tabla 2 donde los coordinadores de servicios de las plantas y redes de distribución votan por los problemas que más afectan.

Tabla 1
Acta de Constitución del Proyecto

Nombre del Proyecto	Optimización del Programa Integrado de Mantenimiento Preventivo de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico con la Aplicación de la Metodología Six Sigma.		
Organización	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados	Departamento	Programa Integrado de Mantenimiento Preventivo
Fecha de Comienzo	15 de enero de 2014	Fecha de Fin del Proyecto	15 de mayo de 2014
Elemento	Descripción		
Proceso	El Programa Integrado de Mantenimiento Preventivo necesita establecer un proceso de mejora continua para poder mejorar la operación y manejo de la información obtenida del mantenimiento preventivo y correctivo en las plantas. Esto representa una oportunidad para aumentar la eficiencia del mantenimiento, las destrezas y conocimientos del recurso humano y encontrar las causas principales del pobre desempeño. Esto podría tener como resultado el mejoramiento del proceso de filtración de agua potable y tratamiento de aguas usadas que traería ahorros económicos a la empresa y por ende, a los clientes.		
Descripción del Proyecto	Mejoramiento del Programa Integrado de Mantenimiento Preventivo y su manejo correcto para reducir la cantidad de equipos dañados y alargar la vida útil de éstos en las plantas de filtración de agua potable y de tratamiento de aguas usadas.		
Objetivos	Optimización de la disponibilidad del equipo y de los recursos humanos, disminución de los costos de mantenimiento y la maximización de la vida útil de los equipos.		
Resultados para la AAA	Tener un Programa Productivo de Mantenimiento que trabaje eficientemente a favor de las plantas, quienes son los clientes principales. Por lo que la Corporación Pública obtendría beneficios económicos ya que se alarga la vida útil de los equipos y aumenta la confiabilidad de éstos. Esto le permitiría a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados lograr una verdadera transformación en la organización y tener implementado el programa cabalmente para cumplir con los organismos regulatorios como la Agencia de Protección Ambiental y el Departamento de Salud.		
Responsable del Proyecto	Rosa M. Artilles Rodríguez		
Alcance del Proyecto	La recolección de datos provenientes del actual programa de mantenimiento a equipos de las plantas de la Región Metro para identificar y analizar los defectos que tiene un efecto en sigma y en el requerimiento de los recursos.		
Beneficios para los Clientes Internos	El personal interno de las plantas obtiene grandes beneficios como lo son tener sus equipos trabajando de forma eficiente, poder producir agua potable de forma continua y una notable mejora en los procesos.		
Beneficios para los Clientes Externos	Obtener una reducción en la factura, mejor calidad de agua potable y el tratamiento correcto de las aguas usadas que se vierten en nuestros valiosos cuerpos de agua.		

Tabla 2
Matriz de Priorización de Problemas

Problema	Frecuencia	Importancia	Factibilidad	Total de Puntos
Problemas Provenientes del Programa SAP	25	25	18	68
Toma de decisiones Gerencia PIMP	21	25	14	60
Falta de Adiestramientos	21	25	21	67
Fallas en Planificación	13	22	25	60
Falta de Comunicación entre Compra, Finanzas y PIMP	25	25	16	66
Pobre Ejecución de las Ordenes de Mantenimiento Preventivo y Predictivo	14	25	24	63
Falta de Datos Históricos sobre el mantenimiento a los Equipos	24	24	17	65
Problemas en el Programa de Calibración	16	25	24	65
Falta de Inversión en Equipos Nuevos y Modernos	25	25	9	59

Esta matriz demuestra que los mayores problemas provienen del programa SAP, la toma de decisiones de PIMP Sede, falta de comunicación entre los Departamentos de Compras, Finanzas y PIMP y falta de adiestramientos.

- **Problemas con el Programa SAP:** la palabra SAP significa Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos. Este sistema se compone de muchos módulos para la gestión empresarial. Cada módulo tiene su función, pero la ventaja del programa es que se puede compartir la información entre módulos y tareas. Se utiliza en Mantenimiento Preventivo para el inventario de equipos, para asignarle el mantenimiento que requiere, planificar

cada cuánto se realizará, crear las órdenes correctivas, etc. No obstante, PIMP de Plantas y Redes de Distribución se enfrentan con equipos en inventario sin información o incompleta, mantenimientos preventivos que no aplican, frecuencias incorrectas y otro sinnúmeros de dificultades para registrar los trabajos.

