

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN INGENIERIA EN MANUFACTURA**



**ESTANDARIZACIÓN GLOBAL DE PRUEBA DE FUGAS
PARA COMPRESORES AUTOMOTRICES**

PROYECTO QUE

PRESENTA:

FABIAN CRISTÓBAL LÓPEZ JUÁREZ

175411

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN INGENIERIA EN MANUFACTURA

ESPECIALIDAD: AUTOMATIZACION

ASESOR: DR. JAVIER MOLINA SALAZAR

Ciudad Juárez, Chihuahua a 4 de Noviembre del 2019

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

Presente.


Por medio de la presente, se hace constar que el empleado **Fabian Cristóbal López Juárez**, alumno de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez del programa de la Maestría en Ingeniería en Manufactura y matrícula **175411**, realizó su Proyecto de Titulación denominado **ESTANDARIZACIÓN GLOBAL DE PRUEBA DE FUGAS PARA COMPRESORES AUTOMOTRICES**, en el departamento de Ingeniería Global de la empresa **Mahle Compresores S. de R.L. de C. V.**, en el periodo de **Julio 2018 a Noviembre 2019**. En el proyecto fue asesorado por el **Doctor Javier Molina Salazar** docente del Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Por parte de la empresa se asignó como asesor a **Marvin Manwaring**.

Como resultado del proyecto se notifica que fue satisfactorio para **Mahle Compresores S. de R.L. de C. V.** Así mismo, **Mahle Compresores S. de R.L. de C. V.** no tiene ningún inconveniente en extender la presente constancia para que dicho proyecto se utilice para los fines mencionados y conceden las facilidades para el uso de éste ante la UACJ, con el fin de que el interesado alcance su objetivo

Atentamente



Víctor Hugo Meza Márquez
Recursos Humanos



Marvin Manwaring
Global Head of Process Optimization

MAHLE Compresores S. de R.L. de C. V
Tapioca # 9411
Infonavit Amp. Aeropuerto
Cd. Juarez, Chih. CP.32690
Registro Patronal **A8368305109**

MAHLE Compresores, S. de R.L. de C.V.

C. Tapioca No. 9411
Infonavit Ampliación Aeropuerto
Reg. Patronal: A8368305109
R.F.C MCO1505085XA
Cd. Juárez, Chih. C.P. 32690

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de mi carrera laboral muchas personas me han apoyado en poca o gran medida para poder desarrollarme y lograr las metas que me he propuesto. Entre los que destaca mi primer supervisor Daniel Gardea que me apoyo en mis inicios laborales brindándome la oportunidad de comenzar mi desarrollo profesional y me facilito ese cambio tan grande de las aulas de clases al ámbito laboral, teniendo más adelante en mi carrera a mi supervisor Marvin Manwaring el cual me dio la oportunidad de usar mis conocimientos y capacidades para exponerlos en diferentes plantas a lo largo del mundo. De igual forma le agradezco a mis profesores y compañeros que me apoyaron y guiaron a lo largo de estos 2 años con especial énfasis a mi asesor de tesis el doctor Javier Molina y mis compañeros Lorena Rivas y Rogelio Álvarez. Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecer a toda mi familia la cual siempre ha creído en mí, me han enseñado a saber que el cielo es el límite y que siempre estarán a mi lado apoyándome incondicionalmente en cualquier proyecto que me proponga.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo quiero dedicar a las dos mujeres más importantes en mi vida, mi madre Margarita Juárez y mi novia Laura Peña, las cuales me han apoyado incondicionalmente y han estado a mi lado en todo momento inspirándome para confiar en mis capacidades y alcanzar mis metas, sin ellas esto no hubiera sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCION.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 HIPÓTESIS.....	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 <i>Objetivo general:</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	2
1.4 ANTECEDENTES.....	3
1.4.1 <i>México (MCM)</i>	3
1.4.2 <i>China (MCC)</i>	5
1.4.3 <i>Brasil (MCB)</i>	6
1.4.4 <i>Hungría (MCH)</i>	8
1.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.	11
1.6 COMPARACIÓN INICIAL ENTRE PLANTAS	11
CAPÍTULO 2	15
METODOLOGÍA.....	15
2.1 BASE DE LA METODOLOGÍA.....	15
CAPÍTULO 3	19
IMPLEMENTACION	19
3.1 MAHLE COMPRESORES MÉXICO.....	19
3.1.1 <i>Reducción de piezas rechazadas MCM</i>	19
3.1.2 <i>Estandarización de O-ring</i>	19
3.1.3 <i>Nuevas fixturas</i>	22
3.1.4 <i>Mantenimiento preventivo a fixturas de prueba</i>	24
3.1.5 <i>Rastreo de fixturas y alarmas para ciclos continuos</i>	26
3.1.6 <i>Doble ciclo</i>	28
3.1.7 <i>Reestructuración de mantenimiento preventivo</i>	32
3.1.8 <i>Entrenamientos</i>	35

3.1.9	<i>Reducción de costos de operación MCM</i>	37
3.1.10	<i>Nuevo método de calibración</i>	46
3.1.11	<i>Implementación de prueba para 'Creeping Leaks'</i>	49
3.1.12	<i>Implementación de espectrómetros nuevos</i>	49
3.1.13	<i>Nuevo sistema de medición de vacío</i>	53
3.2	MAHLE COMPRESORES BRASIL	54
3.2.1	<i>Reducción de piezas rechazadas MCB</i>	54
3.2.2	<i>Doble ciclo</i>	56
3.2.3	<i>Protector de espectrómetro de masas</i>	56
3.3	MAHLE COMPRESORES HUNGRÍA	58
3.3.1	<i>Reducción de Tiempos Muertos MCH</i>	59
3.4	MAHLE COMPRESORES CHINA	60
3.4.1	<i>Implementación de fixturas de prueba nuevas</i>	60
3.4.2	<i>Cambio en la forma de calibración</i>	62
3.4.3	<i>Protección de espectrómetros</i>	62
CAPÍTULO 4		64
RESULTADOS		64
4.1	REDUCCIÓN DE RECHAZOS	64
4.2	REDUCCIÓN DE TIEMPOS MUERTOS DE MAQUINARIA	66
4.3	AHORRO DE COSTOS DE OPERACIÓN	68
4.4	PORCENTAJE DE ESTANDARIZACIÓN GLOBAL	68
CONCLUSIÓN		71
TRABAJO FUTURO		72
BIBLIOGRAFÍA		73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Mahle compresores México	3
Figura 1.2.	Métricos de fugas falsas	4
Figura 1.3.	Mahle Compresores China	5
Figura 1.4.	Mahle Compresores Brasil.....	6
Figura 1.5.	Tiempos muertos de 2018 en Brasil	8
Figura 1.6.	Mahle Compresores Hungría	9
Figura 1.7.	Tiempos muertos por máquina.	10
Figura 1.8.	Rechazo mensual por planta (Máquina 4020)	12
Figura 1.9.	Tiempo muerto mensual por planta (Máquina 4020)	13
Figura 1.10.	Estandarización del proceso de las 4 plantas.....	14
Figura 2.1.	Árbol de análisis de fallas para rechazos de maquina	15
Figura 2.2.	Árbol de análisis de fallas para confiabilidad	16
Figura 2.3.	Árbol de análisis de fallas para tiempo muerto	16
Figura 2.4.	Árbol de análisis de fallas para costos de operación	17
Figura 2.5.	Árbol sistémico de actividades de la metodología	18
Figura 3.1.	Puertos de conexión al compresor de Honda	20
Figura 3.2.	O-ring de sellado interno del compresor	21
Figura 3.3.	Estante de o-rings para las diferentes fixturas	21
Figura 3.4.	Diseño de base de fixturas nuevas.	23
Figura 3.5.	Nuevo y viejo diseño de fixturas módulo 3, modelo T30.	23
Figura 3.6.	Nuevo y viejo diseño de fixturas módulo 4, modelo T3.	24
Figura 3.7.	Rastreo de fixturas y código 2D para desbloqueo	26
Figura 3.8.	Gafetes permitidos para desbloqueo	27
Figura 3.9.	Sistema de andon y rastreo de fixtura en pantalla	28
Figura 3.10.	Diagrama global de doble ciclo.....	30
Figura 3.11.	Programación de doble ciclo en máquina de prueba.....	31
Figura 3.12.	Impacto de doble ciclo en módulo 1	32
Figura 3.13.	Entrenamientos en detección de fugas	36
Figura 3.14.	Layout con dimensiones de las máquinas de prueba.....	40
Figura 3.15.	Recuperador de helio	45
Figura 3.16.	Lógica de nueva botella de calibración.....	48
Figura 3.17.	Sistema con implementación de nueva botella de verificación.....	48
Figura 3.18.	Espectrómetro ASI20 (antiguo) vs espectrómetro ASI35 (nuevo modelo).....	52
Figura 3.19.	Pirani Pfeiffer TPR 280.....	53
Figura 3.20.	Modificaciones en conector de prueba.	55
Figura 3.21.	Puertos de prueba maquinados en delring.....	56
Figura 3.22.	Válvulas de protección para los 3 módulos MCB	58
Figura 3.23.	Monitor de fase eléctrica	58

