

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Investigación

**Análisis del impacto en costos de mantenimiento y
paradas de planta no deseadas después de la
actualización de posicionadores de válvulas de
control**

Henry Lincoln Peña Villon

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Industrial

Lima, 2019

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a todas aquellas personas con espíritu de investigación, que quieran formular nuevas mejoras dentro de sus trabajos, empresas o negocios propios.

Contenido

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	10
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	10
1.2. Objetivos.....	12
1.3. Justificación	12
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes del problema	14
2.2. Bases teóricas	15
2.3. Definición de términos básicos.....	18
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	20
3.1. Método, y alcance de la investigación	20
3.2. Diseño de la investigación	20
3.3. Población y muestra	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)	23
4.2. Prueba de hipótesis	31
4.3. Discusión de resultados.....	34
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	36
Referencias	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Elaboración propia	11
Tabla 2: Capacidades de diagnóstico de DVC6200 (9)	17
Tabla 3: Niveles de criticidad de válvulas	21
Tabla 4: Comparación de OT en SAP ERP para el tamaño de muestra seleccionada (elaboración propia).	24
Tabla 5: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).	25
Tabla 6: Comparación de costos (elaboración propia).....	25
Tabla 7: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).	26
Tabla 8: Comparación de costos (elaboración propia).....	26
Tabla 9: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).	28
Tabla 10: Comparación de costos (elaboración propia).	28
Tabla 11: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).	30
Tabla 12: Comparación de costos (elaboración propia).	30
Tabla 13: Calculo estadístico de variables (elaboración propia)	32
Tabla 14: Valores obtenidos (elaboración propia)	32
Tabla 15: Paradas de planta relacionadas con válvulas de control (elaboración propia).	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Válvula de control de Fisher Emerson (7)	16
Figura 2: Posicionador DVC6200 de Fisher Emerson (8)	16
Figura 3: Fórmula para muestras (10)	21
Figura 4: Comparación de costos (elaboración propia).	25
Figura 5: Comparación de costos (elaboración propia).	27
Figura 6: Comparación de costos (elaboración propia).	29
Figura 7: Comparación de costos (elaboración propia).	29
Figura 8: Comparación de costos (elaboración propia).	31
Figura 9: análisis de dispersión de variables (elaboración propia).....	33
Figura 10: Tendencia de paradas de planta causadas por válvulas de control.	34

RESUMEN

En la planta de licuefacción de gas natural ubicada en Cañete, se realizó una actualización de posicionadores de válvulas de control, debido a la obsolescencia próxima de estos sistemas electrónicos, así como también la posibilidad de adquirir electrónica con mejores beneficios para la detección de fallas tempranas y la posibilidad de contar en las válvulas con el denominado diagnóstico avanzado. El problema es que no se cuenta con información colectada y analizada para poder verificar el impacto de la actualización. Por ello en el presente trabajo, usando el método lógico-deductivo, se analiza los costos de mantenimiento asociados a estas válvulas con posicionador antes y después de la actualización. Adicionalmente se evalúa el desempeño de estas frente a las paradas de planta que causan. Se pudo determinar que no hay una optimización de costos para todas las válvulas con actualización, pero se identificaron casos particulares donde sí hubo un impacto positivo.

Palabras clave: posicionador, parada de planta, diagnóstico avanzado.

ABSTRACT

In the liquefied natural gas plant located in Cañete, positioner upgrades were performed in certain control valves, since obsolescence for these electronic devices is forthcoming, as well as the possibility to acquire electronics with better features in fault detection and possibility to acquire the advanced diagnostic feature. The problem identified lies in the lack of collected and analyzed data to verify the outcome after the upgrades. Therefore, in this document, using logic-deductive methodology, maintenance costs were analyzed, before and after the upgrade related to these valves with positioners; in addition, assess their performance handling plant shutdowns caused by them. Finally, the cost optimization was not achieved in all upgraded valves; however, certain units were identified having the desired positive feat.

Keywords: positioner, plant shutdown, advance diagnostic.

INTRODUCCIÓN

En la planta de licuefacción de gas natural al sur de Lima, donde se cuenta con instrumentación industrial instalada para controlar remotamente muchos de los procesos para la producción del LNG, como las válvulas de control las cuales trabajan con posicionadores de la marca FISHER, estos están siendo actualizados progresivamente en cada parada planta por versiones más reciente debido a que las antiguas dejaran de tener soporte, en un futuro próximo por obsolescencia programada.

Se eligió para la modernización, posicionadores con sistema de diagnóstico avanzado, los cuales ofrecen gran capacidad de predicción de fallas y diagnósticos de mantenimiento, sin embargo, no se tiene una idea clara de cuanto es el beneficio real, por ello este documento se ha organizado de la siguiente manera:

CAPITULO I: Donde planteamos y formulamos el presente proyecto, estableciendo los objetivos, dando a conocer la justificación y finalmente estableciendo la hipótesis.

CAPITULO II: Aquí planteamos el marco teórico para entender las bases en las que sustentamos el presente estudio. Teniendo antecedentes del problema y finalmente definiendo algunos términos que usaremos en el presente documento.

CAPITULO III: Donde se delimita el problema y el método a usar en la presente investigación, adicionalmente se define las muestras a usar para el cálculo estadístico y las técnicas a usar en estas.

CAPITULO IV: Finalmente, en este espacio expondremos los resultados obtenidos de la investigación, así como también la validación de la hipótesis y se presenta una discusión de los datos obtenidos.

Finalmente, tendremos las referencias usadas dentro del presente documento.

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN COSTOS DE MANTENIMIENTO Y PARADAS DE PLANTA NO DESEADAS DESPUÉS DE LA ACTUALIZACIÓN DE POSICIONADORES DE VÁLVULAS DE CONTROL

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

La planta de PERU LNG en Pampa Melchorita de procesamiento de gas natural, ubicado al Sur de Lima en el Km 163 de la panamericana Sur, opera desde el 2010. En su construcción se instaló lo último en tecnología de control e instrumentación de ese año, donde en el concepto del diseño solo se consideró que la instrumentación de campo debía cumplir con su función ya sea como transmisor, enviando las señales de medida al sistema de control, o como válvula, recibiendo los comandos del sistema de control, por ello estos equipos electrónicos fueron comprados con niveles de diagnóstico básicos.

Las 130 válvulas instaladas en campo cuentan con posicionadores DVC6000 de la marca Fisher que reciben las señales del sistema de control, estos equipos electrónicos son los que convierten las señales electrónicas en señales neumáticas que controlan la válvula. Adicionalmente, cada válvula que son un conjunto de diafragmas, resortes, carcasa, ejes, asientos y empaques; todos estos componentes están sometidos a presión de aire y movimiento, por ello sufren desgaste y fatiga. Eventualmente algún componente falla y dependiendo de su criticidad todo conjunto falla y con esto puede retrasar el proceso, generar tiempos muertos y pérdidas de producción.