- **Tomas de Decisiones PIMP Sede:** Se toman decisiones que afectan a PIMP plantas y redes, los clientes internos y por ende los clientes externos.
- **Adiestramientos**
- **Falta de Integración del Departamento de Compras, Finanzas y Mantenimiento Preventivo.**

Segunda Fase: Medir

De acuerdo a los datos obtenidos, se desarrolla el Diagrama de Pareto para conocer las fallas que afectan el PIMP. Ver Figura 2.

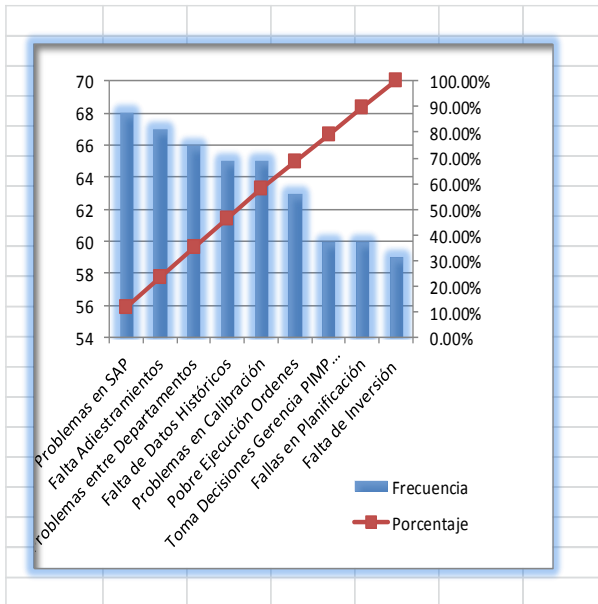


Figura 2
Gráfica de Pareto

Por otro lado, los clientes internos son medidos por el Programa Integrado de Mantenimiento por medio de unas métricas que reflejan la ejecución de las órdenes correctivas y preventivas. Los tipos de métricas incluyen el tiempo promedio que tardan

los equipos para repararse (MTTR), la tardanza en realizarse los trabajos ya sean preventivos o correctivos (Backlog) y el incumplimiento del itinerario (Schedule compliance).

- Tiempo promedio para la reparación de un equipo: funciona como un indicador del tiempo que se tarda en reparar o reemplazar un equipo desde que ocurre la avería hasta que se cierra la orden. La fecha de cierre de la orden se refiere a la fecha de referencia para hacer el cálculo. La meta es lograr un promedio de reparación menor a 30 días.
- Tardanza en realizar Trabajos: se conoce en inglés como “backlog” y es un indicador de las órdenes correctivas y preventivas planificadas para un tiempo específico, pero no se han realizado ni re-planificados. La meta es tener menos de un %5 de backlog porque lo que se desea es que las órdenes se realicen de acuerdo a lo planificado.

$$\text{Backlog} = \frac{\text{Total Ordenes Atrasadas}}{\text{Total Ordenes}} \times 100\% \quad (1)$$

- Incumplimiento en el itinerario: se conoce como “schedule compliance” en inglés y es un indicador de las órdenes preventivas o correctivas que se completaron para la fecha de inicio que indicaba la orden.

$$\text{Schedule Compliance} = \frac{\text{Total Ordenes Cerradas}}{\text{Total Ordenes}} \times 100\% \quad (2)$$

Tercera Fase: Analizar

El Diagrama de Pareto demuestra que el 80% de los problemas del Programa de Mantenimiento Preventivo ocurren con el Programa SAP, la falta de adiestramientos y la falta de integración entre los departamentos de Compras, Finanzas y Mantenimiento. El Programa SAP se utiliza para registrar los trabajos correctivos y mantenimientos realizados a los equipos. No obstante, posee muchos errores que resultan en un atraso del programa.

Los planes de mantenimiento son generalizados y poseen tareas que no concuerdan con lo recomendado por el fabricante. Por lo que hay tareas que no aplican y se entiende que los equipos no reciben en mantenimiento preventivo adecuado. A esto se le añade equipos duplicados, falta información técnica y transacciones no amigables para el usuario. Ver Figura 3.