Figura 3.24.	Sistema de rastreo de fixturas con RFID.....	60
Figura 3.25.	Diseño previo y actual de cámara de vacío.....	61
Figura 3.26.	Diseño final de fixturas de prueba.....	62
Figura 3.27.	Válvula de protección de espectrómetro	63
Figura 4.1.	Reducción de rechazos MCM	65
Figura 4.2.	Reducción de rechazos MCB.....	65
Figura 4.3.	Reducción de tiempo muerto MCM.....	66
Figura 4.4.	Reducción tiempo muerto MCH	67
Figura 4.5.	Estandarización del proceso de prueba de fugas	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1.	Cronograma de actividades del proyecto.....	11
Tabla 3.1.	Selección de proveedores.....	41
Tabla 3.2.	Costos del consumo de helio y nitrógeno en 2019	42
Tabla 3.3.	Costos con recuperador de helio	43
Tabla 3.4.	Cronograma de actividades	45

RESUMEN

El proyecto de tesis consiste en estandarizar, a lo largo de las 4 plantas alrededor del mundo, el proceso de prueba de fugas de la empresa Mahle compresores, que se aplica a la manufactura de compresores automotrices para el sistema de aire acondicionado, para vehículos de marcas como GMC, Chrysler, Honda, Ferrari, Maserati, y Fiat.

Una parte sumamente importante en el proceso de manufactura de los compresores es la prueba de fugas que, con base en las especificaciones de ingeniería proporcionadas por los clientes, consiste en comprimir y medir la variación de presión del el gas freón al hacerlo circular a alta presión hacia el evaporador. La prueba de fugas la lleva a cabo una máquina conocida como estación 4020, compuesta por un sistema de control (PLC, contactores, guarda motores, sensores, pantallas) una conjunción de una bomba de vacío y un Booster que acelera el vacío a una cámara que contiene el compresor presurizado con helio. Para lograr la detección de fugas dentro de la cámara de vacío, se utiliza un espectrómetro de masas, que toma una pequeña muestra de los gases que están dentro de la cámara y arrojar un valor de tasa de fuga o flujo en mbar L/seg.

La estandarización de las 4 plantas ubicadas en China, Hungría, Brasil y México se realizará unificando el flujo del proceso, la lógica de programación de las máquinas, así como implementando proyectos para reducciones de tiempos muertos, piezas pérdidas durante la producción y reducción de costos, relacionados con las máquinas de prueba.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1.1 Descripción del problema

Dentro de los principales contribuyentes del tiempo muerto por máquinas paradas por algún tipo de falla, piezas no producidas por rechazo de máquinas, quejas de clientes y altos costos de operación a lo largo de las 4 plantas, se encontraban las máquinas de prueba de fugas, debido a factores como la complejidad de sus componentes, el desconocimiento de la tecnología y la falta de comunicación entre plantas. Dichos problemas llevaron a enfocar recursos para la mejora y la homogeneización en la prueba de fugas.

1.2 Hipótesis

Mediante el desarrollo de este proyecto de control del proceso y estandarización de la prueba de fugas en compresores automotrices, se podrá lograr la reducción de métricos negativos para la productividad de la planta e igualar el proceso de prueba en todas las plantas para certificar una prueba correcta y garantizar en su totalidad el producto y eficiencia del proceso.

- Reducción del porcentaje de rechazo de las máquinas probadoras de fuga se reducirá de un 3% promedio hasta un valor debajo del 1.7% promedio.
- Reducción del tiempo muerto por caída de máquina en más del 50%
- Reducción de costos de operación cercanos a \$500,000.00 UDS anuales mediante implementación de un equipo recuperador de gases en la prueba de fugas.
- Estandarización de las 4 plantas hasta un 80% en promedio para cada planta.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Implementación de un proceso estándar en las máquinas de prueba para elevar su rendimiento a lo largo de las 4 plantas de Mahle compresores en el mundo.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Reducción de rechazos en el proceso mediante: la unificación de componentes con mejor desempeño, implementación de nuevas fixturas y puertos de prueba, puesta en marcha del proceso de doble ciclo a nivel global, creación de un sistema de rastreo de fixturas y distribución de las mejores prácticas para proceso de prueba entre las diversas plantas.
- Incremento de eficiencia de máquinas de prueba y reducción de tiempos muertos por medio de: la implementación de componentes nuevos, restructuración y creación de mantenimientos preventivos, capacitación al personal, mejorar procesos actuales de calibración y modificaciones en la lógica de programación.
- Reducción de costos de operación con el desarrollo de un proyecto estándar para la compra, validación y puesta en marcha de equipos recuperadores de gases

1.4 Antecedentes

Mediante esta sección se describen los antecedentes, prácticas, métodos, necesidades y deficiencias a estandarizar a lo largo de las 4 plantas de Mahle compresores; MCM la planta de México, MCC la planta de China, MCB la planta de Brasil y MCH la planta de Hungría.

1.4.1 México (MCM)

La empresa de Mahle compresores México fue fundada hace 12 años, actualmente cuenta con cinco líneas de ensamble de compresores de diferentes modelos para diversos clientes como Honda, Chrysler y GMC. Cada línea de producción cuenta con una máquina de prueba, a excepción del módulo más reciente, que además de contar con dos máquinas de prueba por sus altos niveles de producción, cuenta con espectrómetros de masas de nueva generación, marca Pfeiffer modelo ASI 35, a diferencia del resto de los módulos, que tienen espectrómetros de masas antiguos ya descontinuados Pfeiffer ASI 20.