Año	#Válvulas que fallaron	Horas de parada	Costo de repuestos
2013	5	14	\$4891
2014	7	11	\$7009

2015	4	19	\$10489
2016	9	17	\$5863
2017	8	25	\$28847
2018	11	21	\$89042

Tabla 1: Elaboración propia

A partir del 2013 como se aprecia en la tabla 1, se registraron las primeras fallas críticas de las válvulas, hasta el 2018 la mayoría de los casos de fallas se dieron en las válvulas y pocos de los casos fueron en la electrónica o posicionador. Sin embargo, existe un plan de mantenimiento preventivo anual, donde se evalúa la condición externa de la válvula, presión de la válvula y movimiento de apertura o cierre de 0 a 100%. Se debe resaltar que al haber muchas partes dentro de la válvula y con el desgaste que es constante no es posible que con los sentidos se pueda notar una falla inminente.

Por lo señalado arriba y teniendo en cuenta que el vendedor de las válvulas y posicionadores cuenta con equipos con mejor electrónica y software, se determinó buscar una manera de mejorar el mantenimiento y poder evitar fallas en válvulas, para disminuir tiempos de paradas de planta y costos de mantenimiento.

Por consiguiente, a partir del año 2017 se inició una migración progresiva de posicionadores a versiones más actuales, modernas y costosas, sin embargo, no hay una diferencia notoria en el tiempo de paradas de planta por válvulas de control, por lo que nos planteamos los siguientes problemas.

Problema General

¿Cuál es el impacto después de la actualización de posicionadores con las paradas de planta no deseadas y los costos de mantenimiento?

Problemas Específicos

P1. ¿Cuánto es el impacto de los posicionadores en los eventos de paradas de planta no deseados?

P2. ¿Cómo impacta la actualización en los planes y costos actuales de mantenimiento?

P3. ¿Se introducen problemas adicionales por el uso de nuevas tecnologías?

1.2. Objetivos

Objetivo general

Analizar los tiempos de parada de planta no deseadas antes y después de la actualización de posicionadores para determinar si existen beneficios, así como también determinar el impacto en los costos de mantenimiento.

Objetivos específicos

- O1. Cuantificar el impacto de la actualización de posicionadores en las paradas de planta no deseadas.
- O2. Comparar los costos de mantenimiento antes y después de la actualización de posicionadores.
- O3. Determinar las fallas o costos adicionales por el uso de nueva tecnología.

1.3. Justificación

El fabricante de las válvulas y posicionadores, desde versiones anteriores de sus posicionadores vende diferentes opciones de diagnóstico, donde se puede diferenciar que hay opciones básicas como con las que se cuentan actualmente en planta y versiones más avanzadas que dan información de mantenimiento y desempeño de las válvulas, los cuales no fueron considerados en el diseño de la planta.

Actualmente, el fabricante solo provee la versión de posicionadores DVC6200, quedando nuestras versiones DVC6000 obsoletas y sin más posibilidad de conseguir soporte y repuestos. Por ello, eventualmente todos los posicionadores deben ser migrados a la versión más actual ya sea por falla del equipo o por necesidad de diagnósticos avanzados.

Los diagnósticos avanzados, son básicamente algoritmos programados en la electrónica interna usando el mismo hardware, donde el software que el fabricante provee puede dar información acerca de desgaste en algunos componentes de la válvula como por ejemplo el asiento, el tapón y jaula interna; puede medir fricción en componentes como el eje, resortes y también

puede determinar problemas como exceso o falta de presión de aire, falta de fuerza en resortes, fugas en el cuerpo de la válvula, entre otros.

Este software a su vez puede ayudar a desarrollar el mantenimiento predictivo, y con esto se podría determinar fallas antes que sucedan y determinar si las frecuencias de mantenimiento son adecuadas.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

Hipótesis general

La actualización de posicionadores reducirá los tiempos de parada de planta no deseada a menos de 3 eventos por año y los costos de mantenimiento de mantenimiento a válvulas disminuirá en al menos 10%.

Hipótesis nula

La actualización de posicionadores no reduce los tiempos de parada de planta y tampoco disminuye los costos de mantenimiento.

Variable 1: Tiempo de parada de planta no deseado

Se refiere a los tiempos de parada de planta no deseado que se producen por la falla de una válvula de control, ya sea por falla de la misma válvula o la electrónica de su posicionador instalado, teniendo como consecuencia dejar de producir LNG, retrasar despacho del producto y esto se traduce en dinero que no se genera en la producción.

Variable 2: Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento son una suma de varios ítems los cuales son para mantener las válvulas en un estado normal de funcionamiento. Entre estos costos tenemos el costo de los repuestos, el costo de los accesorios, el costo de la mano de obra de los trabajadores que intervienen el equipo ya sea de la propia empresa y/o contratistas que brindan servicios para mantener las válvulas en su estado de funcionamiento normal.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

En el Perú trabajamos con tecnología de automatización para las válvulas de control, sin embargo, no hay estudios sobre las ventajas de usar tecnología con electrónica de diagnóstico avanzado, ya que a más elementos tenga un equipo, más posibilidades de falla se pueden tener.

Según un estudio de diagnóstico de válvulas por redes neuronales (1) las válvulas que cuentan con posicionadores del fabricante METSO y usan el software proporcionado por este, se tiene la posibilidad de evaluar el desempeño de la válvula, así como también realizar diagnósticos donde gráficamente se evalúa el estado actual de la válvula en línea.

Expuesto todo lo anterior, podemos inferir que se pueden tener datos importantes para poder tomar decisiones sobre el mantenimiento y búsqueda de problemas de las válvulas,

Según otro estudio de monitoreo avanzado, diagnóstico de fallas y mantenimiento de sistemas criogénicos (2) tenemos que el diagnóstico de fallas y monitoreo avanzado más una implementación de un algoritmo avanzado puede ayudar a tener un mantenimiento predictivo con lo que se podría tener una optimización en el mantenimiento de las válvulas e instrumentación como por ejemplo las frecuencias de mantenimiento. Por otro lado, también se agrega el soporte que se le puede dar al operador de planta para tener una idea del estado de sus equipos.

Según otro estudio sobre confiabilidad y mantenimiento usando posicionadores digitales (3) tenemos un estudio comprensible sobre las ventajas de usar posicionadores digitales donde podemos resaltar las posibilidades que se ofrecen en diagnóstico de estos equipos en línea o fuera de línea, como también el diagnóstico de fallas que se puede obtener de la electrónica instalada en las válvulas. Sin embargo, lo más resaltante es el aspecto que la parte humana juega para decidir sobre sus equipos, ya que después de todo la variedad de información obtenida de un posicionador digital, esta debe ser analizada por un experto para poder dar su veredicto del estado actual de una válvula de control.

Por otro lado, tenemos un estudio válvulas críticas de seguridad y válvulas de producción en líneas de gas (4) donde se hace un estudio de la clasificación de fallas y se resaltan los planes de mantenimiento. Estos planes deben tener un procedimiento adecuado y estar direccionado a las posibles fallas que pueden ocurrir. Por otro lado, se comenta sobre la corrosión y desgaste de partes de la válvula, algunas partes al sufrir corrosión o desgaste no son un problema o su impacto es mínimo, mientras que algunos componentes clave pueden generar con el tiempo problemas y el deterioro de su función principal.

Finalmente, tenemos que la aplicación de nuevos posicionadores incrementa la posibilidad de detección de fallas a futuro, poniéndonos en el tipo de mantenimiento predictivo (5), sin embargo, siempre se tendrá buenos resultados si se realiza una buena configuración de la electrónica y se incluyen la realización de las pruebas recomendadas por el fabricante en los planes de mantenimiento.