En el caso de la falta de adiestramientos, PIMP no provee educación continua a las brigadas para la reparación de equipos. A esto se le añade la falta de adiestramientos a todo el personal de la AAA, especialmente los clientes internos que son las plantas de la importancia del PIMP y el acuerdo realizado con las agencias reguladoras. Por lo que el Programa es auditado en todas sus áreas y las personas envueltas como los operadores quienes son los primeros que reportan una avería y tiene un formulario donde cotejan diariamente los equipos críticos que afectan la operación de la planta.

Otro problema es la falta de integración entre los Departamentos de Compras, Finanzas y PIMP que ocasiona un sinnúmero de problemas. Entre éstos, se puede mencionar el atraso de órdenes correctivas porque las solicitudes de pedido de compra no prosperan o tardan en gestionarse. La queja general de los clientes internos es que Finanzas quién asigna el dinero tarda en promedio 2 a 3 meses. Luego Compras tarda otros meses más y no necesariamente compran lo solicitado por el cliente.

Esto tiene el efecto de tener más equipos averiados y afectar el proceso de producción y tratamiento de agua que redundan en subir los costos a los consumidores. Además, esta falta de integración y comunicación resulta en requisiciones perdidas, cancelación de contratos y contratos abiertos que no se renuevan. El área de almacén de la AAA se afecta también ya que no tienen los materiales para las brigadas disponibles y equipos de reemplazo. Estos problemas que tienen el peso del 80% afectan considerablemente a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, corporación pública que debiera trabajar de forma autónoma.

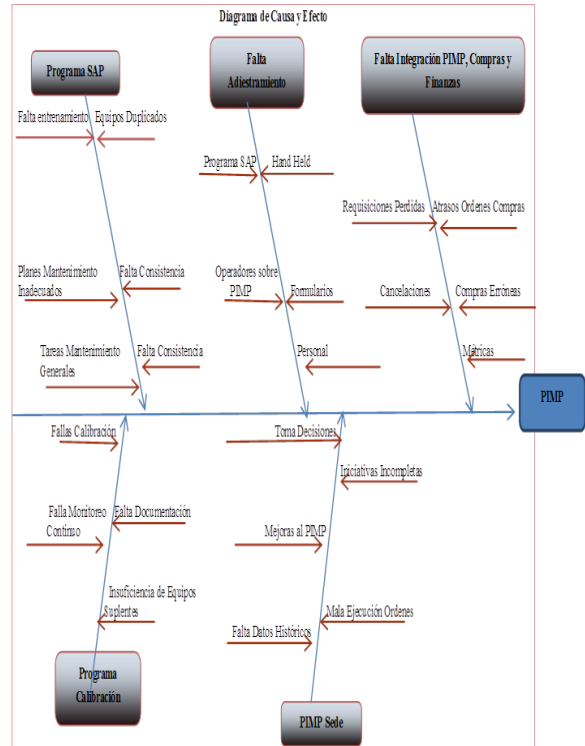


Figura 3
Diagrama de Causa y Efecto

Cuarta Fase: Mejorar

De los problemas presentados, el programa SAP necesita ser más cómodo para todos los que tienen que trabajar con éste. Por lo que se le presentó la iniciativa a PIMP Plantas y Redes de hacer un tipo Kaizen donde los coordinadores de servicios y Mantenimiento estandaricen la información. Se arreglaron los nombres de los equipos según brigadas y operadores de plantas y redes lo conocen, se eliminaron los equipos duplicados y se recomendó a PIMP Sede hacer unos planes de mantenimiento preventivo más acorde con lo recomendado por el manual del fabricante. Ver Figura 4.

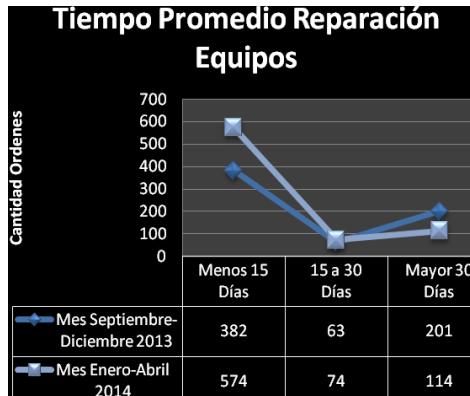


Figura 4
Gráfica MTTR

En el backlog correctivo y preventivo se muestra la mejora de las iniciativas después de aplicar la metodología Six Sigma. Ver Figuras.