Como antecedentes de los problemas de la planta se destacan los siguientes:



Figura 1.1. Mahle compresores México

1. Deficiente sistema de mantenimiento preventivo para este equipo ya solo cuenta con rutinas mensuales y semestrales las cuales presentan deficiencias en aspectos no considerados.
2. No se cuenta con sistemas de mantenimiento preventivo ni correctivo estandarizados para el buen funcionamiento de las fixturas de prueba, las cuales ocasionan la mayoría de los problemas de tiempos muertos y piezas rechazadas.
3. Inventario medianamente aceptable de refacciones para el remplazo emergente del sistema de vacío de la máquina, así como para el equipo de prueba el espectrómetro de masas.
4. Cantidad alta (6 a 7 en promedio) de válvulas innecesarias en el sistema de vacío que potencializan fallas por fugas en el sistema, así como problemas emergentes.
5. Un promedio entre 2.5% y 3.5% de rechazos totales por fugas falsas, una pieza presenta fuga en la prueba, pero en realidad no es una fuga, los porcentajes de rechazos de modulo 1 se muestran en la figura 1.2.

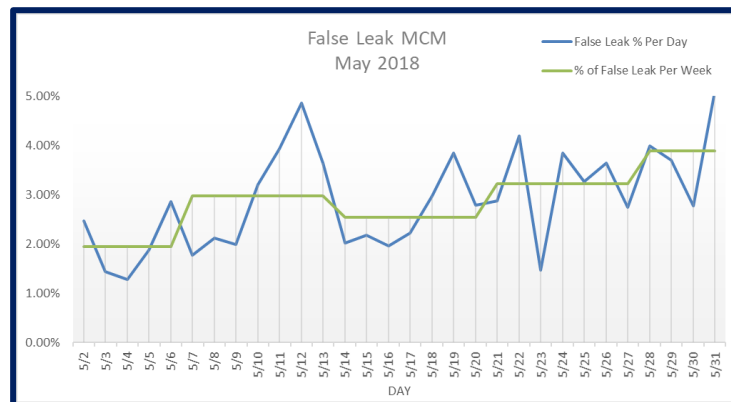


Figura 1.2. Métricos de fugas falsas

6. Un porcentaje de 2.95% en tiempo muerto (top 5 de las máquinas de ensamble). Lo que coloca a este proceso en un foco de atención.

7. Uso inadecuado de componentes para la prueba, por ejemplo, el tipo de o-ring de sellado entre fixtura de prueba y el compresor, ya que se usan o-rings con diferentes medidas de inventarios adecuados ya que no se cuenta con un sistema.
8. Solo dos máquinas cuentan con una calibración automática, el resto de las 6 máquinas se calibran de forma manual.

1.4.2 China (MCC)

Planta que inició sus operaciones en la ciudad de Sozhou en 2010 y posteriormente se movió a la ciudad de Changshu para incrementar su espacio y producción. Cuenta con 2 líneas de producción y una tercera que inicio operaciones en 2018, de los cuales cuenta una de ellas con 1 espectrómetro Pfeiffer ASI 20 y el resto con Pfeiffer ASI 35.



Figura 1.3. Mahle Compresores China

A pesar de ser la segunda planta con mayor estabilidad, presenta varias áreas de mejora tanto de maquinaria como de proceso, dichos antecedentes de MCC son descritos a continuación:

1. Sistema de mantenimiento aceptable, con una gran área de oportunidad de mejora, para profundizar más en la eficiencia del equipo.

2. No se cuenta con una cantidad considerable de refacciones para los equipos de prueba, ya que al momento de moverse el inventario sufrió problemas de logística lo cual se está trabajando para solucionar.
3. Los sistemas de vacío se ven afectados al igual que en la planta de México, por una cantidad grande de válvulas en su sistema lo que ocasiona fugas falsas o malas lecturas dentro del sistema de vacío.
4. Tienen un buen control de elementos importantes para la prueba, como el uso de o-ring correcto con cambios periódicos, sin ningún sistema previsto, pero con una disponibilidad de estos en la máquina mediante un estante que les facilite el cambio a los técnicos en caso de algún problema de fugas y el correcto uso de la dimensión de estos mismos para cada modelo.
5. El tipo de calibración es común para 2 equipos actuales: es manual en sus equipos de prueba. El técnico modifica el valor debe de calibrar con respecto al valor de la fuga calibrada con la que cuenta la máquina

1.4.3 Brasil (MCB)

Una de las primeras plantas de compresores de la empresa Mahle, inició actividades alrededor del año 2000, en donde empezaron a trabajar en la ciudad de Jaguariuna con una celda de producción para modelos como GM y Chrysler y conforme pasaron los años llegaron más celdas para poder cubrir la demanda de clientes como Fiat y VW.



Figura 1.4. Mahle Compresores Brasil

La planta cuenta con tres celdas de ensamble, las cuales no tienen actualizados sus equipos de prueba ya que las tres líneas aun trabajan con espectrómetros de vieja generación (ASI 20). Estos se han mantenido en excelentes condiciones ya que se cuenta con un mantenimiento riguroso, metódico y periódico para estos.

Para una descripción de las problemáticas principales y características buenas con respecto a la planta de Brasil, se pueden enfatizar los siguientes puntos:

1. El sistema de mantenimiento de los equipos, con el que cuenta MCM, es el mejor de las 4 plantas ya que a pesar de que es una de las plantas más viejas, sus máquinas están en excelente estado lo que se aprecia de sus manteniendo son sus métricos de tiempos muertos. Es un sistema metódico, completo y muy riguroso, dicho mantenimiento con el que cuenta la planta.
2. Su inventario de refacciones no es de los más grandes, pero cuentan con lo necesario para operar correctamente y mantener sus equipos buen estado, a pesar de la falta de actualización de los espectrómetros o equipos de medición de fugas, los cuales son obsoletos. Por lo anterior el stock se va a ver afectado ya que por falta de refacciones en el mercado.
3. El sistema de vacío con el que cuenta esta planta es uno de los mejores ya que hicieron una gran cantidad de mejoras en estos equipos de prueba al eliminar la mayor cantidad posible de válvulas innecesarias dejando tan solo 3, de esta forma se eliminaron una gran cantidad de fallas recurrentes en el sistema.
4. A pesar de sus excelentes números en los demás métricos, los rechazos por fugas falsas es el mayor problema con el que cuenta, teniendo números entre 3% y 4%, los problemas con las dimensiones

de sus puertos de conexión y o-rings los cuales no han sido los adecuados para su tarea.

5. Los tiempos muertos por caídas de máquinas de prueba en la planta ronda entre los 3 a 4 minutos de tiempo muerto por día, mostrado en la figura 1.5, por lo que queda fuera del top 5 de caídas de máquina.