Por todo lo expuesto, en la presente tesis se enfoca el problema, en la posibilidad de poder cuantificar cuales son los beneficios reales que se obtienen al usar tecnologías de diagnósticos avanzados de posicionadores en válvulas de control.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Las válvulas de control

Las válvulas de control, como la mostrada en la figura 1, son equipos electroneumáticos considerados dentro de la automatización industrial como: Elementos finales de control, los cuales se instalan en plantas industriales para controlar el fluido que pasa a través de la válvula y con esto controlar variables como presión, temperatura, nivel, flujo entre otras (6 pág. 381).



Figura 1: Válvula de control de Fisher Emerson (7)

2.2.2 Posicionadores

Los posicionadores son equipos electrónicos-neumáticos, como el mostrado en la figura 2, para poder controlar la posición de las válvulas exactamente en el rango de 0 a 100% y con esto tener un rango exacto e idea del comportamiento de la válvula (6 pág. 441).



Figura 2: Posicionador DVC6200 de Fisher Emerson (8)

a) Tipos de diagnóstico de posicionadores

Mostramos la tabla 2, las posibilidades de diagnóstico ofrecidos por Fisher de Emerson Process para sus posicionadores, el diagnóstico básico solo permite mover la válvula a los valores deseados y tener datos de presión de trabajo y valor actual de posición de la válvula. Mientras que los equipos con diagnóstico avanzado pueden tener análisis de fricción, prueba de todo el recorrido de la válvula, determinar la fuerza de cierre, determinar el estado del asiento de la válvula, entre otras opciones (9 pág. 5).

CAPABILITY	DIAGNOSTIC LEVEL				
	AC	HC	AD	PD	ODV
Auto Calibration	X	X	X	X	X
Custom Characterization	X	X	X	X	X
Burst Communication		X	X	X	X
Alerts		X	X	X	X
Step Response, Drive Signal Test & Dynamic Error Band			X	X	X
Advanced Diagnostics (Valve Signature)			X	X	X
Performance Tuner			X	X	X
Travel Control - Pressure Fallback			X	X	X
Supply Pressure Sensor			X	X	X
Performance Diagnostics				X	X
Solenoid Valve Testing					X
Lead/Lag Set Point Filter ⁽¹⁾					X

1. Refer to brochure part # D351146X012/D351146X412 for information on Fisher optimized digital valves for compressor antisurge applications.

Tabla 2: Capacidades de diagnóstico de DVC6200 (9)

b) Pruebas de diagnóstico

Las pruebas de diagnóstico son capacidad que tiene el software de la electrónica del posicionador para poder determinar, en base a movimientos de la válvula y sensores instalados, el estado de diversos componentes de la válvula y el mismo posicionador, para poder determinar fallas futuras o mantenimientos requeridos. Dentro de estas pruebas las más comunes son el total scan, con la que se puede ver el recorrido de la válvula así como también el estado del asiento de la válvula; también tenemos el performance diagnostic, donde podemos ver la respuesta de la válvula a diferentes escalones que el proceso podría someter a la válvula; finalmente tenemos el step response, que nos da una idea de cómo se mueve la válvula en escalones de 25% en todo el recorrido y con esto determinar si la electrónica está bien sintonizada. Finalmente, estas no son todas las pruebas que se pueden encontrar en el posicionador, solo son las más usadas, ya que si se requiere analizar un problema se podrían recurrir a otras pruebas o gráficas que provee el equipo o que podemos crear a criterio propio.

2.2.3. Costos de Parada de Planta no deseado

Dentro de los costos de parada de planta se consideran varios aspectos de acuerdo con los contratos con las diferentes partes a quienes les concierne el proyecto. Entre estos costos tenemos

- o Pérdida de producción.
- o Incremento de tiempo para despacho de gas licuado a barcos.
- o Penalidad por retraso de entrega de gas.
- o Penalidad por gas no consumido en ducto.

2.2.4 Costos de Mantenimiento

Dentro de los costos de mantenimiento solo teniendo como referencia los trabajos en las válvulas, entre estos costos que se consideran tenemos:

- o Costo de personal
- o Costo de repuestos
- o Costo de contratistas
- o Costo de servicios de fabricante
- o Costo de soporte en línea

2.3. Definición de términos básicos

- Válvula de control. - Elemento final de control del cual se controla la apertura o cierre en todo su rango de apertura para poder controlar variables dentro del control de procesos (6 pág. 381).
- Posicionador. - Equipo electrónico, instalado en válvulas de control que tiene varios sensores de posición y presión para poder controlar la posición de las válvulas. También permite diagnosticar y alertar sobre el estado de este elemento (6 pág. 441).
- LNG. - Acrónimo del inglés Liquefied Natural Gas, en español gas natural licuado.
- Diagnóstico de válvula de control. - Estado de la situación actual de la parte mecánica y electrónica de una válvula de control, gracias a los algoritmos cargados e implementados en la electrónica del posicionador (6 pág. 445).
- Nivel de diagnóstico. - Capacidad habilitada dentro de la electrónica, por el fabricante, para poder tener disponibles datos y variables de los posicionadores de acuerdo con la licencia de software comprada. (9).
- ERP. - Acrónimo del inglés Enterprise resource planning, en español planeamiento de recursos corporativos, es un software donde se tiene datos de mantenimiento, costos de mantenimiento y varios aspectos de mantenimiento y gestión de repuestos en almacén (10).
- Mantenimiento predictivo. - Tipo de mantenimiento donde se usan equipos o técnicas para detectar posibles fallas, antes que sucedan, del elemento analizado (6).

- Sintonización de la válvula. – Referencia de cuan bien se corrige un error, entre el valor deseado y el valor de proceso, mediante los algoritmos de la válvula de control frente a un cambio en el proceso (6).
- AMS. – Acrónimo del inglés Asset management system, es un Sistema de gestión de activos en este caso el proveedor es la empresa Emerson Process.
- Orden de trabajo. – Conocidas como OT, son detalles de trabajos a ejecutarse en el software ERP usado, con el cual se tiene datos relevantes para control futuro de los trabajos planeados y programados.
- Total scan. – Traducido al español: escaneo total, tipo de diagnóstico ofrecido en software ValveLink de Fisher Emerson Process, en cual consiste en un movimiento de la válvula de 0 – 100 – 0 % en un tiempo calculado de acuerdo con placa de datos de válvula, el cual provee una gráfica con variables de presión, posición vs tiempo.
- Performance diagnostic. – Traducido al español: diagnóstico de rendimiento, tipo de diagnóstico ofrecido en software ValveLink de Fisher Emerson Process, el cual evalúa la respuesta de la válvula a diferentes niveles de movimiento en escalón de la válvula.
- Step response Traducido al español: respuesta a escalones, tipo de diagnóstico ofrecido en software ValveLink de Fisher Emerson Process, el cual mueve la válvula en escalones del 25% en todo su recorrido, para evaluar el desempeño de la válvula.
- Orden de trabajo (OT). – Es un documento que se genera en el sistema ERP SAP, donde se puede registrar todas las actividades de trabajo, costos, reportes, documentación relacionada al trabajo. El cual sirve para tener información histórica de trabajos en los equipos de planta.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método, y alcance de la investigación

El método de la investigación que se realiza en este trabajo es del tipo lógico-deductivo, debido a que se deducirán resultados en base a los datos que iremos obteniendo, por otro lado, también es analítico debido a que en base a la manipulación de los datos iremos analizando las relaciones y resultados para poder determinar la validez de las hipótesis, así como también la relación con el marco teórico.