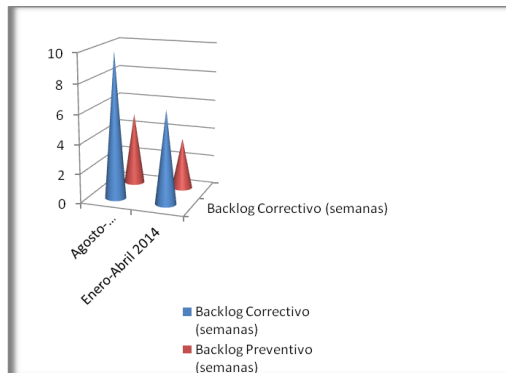


Figura 5
Gráfica Backlog Preventivo y Correctivo

En el caso de la falta de integración entre departamentos como PIMP, Finanzas y Compras, se implementó la visita de representantes envueltos en las reuniones de personal de cada uno. Además, se sugirió y se comenzó a delegar ciertas actividades como la creación de pedidos de compra de forma directa para evitar la burocracia y atrasos de órdenes. Estas solicitudes son realizadas por los Gerentes de Mantenimiento y Coordinadores de Servicios.

En el caso de los Adiestramientos, se sugirió no esperar por PIMP Sede o AAA, sino que se están realizando por los coordinadores de servicios de forma individualizada. Se crearon unos adiestramientos más afines con las necesidades del cliente interno y se incluyó mucha práctica. Los

adiestramientos están enfocados en los supervisores de mantenimiento preventivo.

Quinta Fase: Controlar

Se generó un flujo grama de ciertos procesos para asegurar que el Programa de Mantenimiento trabaje como debe ser y esté listo para el 2021 que es la fecha impuestas por las agencias reguladoras para cumplir con lo acordado. Ver Tabla 3.

Tabla 3
Métrica Reportadas por PIMP

MES	MÉTRICAS DEL PIMP	META	EST	MET PLANTA	MET REDES	NOR	OES	SUPER ACUED	SUR	ISLA	
	% of WO delivered when first scheduled										
	- Preventivos (%)	86%	92%	92%	91%	90%	99%	94%	87%		
	- Correctivos (%)	85%	83%	89%	47%	75%	92%	75%	71%		
	Backlog by WO Type (PM, PdM, Corrective)										
	- Preventivo (semanas)	1.55	0.50	0.80	0.82	0.00	0.00	0.00	0.59		
	- Correctivo (semanas)	9.07	3.53	1.72	2.64	4.27	3.00	5.21	4.30		
	MTTR										
	- Correctivo (días)	19	22	13	19	27	7	22	26		
	% of Corrective Work Order										
	- Correctivo (%)	18	32	35	41	26	17	25	0		

CONCLUSIÓN

Este trabajo demostró que es posible optimizar el Programa de Mantenimiento Preventivo de la AAA usando como referencia una metodología Six Sigma. Se identificó los diferentes problemas que afectan el Programa y al corregirse reportaron ganancias de forma rápida a la AAA. Se redujo el tiempo de ejecución de órdenes y el tiempo en el que los equipos fueron reparados. Se espera que este proyecto refleje la necesidad para la incorporación de estar pendiente a los defectos que no son tan obvios e implemente las medidas necesarias para corregirlos.

El nuevo proceso de control establecido para el área de mantenimiento permitirá en el futuro a la Gerencia PIMP obtener información de mejor calidad y de forma más rápida, a la vez que reduce

la incertidumbre y el riesgo asociado con la toma de decisiones gerenciales. El uso de Six Sigma tiene gran potencial para la mejora de procesos es muy grande y se ha utilizado a través del tiempo para la gestión de calidad de las compañías.

REFERENCIAS

- [1] Breyfogle III, F.W., *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Method*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] Google, *Cause and Effect Diagram*. Obtenido el 25 de octubre de 2014 de www.google.com.pr/search?q=cause+%26+effect+diagram.
- [3] EPA: *Herramientas para Sistemas de Tratamiento de Agua*. Obtenido el 20 de abril de 2014 de <http://www.epa.gov/region1/sso/toolbox.html>.
- [4] Accenture, *Manual Mantenimiento Preventivo*, 2007.
- [5] Torres, E., *Handouts of Six Sigma Class*, MMP 6130, Fall 2013.