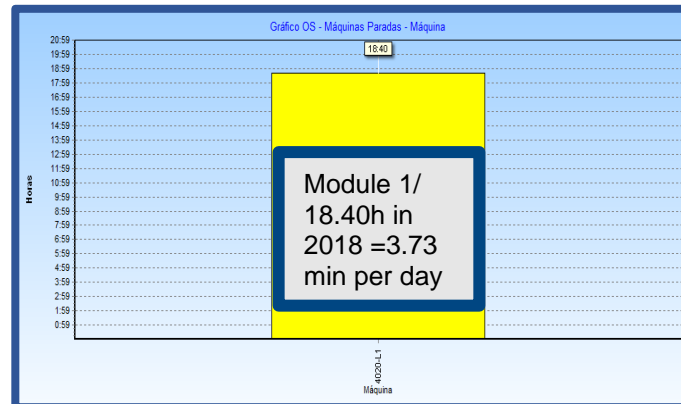


Figura 1.5. Tiempos muertos de 2018 en Brasil

6. Sus cambios periódicos de o-ring cada 300 piezas los convierten en el mejor sistema de las 4 plantas, haciendo de esto un punto muy importante para la eliminación de posibles fugas falsas.
7. Su sistema de calibración es manual, al igual que muchos de los otros equipos de prueba de las demás plantas lo cual hace la gran variante es el método de incorporar la botella calibrada al sistema el cual para eliminar válvulas lo hacen de forma manual, anexándola y retirándola cada vez que van a realizar la calibración.

1.4.4 Hungría (MCH)

La planta ubicada en la ciudad de Balassagyarmat, en el país de Hungría es, al igual que MCB, una de las plantas más viejas de compresores ya que inició operaciones en el año 2000 poco antes que en Brasil. MCH tiene en sus instalaciones 4 celdas de ensamble, 2 de ellas tienen ASI 35, y las otras dos con

ASI 20 de los cuales ya están en planes para antes de terminar el año 2019 realizar la actualización de estos 2 equipos obsoletos.



Figura 1.6. Mahle Compresores Hungría

Esta planta se optó por usar como base para la estandarización tanto de maquinaria como del proceso para las demás, ya que por gran longevidad y experiencia en la construcción de compresores han podido llevar el proceso estable y con buenos métricos a lo largo del tiempo, a continuación, se describen las mejores prácticas de la planta, así como las mejoras a implementar:

1. El sistema de mantenimiento, al igual que MCB es de los más sistemáticos y periódicos lo cual hace que sus equipos se encuentren en buen estado.
2. El almacén de partes críticas para máquinas de prueba, con el que cuenta la planta mantiene un buen sistema lo que lo mantiene actualizado con las refacciones que son periódicamente cambiadas, para evitar problemas durante los días de operación de las líneas.
3. La tubería del sistema de vacío de los equipos no es de los mejores ya que tienen varias válvulas innecesarias al igual que en MCM y MCC. Lo que los diferencia y los hace resaltar en esto, es que cuentan con las bombas de vacío más grandes y de mayor capacidad de las 4 plantas, por lo cual no se ven afectados en este ámbito.

4. Al igual que la planta de China, sus métricos de rechazos son de los mejores, sin sobrepasar los 0.5%, sin embargo, el proceso de Hungría incluye una segunda prueba del mismo compresor, sin verificar si es una fuga verdadera o falsa, lo cual a diferencia de las otras plantas, en caso de encontrar alguna fuga se manda a diagnosticar y esto cuenta en números negativos de rechazos de máquinas de prueba, lo cual no es el caso de MCH ya que al probar dos veces el mismo compresor no se contabiliza de forma negativa pero si afecta en el tiempo muerto como se muestra en la figura 1.7.

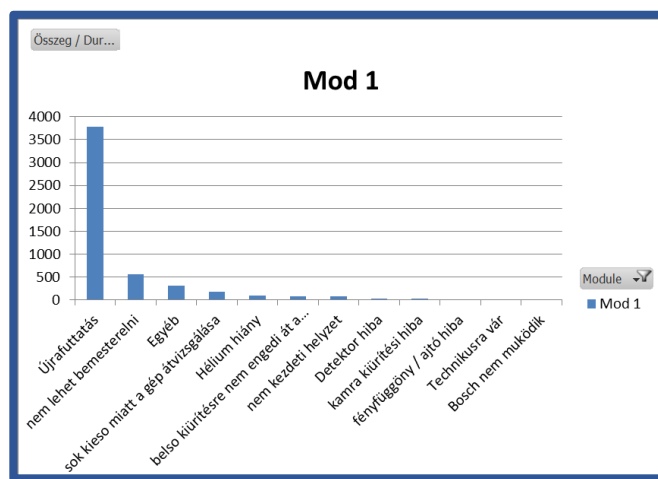


Figura 1.7. *Tiempos muertos por máquina.*

5. A pesar de ser de los mejores en rechazos de máquina, por el proceso de doble prueba, este mismo los manda a los peores como tiempos muertos, ya que el conteo de esta doble prueba se realiza en este métrico lo cual lo hace estar elevado constantemente.
6. El cambio periódico de sus componentes de desgaste: puertos de conexión y o-ring es constante y periódica.
7. En MCH hace que el uso de o-rings sea más largo, en el proceso de prueba, debido a la lubricación a este componente con aceite, lo que extiende su tiempo de vida.

8. Su método de calibración de máquinas es manual, solo que tiene deficiencias por el cambio constante de botellas de calibración, y con el uso de válvulas extras innecesarias en el equipo de tubería del sistema de prueba.

1.5 Cronograma de actividades.

En el cronograma de la tabla 1.1 se muestra se muestra los subsistemas o proyectos. Este delimita los tiempos necesarios para cada actividad, las agrupa en los objetivos previamente planteados. En este diagrama se puede observar en primera instancia las actividades a realizar, la planta en donde se efectuará, así como los meses contempladas para dichas actividades a lo largo del 2018 y 2019.

Fecha 18-Jun-18	Estandarización Mahle Compresores																							
Responsable: Fabian Lopez	Actividades/Proyectos	Planta	Jun-18	Jul-18	Aug-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dec-18	Jan-19	Feb-19	Mar-19	Apr-19	####	Jun-19	Jul-19	Aug-19	Sep-19	Oct-19	Nov-19				
1	Identificación de necesidades	TODAS	MCM		MCC	MCB	MCH																	
2	Planificación de proyectos para MCM	MCM																						
3	Estandarización de O ring	MCM																						
4	Reestructuración de mantenimiento preventivo	MCM																						
7	Entrenamientos	MCM																						
8	Rediseño de puertos de prueba	MCB																						
9	Mantenimiento preventivo a fixturas	MCM																						
11	Doble ciclo	MCB																						
12	Implementación de Espectrómetros Nuevos	MCM																						
13	Rastreo de Fixturas	MCH																						
14	Nueva forma de calibración	MCM																						
15	Recuperador de Helio	MCM																						
16	Implementación de fixturas nuevas	MCM																						
17	Rastreo de Fixturas	MCM																						
18	Estandarización de Bombas de prueba	MCC																						
19	Recuperador de Helio	MCC																						
20	Protección de espectrómetros	MCC																						

Tabla 1.1. Cronograma de actividades del proyecto.

1.6 Comparación Inicial entre plantas

Cada una de las 4 plantas cuenta con desempeños positivos y negativos en los métricos, lo que lo posiciona como la mejor planta en ciertos aspectos, y como la

peor en otros, generando perdidas para la compañía. A continuación, se muestran los métricos de desempeño para las 4 plantas:

Piezas rechazadas.- Con respecto a los porcentajes de piezas rechazadas provenientes de máquinas de prueba de fuga, se encuentran con el mejor desempeño las plantas Hungría y China, a diferencia de las plantas de Brasil y México, las cuales se encontraban con el mayor problema, dichos porcentajes de rechazo se muestran en la figura 1.8.