El alcance de este análisis es una comparación de las fallas reportadas antes y después de la actualización, limitaremos el estudio a 41 válvulas de criticidad 1 como explica en el punto 3.3 de población y muestra, adicionalmente se tomarán las válvulas con mayor número de fallas para comparar los costos en los que se incurrieron, también analizar las posibles mejoras y beneficios en el ámbito económico.

3.2. Diseño de la investigación

La investigación contempla la recolección de datos del sistema SAP ERP de mantenimiento, los datos a recolectar son los costos de incurridos en los mantenimientos antes de la actualización, el costo de la actualización, así como también los costos después de la actualización, con esto se podrá verificar las alamas o fallos antes y después de la actualización, se desarrollarán tablas y gráficos para poder comparar el antes y después. Adicionalmente, se tomarán las 4 válvulas con mayor número de fallas para tener análisis individuales.

3.3. Población y muestra

Actualmente se cuenta con una población total de válvulas de 860 instaladas en planta, las cuales se clasifican en 4 niveles de criticidad, mostrado en la tabla 3.

Nivel de criticidad	# de válvulas
1	75
2	202
3	582
4	1

total	860
-------	-----

Tabla 3: Niveles de criticidad de válvulas

Las válvulas en cuestión que generan pérdidas en la producción son las de nivel de criticidad 1, su falla desencadena en una parada de planta. Sin embargo, por limitaciones de tiempo, planificación y disponibilidad del equipo, hasta ahora solo se ha realizado la actualización de posicionadores en 41 válvulas, por ello usaremos la población de 41 válvulas.

Usaremos la fórmula mostrada en la figura 3

$$n = \frac{z^2(p \cdot q)}{e^2 + \frac{z^2(p \cdot q)}{N}}$$

Ecuación Estadística para Proporciones poblacionales

n= Tamaño de la muestra
Z= Nivel de confianza deseado
p= Proporción de la población con la característica deseada (éxito)
q= Proporción de la población sin la característica deseada (fracaso)
e= Nivel de error dispuesto a cometer
N= Tamaño de la población

Figura 3: Fórmula para muestras (10)

Donde teniendo los siguientes datos

Margen de error: 5%

Nivel de confianza: 95%

Población: válvulas

Obtenemos la muestra necesaria de: 38 válvulas

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se usará dos tipos de recolección de datos.

- De la lista seleccionada se ingresará al registro del SAP de las válvulas y se compara el número de fallas o alarmas antes y de después de la actualización.

- Se realizarán gráficos de tipo dispersión y columnas a partir de las tablas para tener tendencias.
- Se relacionará las fallas de las válvulas con las paradas de planta.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)

4.1.1 Panorama general 2011-2019

La mayoría de las actualizaciones de posicionador se dieron en julio de 2015 durante la parada de planta programada, se considera este año para tomar como referencia las ordenes de trabajo correctivas generadas antes y después de esta fecha. A continuación, se muestra la tabla 4 donde se registran los datos para las 38 válvulas consideradas como muestra de las 41 que tiene el upgrade del posicionador

Ítem	Código de planta	# OT antes de actualización	# OT después de actualización
1	FV-114003	17	9
2	LV-114021	14	2
3	FV-114004	11	8
4	UV-114020	9	3
5	HV-134043	8	0
6	UV-114066	8	10
7	PV-140012-B	7	0
8	HV-113001	6	0
9	HV-134044	6	0
10	HV-134045	6	1
11	HV-134049	6	0
12	HV-134056	6	0
13	PV-134021	6	0
14	HV-134048	5	0
15	PV-113042	5	2
16	UV-114030	5	0
17	UV-114072	5	2
18	FV-114051	4	0
19	HV-114011	4	0
20	HV-134046	4	0
21	HV-134047	4	0
22	PV-114428	4	0
23	PV-131028	4	1
24	PV-152006	4	0
25	UV-114068	4	1
26	FV-134040	3	0
27	HV-134039	3	0
28	LV-134169	3	1
29	PV-131003-B	3	0
30	PV-140012-A	3	0

31	PV-152002	3	0
32	TV-141014-B	3	0
33	UV-114040	3	1
34	UV-114070	3	1
35	ESDV-110011-A	2	0
36	FV-113025	2	0
37	FV-114048	2	0
38	HV-114089	2	0

Tabla 4: Comparación de OT en SAP ERP para el tamaño de muestra seleccionada (elaboración propia).

Estos datos se analizarán más adelante en el ítem 4.2 en el análisis de la hipótesis

4.1.2 Manejo por criticidad

Debido a la criticidad e índice de fallas se analizará a detalle los 4 casos con el mayor número de fallas y consideradas las más críticas.

a) FV-114003

En la tabla 5 se muestra el detalle de las ordenes de trabajo, así como también se resalta la fecha de la actualización.

Orden de trabajo	Descripción del trabajo	Fecha de trabajo	Costo total (\$)
100034339	TA18 FV-114003 Valve Overhaul	27.07.2018	\$23.590,19
100038290	Rectify low pressure for air supply - FV	06.02.2018	\$194,22
100035715	rectify small leakage on positioner	09.01.2018	\$420,82
100034001	Fix junction box	01.06.2017	\$572,26
100033417	Install flexible hose and regulator-FV11	01.06.2017	\$420,82
100030463	Inspect proper tightening of fittings FV	22.03.2017	\$2.412,52
100032337	Plan Trip Correct air leak tubing JT-val	17.01.2017	\$573,01
100026300	FV-114003 control valve passing badly	31.01.2016	\$550,30
100025500	Plant Trip Replace broken fitting I/A	20.11.2015	\$1.872,85
100018311	SD-15 Remove/Test/Rebuild/reinstall/repl	12.08.2015	\$41.167,81
100019958	Verify flow valve - FV-114003	21.10.2014	\$356,08
100019684	Check/Correct Light MR flow Fluctuating	30.09.2014	\$356,07
100019511	Verify/rectify high vibration - FV114003	16.09.2014	\$679,78
100019004	Predictive maintenance to FV-114003	14.08.2014	\$129,48
100013200	Verify fluctuation in flow valve FV114003	29.03.2013	\$1.683,26
100011314	Support to replace Positioner - FV114003	17.11.2012	\$890,20
100009394	Remove/test/rebuild & reinstall FV114003	12.11.2012	\$23.869,68
100008668	Test Positioner by install in FV-114003	23.04.2012	\$2.233,58
100008655	Check/Clean positioner travel FV-134003	22.04.2012	\$2.902,82
100007817	Correct positioner air leaking FV-114003	02.03.2012	\$258,96

100007754	INSTALL AIR REGULATOR ON FV114003	26.02.2012	\$406,96
100007179	Install manual pneumatic loading FV114003	29.01.2012	\$265,32
100004874	Check/repair positioner valve FV-114003	13.08.2011	\$4.003,39
100004813	Check valve indication FV-114003	08.08.2011	\$129,48
100004330	Check air supply for FV-114003	07.07.2011	\$1.103,40
100004213	Check/Correct malfunction C/V FIC114003.	30.06.2011	\$129,48
100003867	Output offset, CCR=67%, Valve opening=96%	06.06.2011	\$258,96

Tabla 5: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).