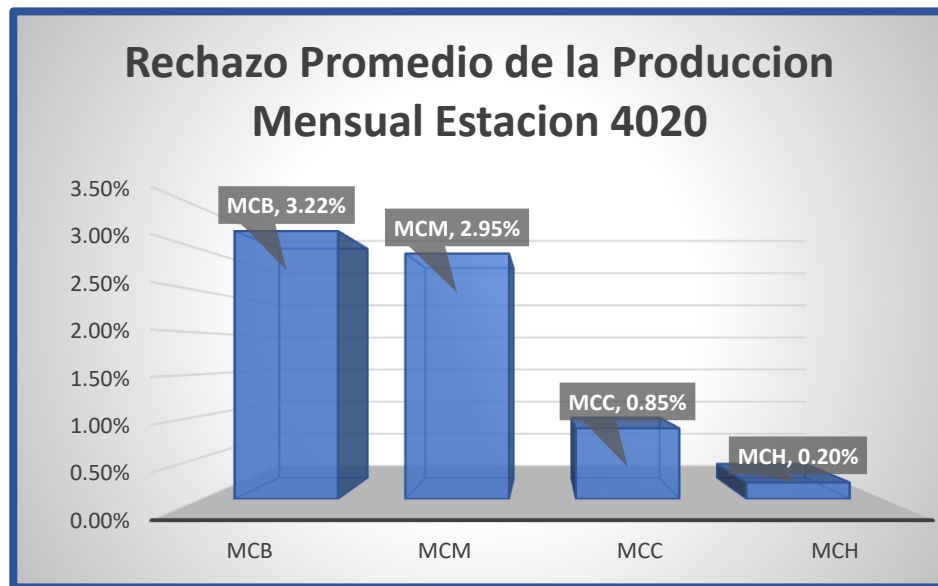


Figura 1.8. Rechazo mensual por planta (Máquina 4020)

Tiempos Muertos.- Es tiempo que la máquina no puede producir piezas por algún problema, ya sea daño de componentes o mal funcionamiento de la misma. México se encuentra como la más alta en comparación a las demás plantas, lo cual está mostrado en la figura 1.9.

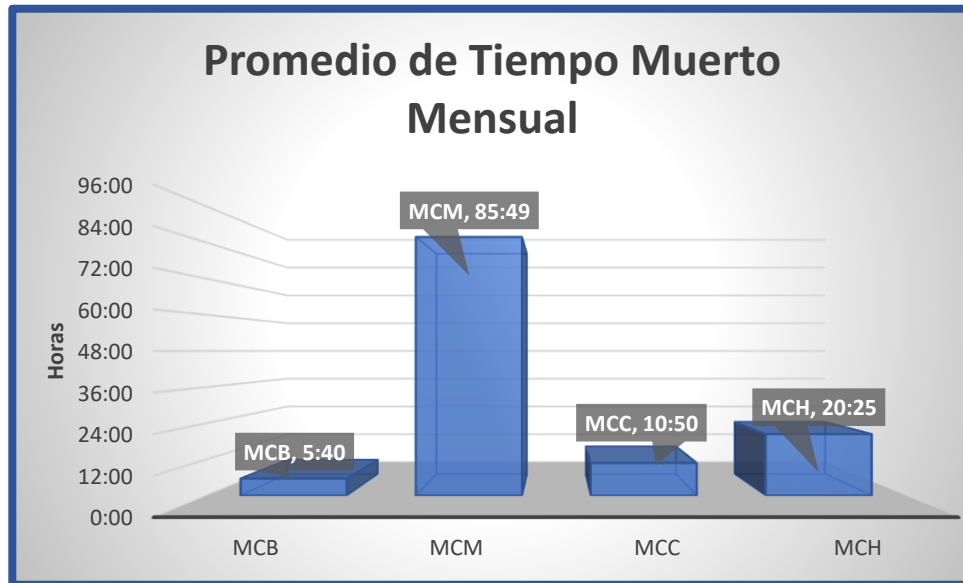


Figura 1.9. Tiempo muerto mensual por planta (Máquina 4020)

Estandarización del proceso.- La planta que se tomó como base fue la de Hungría por ser la más antigua, así como por tener de los mejores métricos, que además tener mejoras que serán descritas a lo largo del documento, para los porcentajes de estandarización a inicios del proyecto se muestran en la figura 1.10.

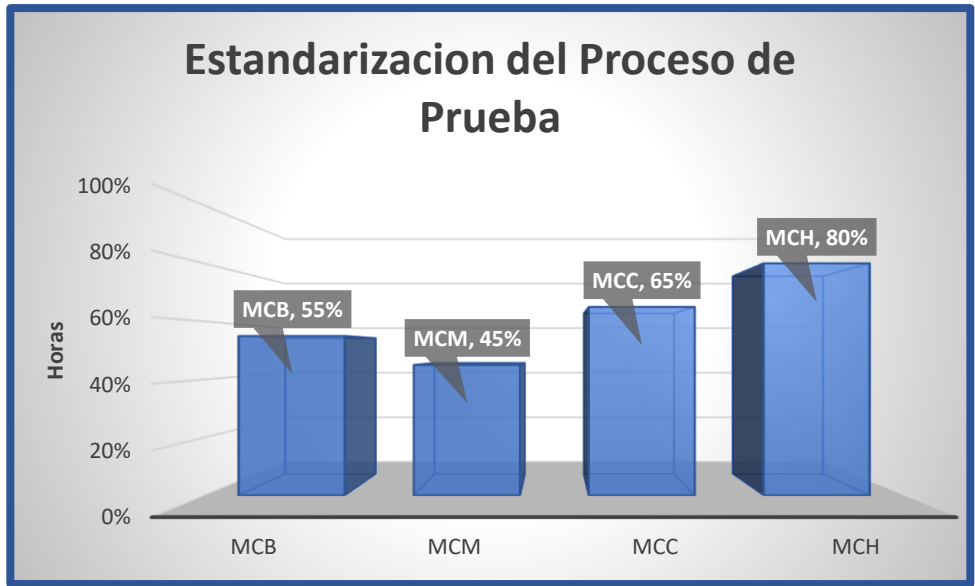


Figura 1.10. Estandarización del proceso de las 4 plantas

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Base de la metodología

Para la elaboración de la metodología final aplicada a las 4 plantas con respecto a las principales problemáticas en el proceso de ensamble del compresor, se utilizó una herramienta para poder desglosar y visualizar las principales causas de cada de los problemas y así poder realizar un método final. Esta herramienta fue el árbol de análisis de falla con el cual se pudo desglosar las problemáticas y encontrar posibles soluciones a esta, esta herramientas se encuentran divididas en 4 principales las cuales fueron las problemáticas con mayor peso en el proceso, las cuales fueron FTQ, confiabilidad, tiempo muerto y costos de operación, que para cada uno se encontraron estos puntos importantes en los diferentes arboles de análisis de fallas mostrados en las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4.

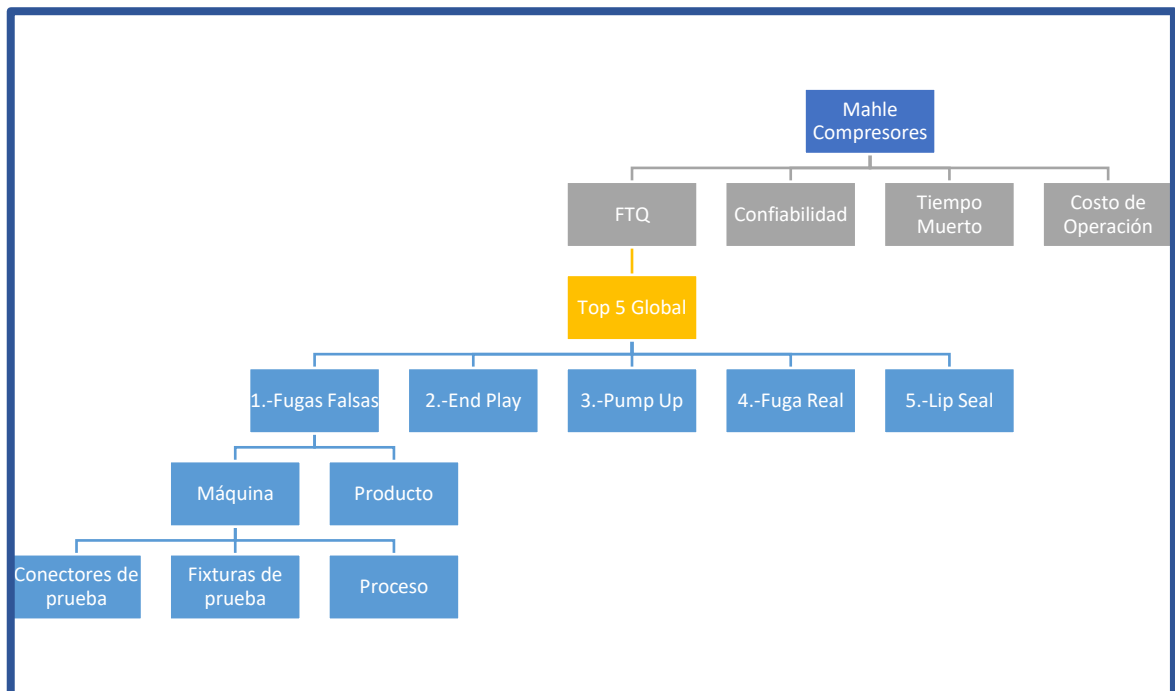


Figura 2.1. Árbol de análisis de fallas para rechazos de máquina

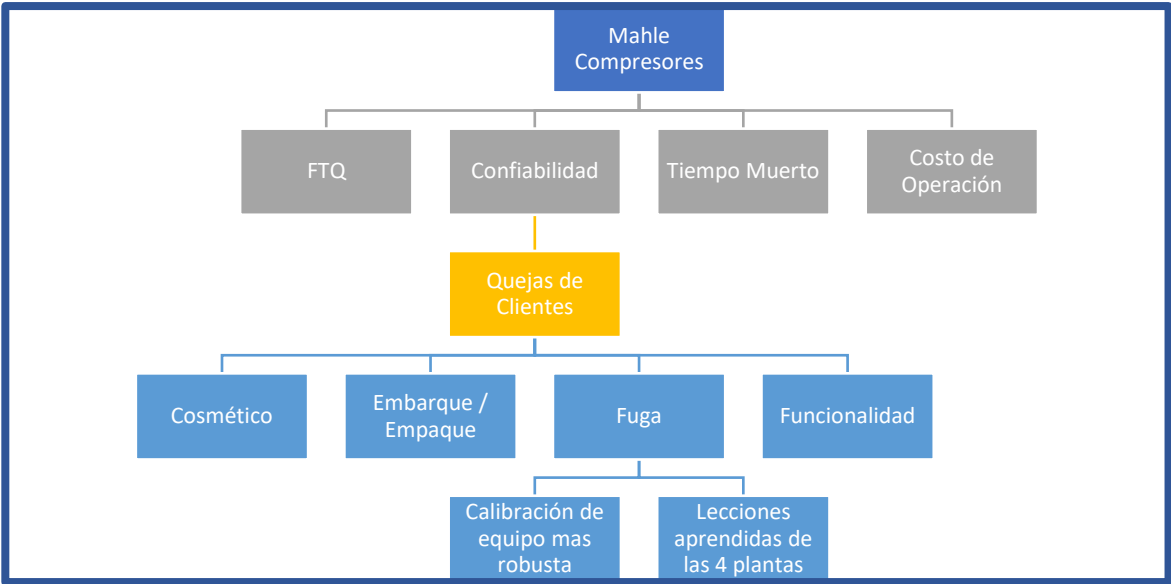


Figura 2.2. *Árbol de análisis de fallas para confiabilidad*

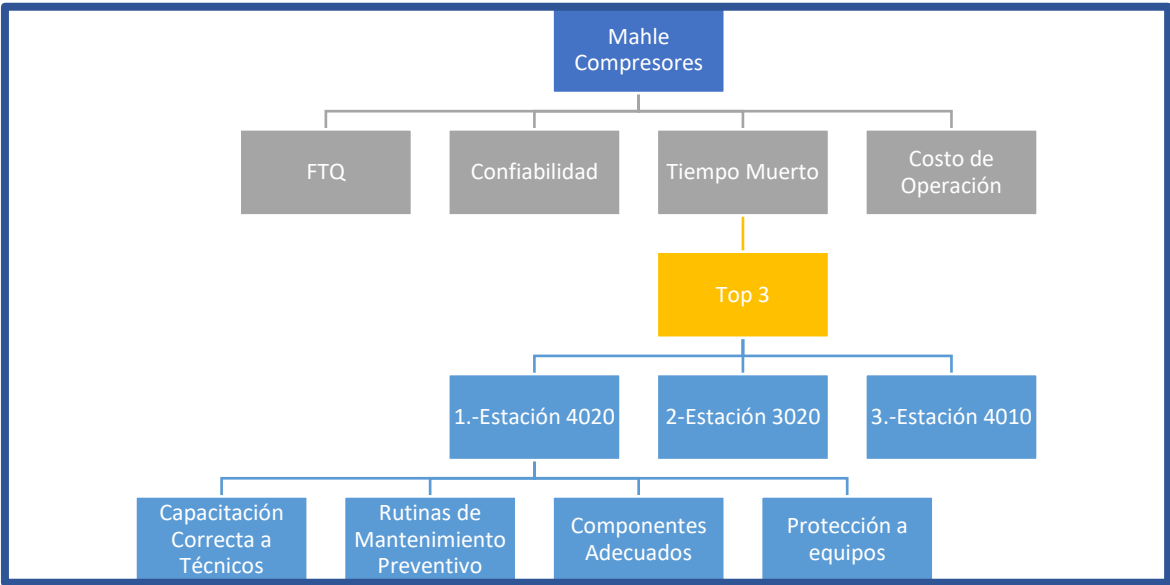


Figura 2.3. *Árbol de análisis de fallas para tiempo muerto*

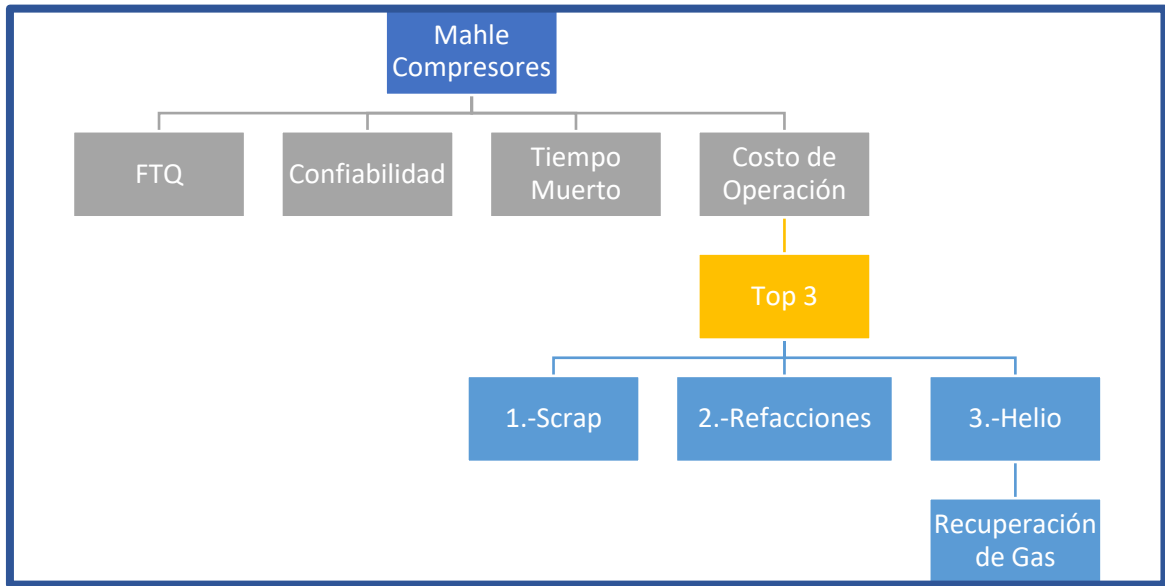


Figura 2.4. Árbol de análisis de fallas para costos de operación

Para el desarrollo de una metodología eficiente en la estandarización de un proceso de fugas en las diferentes plantas fue necesario plantear necesidades a corto y largo plazo de tecnología para la detección de fugas mediante espectrometría de masas y sistemas de alto vacío, anexando los problemas principales en común de las 4 plantas con respecto al árbol de análisis de falla.

Esta metodología se puede apreciar en el árbol sistemático de la figura 2.5, en donde se incluyen 5 puntos principales: Rechazos de equipo, tiempos muertos, costos de operación, Incremento de confiabilidad y unificación de componentes. De los cuales se deriva una serie de actividades necesarias para cada punto. Las actividades se desarrollaron de forma simultánea para atacar con mayor rapidez cada tipo de problemas. A cada actividades le corresponde un resultado que se esperar que satisfaga las aseveraciones de la hipótesis respectiva.