Costo antes de actualización	\$39.656,90
Costo de actualización	\$41.167,81
Costo después de actualización	\$7.016,80

Tabla 6: Comparación de costos (elaboración propia).

Según la tabla 6 podemos notar que hay una reducción de los costos del 82.31%.

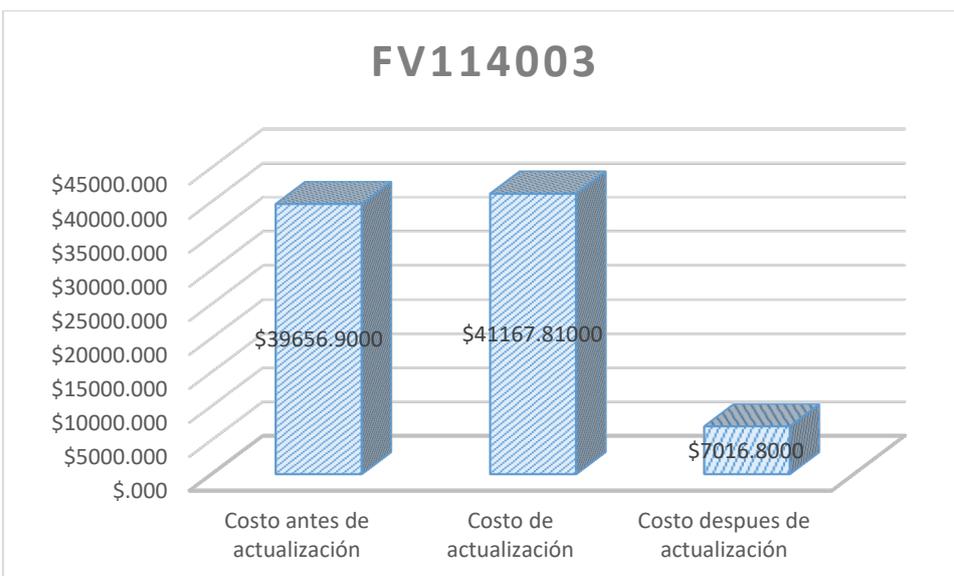


Figura 4: Comparación de costos (elaboración propia).

De la tabla 6 y figura 4 podemos notar una reducción de los costos de mantenimiento correctivo de la válvula.

b) FV-114004

En la tabla 7 se muestra el detalle de las ordenes de trabajo, así como también se resalta la fecha de la actualización.

Orden de trabajo	Descripción del trabajo	Fecha de trabajo	Costo total (\$)
100044230	Perform performance, stroke test-FV114004	19.04.2019	\$113,30
100043646	Verify Performance Information Alert-FV1	17.03.2019	\$4.947,61
100043010	Troubleshoot valve lost communication	25.12.2018	\$674,16
100041937	Replace remote positioner	08.10.2018	\$4.968,95
100034340	TA18 FV-114004 Valve Overhaul	27.07.2018	\$21.071,73
100028991	Inspect proper tightening of fittings FV	15.09.2017	\$501,75
100028675	Troubleshoot abnormal drive signal on DVC	01.06.2017	\$161,86
100026301	Verify status electrical connections	31.01.2016	\$509,82
100014408	SD-15 Remove/Test/Rebuild/reinstall/repl	10.08.2015	\$133.696,01
100014626	Change Manometer of Positioner FV-114004	01.06.2014	\$234,22
100017273	Check "Perf Diag - Valve Friction" event	15.03.2014	\$679,78
100012027	Fix tubing air has vibration FV-114004	08.01.2013	\$258,97
100011315	Support to replace Positioner - FV114004	21.11.2012	\$631,22
100009395	Remove/Test/Rebuild & reinstall FV114004	12.11.2012	\$112.196,11
100008157	Check/rectify control valve FV-114004	23.03.2012	\$1.237,53
100008031	Correct the heavy/sticky flow FV-114004	17.03.2012	\$388,44
100007178	Install manual pneumatic loading FV114004	29.01.2012	\$232,96
100006229	Check/rectify valve sticky FV-114004	19.11.2011	\$97,11
100003352	Regrease positioner feedback	04.05.2011	\$145,68
100003324	clean and grease valve	30.04.2011	\$64,74
100002325	CHECK/RECTIFY VALVE MALFUNCTION - STICKY	30.03.2011	\$188,31
100002023	Deviation between DCS/local indication	31.01.2011	\$129,48

Tabla 7: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).

Costo antes de actualización	\$116.484,55
Costo de actualización	\$133.696,01
Costo después de actualización	\$11.877,45

Tabla 8: Comparación de costos (elaboración propia).

Según la tabla 8 podemos notar que hay una reducción de los costos del 89.80%.

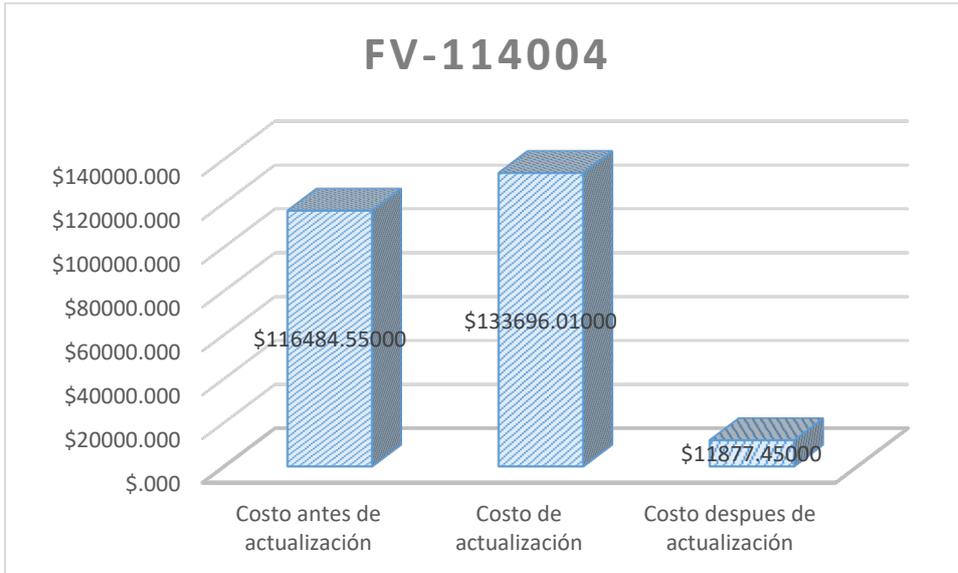


Figura 5: Comparación de costos (elaboración propia).

De la tabla 8 y la figura 5 podemos notar que hay una cierta reducción de los costos de mantenimiento correctivo de este equipo.

c) UV-114020

En la tabla 9 se muestra el detalle de las ordenes de trabajo, así como también se resalta la fecha de la actualización. Se debe resaltar que se hicieron 2 actualizaciones, primero usando el equipo de la marca Fisher convencional que se usa en la mayor parte de la planta, luego se realizó una actualización usando el posicionador del mismo fabricante de la válvula, el cual es CCI.