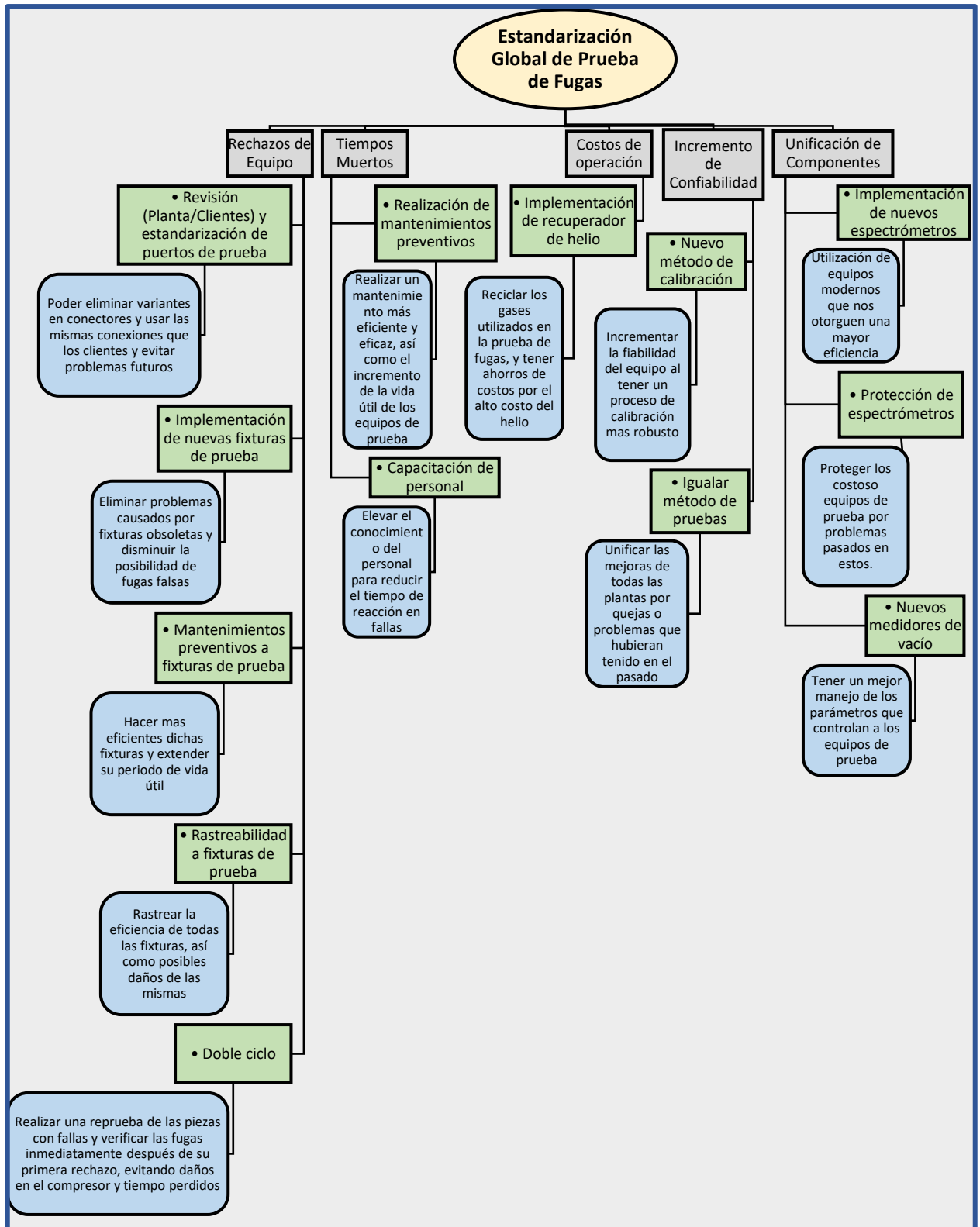


Figura 2.5. Árbol sistémico de actividades de la metodología

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACION

3.1 Mahle Compresores México

3.1.1 Reducción de piezas rechazadas MCM

La planta de ciudad Juárez, o MCM como se conoce de forma común entre las diferentes plantas, presentaba una gran cantidad de deficiencias en el proceso de prueba. La planta presenta diferencias en varios aspectos, respecto a las demás; una de las principales diferencias, es la gran rotación de personal, debida a que en la ciudad existe una gran demanda de trabajo, en el sector industrial para el personal es amplio, lo que ocasiona que las personas con experiencia en el proceso tienden a rotar de trabajo (cada 2 años). Las demás plantas, se encuentran en ciudades en donde no existe una gran cantidad de ofertas de trabajo, lo que hace que el personal dure alrededor de 8 a 10 años, otra diferencia de MCM es que el proceso de la planta carece de estructura para mantenimientos, inventario de refacciones y estandarización entre máquinas lo cual ocasionaba problemas del día a día, al requerirse una cantidad de tiempo para la solución de problemas y por ende el número de rechazos.