Orden de trabajo	Descripción del trabajo	Fecha de trabajo	Costo total (\$)
100042581	Replace broken tubing leaks badly	22.11.2018	\$1.035,84
100039360	Remove close limit switches on ASVs	16.03.2018	\$64,74
100036871	Align limit switch/replace bolt corroded	07.02.2018	\$224,97
100031573	UV20 Replace volume booster Upgraded CCI	01.06.2017	\$1.457,89
100027295	Verify/rectify clamp is loose - UV114020	03.04.2016	\$161,86
100019186	SD-15 Replace Positioner/Limit switch/Tu	02.09.2015	\$27.385,65
100014796	Replace Positioner/Repair leak of pilot	01.08.2015	\$986,56

100022408	Check/Adjust Loose nuts Positioner ASV	23.03.2015	\$226,60
100012121	Modify tubing to reduce friction-UV114020	18.01.2013	\$161,86
100009513	Replace Valve Trim on UV-114020	17.11.2012	\$334.899,58
100007416	Replace corroded pneumatic accessories	15.11.2012	\$123.053,86
100011023	Reapply epoxy where needed UV-114020	14.10.2012	\$129,48
100008540	Stroke&test/support Operation UV114020	15.04.2012	\$145,66
100006770	Clean/replace corroded components UV114020	28.01.2012	\$8.147,40
100006128	Repair/replace access. actuator UV-114020	13.11.2011	\$582,66

Tabla 9: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).

Costo antes de actualización	\$468.333,66
Costo de primera actualización	\$27.385,65
Costo después de primera actualización	\$161,86
Costo de segunda actualización	\$1.457,89
Costo después de segunda actualización	\$1.325,55

Tabla 10: Comparación de costos (elaboración propia).

Según la tabla 10 podemos notar que hay una reducción de los costos del 99.72%.

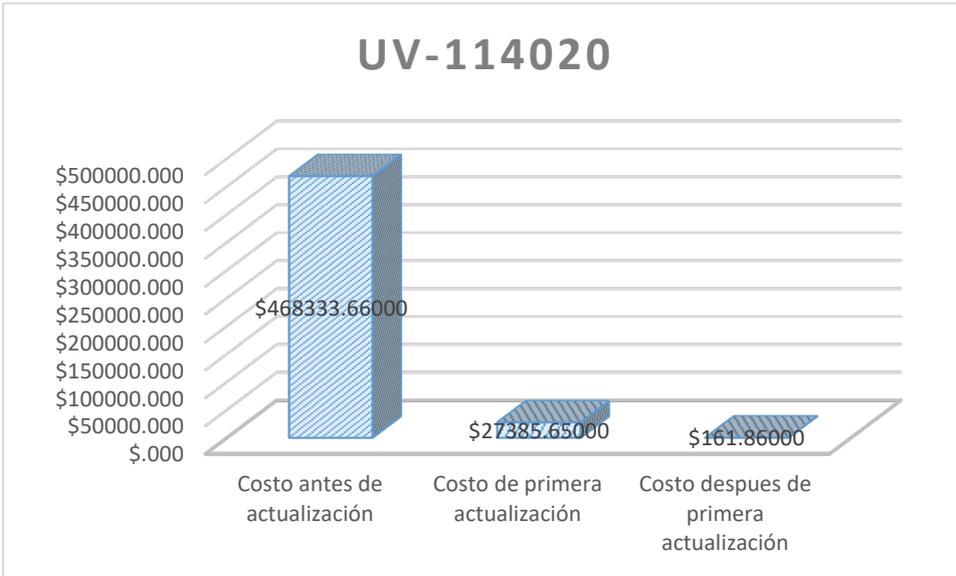


Figura 6: Comparación de costos (elaboración propia).

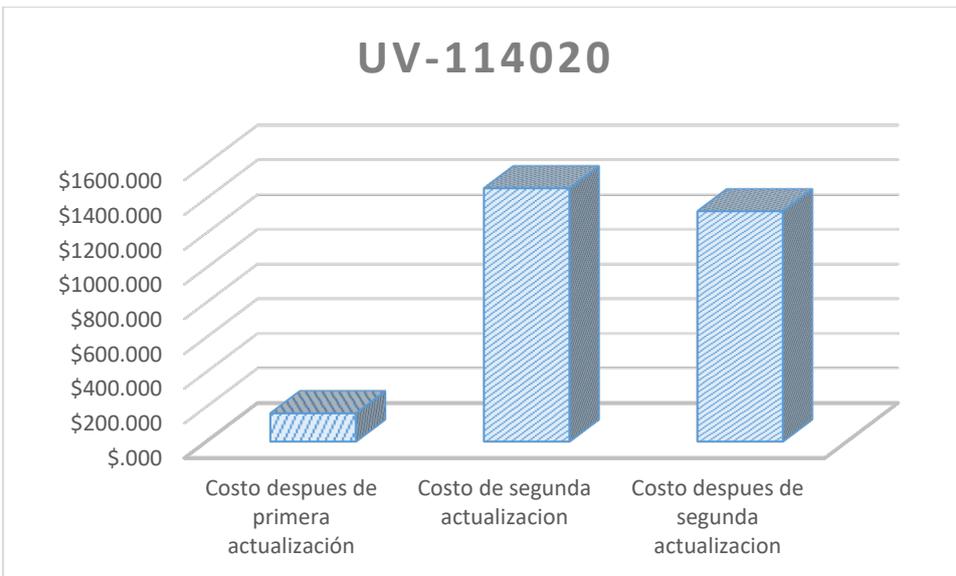


Figura 7: Comparación de costos (elaboración propia).

De la tabla 10, figura 6 y 7, no se puede determinar una reducción después de la segunda actualización, pero si algo significativo después de la primera actualización, siendo este equipo uno de los más caros de las válvulas tradicionales de control.

d) LV-114021

En la tabla 11 se muestra el detalle de las ordenes de trabajo, así como también se resalta la fecha de la actualización.

Orden de trabajo	Descripción del trabajo	Fecha de trabajo	Costo total (\$)
100034345	TA18 LV-114021 Valve Overhaul	27.07.2018	\$104.964,10
100035403	TA18 - LV-114021 Positioner Upgrade	25.06.2018	\$0,00
100028676	Verify performance reduced alarm on DVC	01.06.2017	\$210,40
100026234	Correct Feedback indicate 9%/Replace bro	24.01.2016	\$6.293,53
100018368	SD15:Replace non-contact posit.-LV114021	24.08.2015	\$5.958,92
100021463	Check/Correct broken bracket valve posit	13.02.2015	\$372,26
100018380	Check/Adjust Positioner bracket LV-114021	10.06.2014	\$723,99
100016459	Fix bolts of positioner support-LV114021	08.01.2014	\$178,05
100014442	Verify/rectify leaks cable gland-LV114021	19.07.2013	\$388,44
100013450	Correct Power supply cable damaged LV114	21.04.2013	\$194,22
100012537	Correct ALARM: Performance critical alert	17.02.2013	\$651,82
100011316	Support to replace Positioner - LV114021	19.11.2012	\$857,81
100007321	Check/Replace valve LV-114021 internals	17.11.2012	\$4.779,05
100010527	Check/Replace valve positioner LV-114021	02.09.2012	\$3.032,29
100009610	Change spare internal in Positioner	27.06.2012	\$219,55
100006823	Check/Correct Passing on LV-114021	28.01.2012	\$0,00
100007030	Check/rectify actuated valve LV-114021	13.01.2012	\$388,44
100006569	Correct the oscillations on LV-114021	13.12.2011	\$64,74
100001630	CHECK/RECTIFY PASSING VALVE - SHUTDOWN	27.11.2011	\$3.254,53

Tabla 11: Detalle de ordenes de trabajo históricas de SAP ERP (elaboración propia).

Costo antes de actualización	\$15.105,19
Costo de actualización	\$5.958,92
Costo después de actualización	\$6.503,93

Tabla 12: Comparación de costos (elaboración propia).

Según la tabla 12 podemos notar que hay una reducción de los costos del 56.94%.

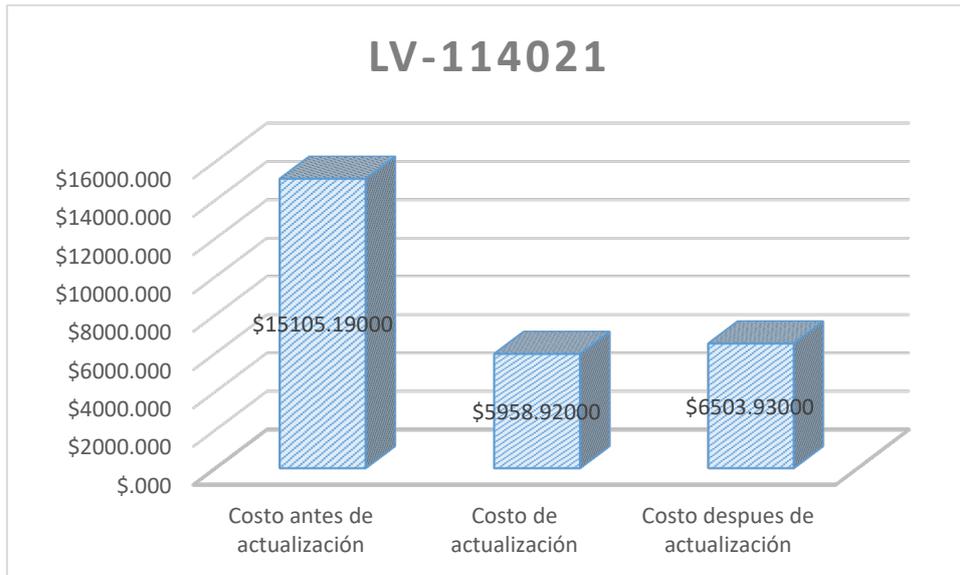


Figura 8: Comparación de costos (elaboración propia).

De la tabla 12 y figura 8 podemos notar una reducción de los costos de mantenimiento correctivo realizado en este equipo.

4.2. Prueba de hipótesis

Usaremos el coeficiente de correlación r para determinar si hay relación entre el antes y después de la actualización, mostrado en la tabla 13, usando los datos de la tabla 4

# OT antes de actualización (xi)	# OT después de actualización (yi)	xi ²	yi ²	xi.yi
17	9	289	81	153
14	2	196	4	28
11	8	121	64	88
9	3	81	9	27
8	0	64	0	0
8	10	64	100	80
7	0	49	0	0
6	0	36	0	0
6	0	36	0	0
6	1	36	1	6
6	0	36	0	0
6	0	36	0	0
6	0	36	0	0
5	0	25	0	0
5	2	25	4	10
5	0	25	0	0
5	2	25	4	10
4	0	16	0	0

4	0	16	0	0
4	0	16	0	0
4	0	16	0	0
4	0	16	0	0
4	1	16	1	4
4	0	16	0	0
4	1	16	1	4
3	0	9	0	0
3	0	9	0	0
3	1	9	1	3
3	0	9	0	0
3	0	9	0	0
3	0	9	0	0
3	0	9	0	0
3	1	9	1	3
3	1	9	1	3
2	0	4	0	0
2	0	4	0	0
2	0	4	0	0
2	0	4	0	0
197	42	1405	272	419

Tabla 13: Cálculo estadístico de variables (elaboración propia)

Media xi	5,18421053
Media yi	1,10526316
Varianza xi	3,17767925
Varianza yi	2,43644989
Covarianza xy	5,29639889
Coefficiente de correlación	0,68408984

Tabla 14: Valores obtenidos (elaboración propia)

De los valores obtenidos en la tabla 14, podemos notar que el coeficiente de correlación 0.68 no está cerca de 1, por lo que los datos analizados no guardan relación o su relación es muy pobre.

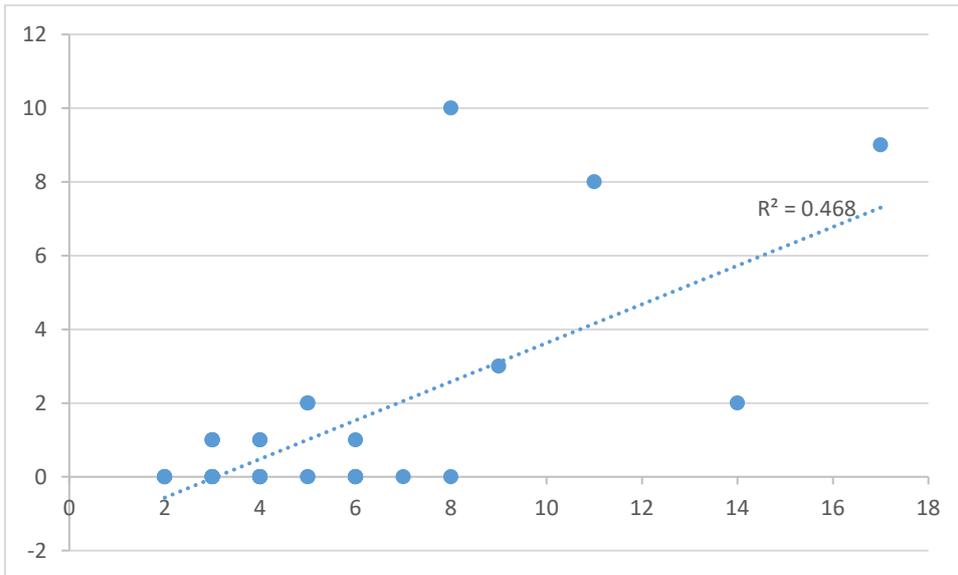


Figura 9: análisis de dispersión de variables (elaboración propia).

Por otro lado, usando una gráfica de dispersión de los valores, mostrado en la figura 9, obtenemos el coeficiente de dispersión al cuadrado y también se mantiene en un valor lejano a 1, por lo que no hay una relación fuerte entre los datos analizados.

Finalmente se analizan los datos de las paradas de planta relacionados con válvulas de control mostrado en la tabla 15

Año	# paradas
2011	5
2012	6
2013	3
2014	2
2015	0
2016	0
2017	2
2018	3
2019	0

Tabla 15: Paradas de planta relacionadas con válvulas de control (elaboración propia).

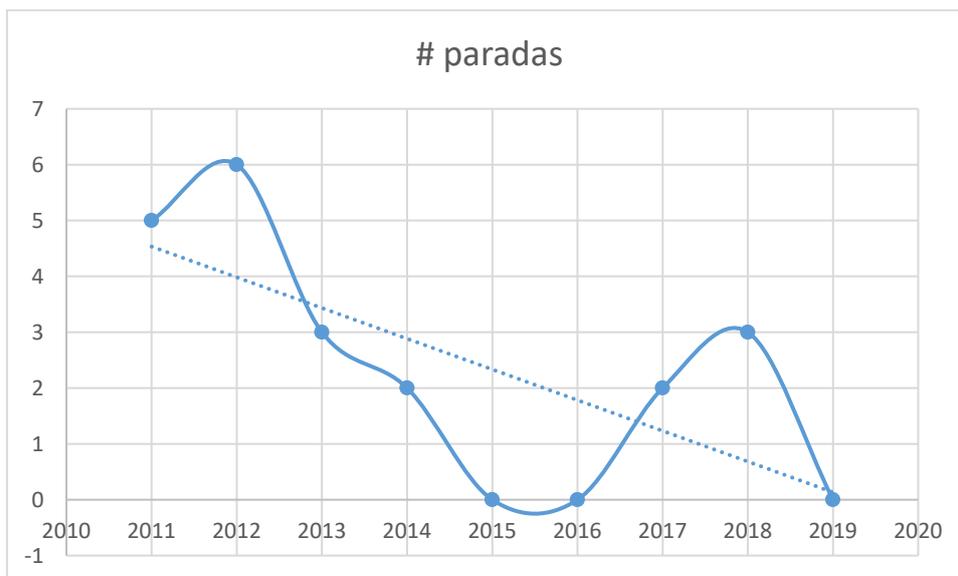


Figura 10: Tendencia de paradas de planta causadas por válvulas de control.

Mediante la figura 10 que grafica los datos de la tabla 15, podemos notar una tendencia de baja de paradas de planta causadas por las válvulas de control.

4.3. Discusión de resultados

Podemos mencionar que el vendedor y muchos autores, como los mencionados, estipulan en la mayoría de casos los beneficios a nivel de laboratorio ya sea en sus universidades o laboratorios de desarrollo, sin embargo en la vida real, teniendo el equipo instalado en campo, con exposición al medio ambiente, humedad, corrosión, polvo, entre otros, notamos que analizando todas las válvulas de acuerdo a nuestra experiencia, no en todas se consigue un beneficio notorio ya sea por el tipo de proceso al que este expuesto o condición del medio ambiente donde trabaja, así como tampoco se obtiene un resultado estadístico favorable, por ello generalizar los beneficios para todas las válvulas no es realista. Tomando como ejemplo el caso de SUGITH SEWDASS sobre redes neuronales (1), se confirma que los beneficios obtenidos fueron realizados en una miniplanta, donde las condiciones son óptimas en comparación con las instaladas en la planta donde nuestras válvulas están expuestas al ambiente marino.

Por otro lado, analizando puntualmente las válvulas más críticas, notamos que, si existe un beneficio, ya sea para programar sus requerimientos de mantenimiento como también en los costos en que se incurren por mantenimientos correctivos. Comparando nuestros resultados con el caso de

Eng. Mario Girone con aplicación a sistemas criogénicos (2) notamos que las válvulas más críticas están también en líneas criogénicas. Siendo estas más costosas y por la criticidad que tienen, justificaría focalizar el estudio en válvulas bajo las mismas condiciones.

Finalmente, debido a que la planta presenta diversas áreas donde se manejan diferentes productos y condiciones distintas, un estudio más profundo por áreas podría dar mejores luces sobre los beneficios de los posicionadores más actuales y tal vez descartar productos de mejores características y caros para áreas con menos importancia o requerimientos.

CONCLUSIONES

- Pudimos determinar que de toda la muestra de 38 válvulas no existe una correlación entre las ordenes de trabajo antes y después de la actualización, lo que se traduce en que no existe una correlación que antes se gastaba más y con la actualización se gasta menos en mantenimiento o fallas.
- En un análisis puntual de las 4 válvulas más problemáticas, si se pudo constatar un ahorro significativo de más del 10% planteado en la hipótesis.
- Se logro reducir las paradas de planta causadas por válvulas a 3 o menos eventos por año.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda categorizar mejor las válvulas de criticidad 1 de acuerdo con su impacto en la producción, así como también categorizarlos de acuerdo con el fluido con el que están en contacto, así como las condiciones normales o extremas de proceso.
- Debido a que los diagnósticos avanzados generan gráficos e información de análisis, se debe entrenar al personal, para que pueda interpretar correctamente fallas y necesidades de mantenimiento.
- Se recomienda mejorar el sistema de reporte de fallas en el ERP SAP para que se pueda obtener mejores datos de todas las válvulas.

Referencias

1. **SEWDASS, SUGITH.** *DUT URBAN University of Technology*. [Online] Febrero 06, 2016. [Cited: Noviembre 18, 2018.]
http://openscholar.dut.ac.za/bitstream/10321/1730/1/SEWDASS_2016.pdf.
2. **GIRONE, MARIO.** *CERN Document Server*. [Online] 2015. [Cited: Noviembre 18, 2018.]
<https://cds.cern.ch/record/2198634/files/Thesis-2015-Girone.pdf>.
3. **Jörg Kiesbauer, Heinfried Hoffmann.** SAMSON. [Online] 1998. [Cited: Noviembre 18, 2018.]
<https://www.samson.de/document/w00690en.pdf>.
4. **Lennertzen, Jon-Anders.** Brage og Bragekonsortiet. [Online] Junio 15, 2015. [Cited: November 18, 2018.]
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/426022/Lennertzen_Jon-Anders.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
5. *PREDICTIVE MAINTENANCE AND BEYOND.* **Neal Rinehart, David Ingram.** 4, s.l. : Valve Manufacturers Association, Fall 2004, Vol. 16.
6. **Sole, Antonio Creus.** *Instrumentacion Industrial.* 8va Edicion. Mexico D.F. : Alfa y Omega Grupo Editor, 2010. ISBN: 978-607-707-042-9.
7. **Process, Fisher Emerson.** EMERSON. *Fisher™ easy-e™ ET Control Valve*. [Online] 2017-2018. [Cited: Diciembre 2, 2018.] <https://www.emerson.com/en-us/catalog/fisher-et>.
8. **Process, Emerson.** EMERSON. *Fisher™ FIELDVUE™ DVC6200 Digital Valve Controller*. [Online] 2017-2018. [Cited: Diciembre 2, 2018.] <https://www.emerson.com/en-us/catalog/fisher-dvc6200>.
9. **Emerson.** Emerson. *Fisher™ FIELDVUE™ DVC6200 Digital Valve Controller*. [Online] Enero 2018. [Cited: Diciembre 2, 2018.] <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-fisher-fieldvue-dvc6200-hw1-digital-valve-controller-en-125460.pdf>. D103409X012.
10. **SAP.** SAP. *¿Qué es ERP?* [Online] [Cited: 05 04, 2019.]
<https://www.sap.com/latinamerica/products/what-is-erp.html>.
11. **Marketing, Asesoría Económica &.** AEM Research. [Online] 2009. [Cited: Mayo 02, 2019.]
http://www.corporacionaem.com/tools/calc_muestras.php.