3.1.2 Estandarización de O-ring

Para mejorar el proceso en la planta de ciudad Juárez, primero se encontraron las deficiencias de forma global y después individual. En los métricos se encontró que los principales motivos de tiempo muerto, en las máquinas de prueba al generar la mayoría de los rechazos, los problemas de diseño de fixturas y los problemas en la programación de las máquinas.

Uno de los requerimientos de los clientes (ensambladoras automotrices) es simular las conexiones que ellos usan en su ensamble final, incluyendo las

dimensiones del conector que entra en el compresor y el tipo de sellado (o-ring o seal washer). En la planta, este era un problema grande ya que no existía un estándar para el proceso de sellado, ya que en las fixturas se utilizaban o-ring de diferentes tamaños y medidas al momento de dañarse los actuales. El problema que esto ocasionaba era que el sellado con el conector no era uniforme por las variaciones de estos componentes, en ocasiones se sellaba de más lo que podría ocasionar ocultar una fuga que el cliente vería al momento de poner en marcha el sistema, por lo contrario, un o-ring más pequeños podría ocasionar un mal sellado en el compresor y así ocasionar fugas falsas.

El primer paso, en la mayoría del proceso, fue la obtención de los planos del conector que el cliente utiliza, y así poder apegarnos a su método de sellado y evitar problemas futuros. En las figura 3.1 y 3.2 se muestran dichos planos, tanto de los puertos como de los o-ring del cliente, con los cuales verifica un correcto sellado entre el compresor y los demás componentes del sistema de aire acondicionado de sus vehículos.

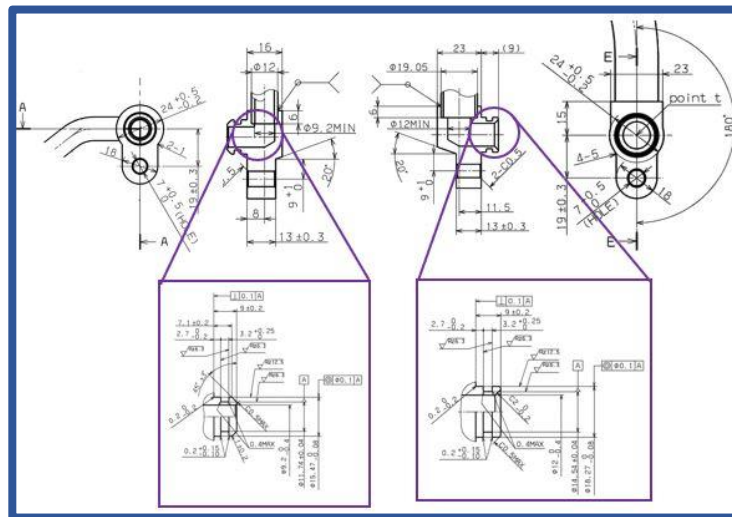


Figura 3.1. Puertos de conexión al compresor de Honda

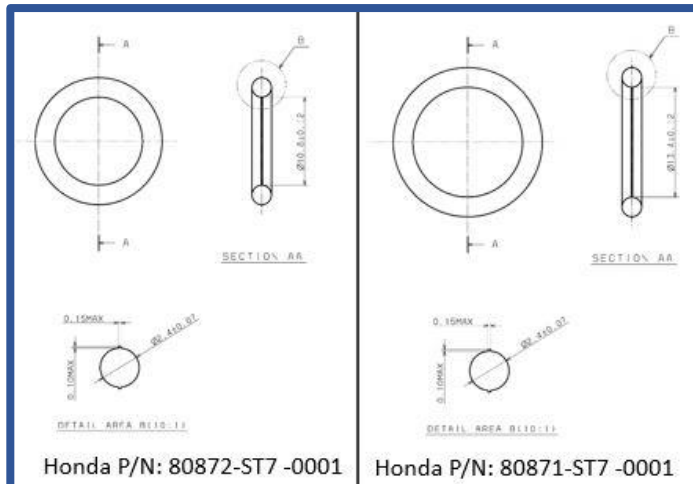


Figura 3.2. O-ring de sellado interno del compresor

Para asegurar el uso de o-ring adecuado se implementó un sistema de alineación adecuados para cada una de las fixturas de la planta y verificar sus cambios rutinarios y así evitar probar compresores con o-ring dañados, lo cual ocasionaría las fallas principales de las fugas falsas, de o-rings más cercano a las líneas de producción lo que reduce los tiempos de traslado en componentes de uso constante, dicho almacén se muestra en la figura 3.3. Además, se implementó un sistema de inventario de o-rings adecuados para el proceso, que incluye estantes, para que el equipo de mantenimiento pudiera intercambiarlos periódicamente y el registro del técnico y hora de cambio.



Figura 3.3. Estante de o-rings para las diferentes fixturas

3.1.3 Nuevas fixturas

Después del análisis inicial de requerimientos y debilidades del proceso se decidió comprar de fixturas nuevas siguiendo los lineamientos de la estandarización de la planta china. Dichas fixturas fueron compradas y diseñadas con base en las fixturas implementadas en las máquinas 4020 de la planta china con la que presentan las siguientes ventajas:

- Gran rigidez ante la gran cantidad de ciclos realizados por día.
- Eliminación de variación al momento de colocar los compresores. En las fixturas previas, variaba el resultado de la prueba por una mala colocación del producto.
- Sustitución de puertos de metal por unos de delring para atender quejas de clientes, ya que los puertos de metal generan daños internos al compresor.

El costo total del proyecto fue de \$30,000 dólares, que incluye el costo de 22 fixturas de acero inoxidable con un diseño interno de Mahle, que es una adaptación de las fixturas actuales de la planta de China. Este es un costo alto con un tiempo de recuperación largo ya que elimina compresores con daño interno en los puertos de salida y entrada.

Para la validación de las 22 fixturas para los 5 modelos de compresores de nuestro cliente Honda, fue necesario trabajar en conjunto con el proveedor ya que no tenían ninguna experiencia con la prueba de fugas de esa resolución, pero su taller tiene una gran precisión en el maquinado de piezas. Dicha validación de cada una de las fixturas fue necesario implementar los cambios en puertos de plástico, implementación de mangueras y conectores neumáticos especiales para la prueba de fugas. Procediendo con la alineación del compresor para verificar la perfecta introducción de los puertos de la fixtura dentro del compresor y finalizando con la revisión de cada una de las fixturas en el área de prueba de los compresores, la cual consistía en introducir helio dentro de las fixturas y colocando un compresor master sin ningún tipo de fuga y comenzar a analizarlo punto a punto con un

instrumento conocido como Sniffer, el cual es una sonda a presión atmosférica conectada a un espectrómetro de masas, el cual sirve para poder detectar fugas puntuales. Una vez analizadas todas las fixturas con este dispositivo se llevaron a la cámara de alto vacío para ser verificadas una última vez antes de ser lanzada a producción. El nuevo diseño de fixtura se puede ver en la figura 3.4 así como el antes y el después de este nuevo diseño mostrado en la figura 3.5 y 3.6

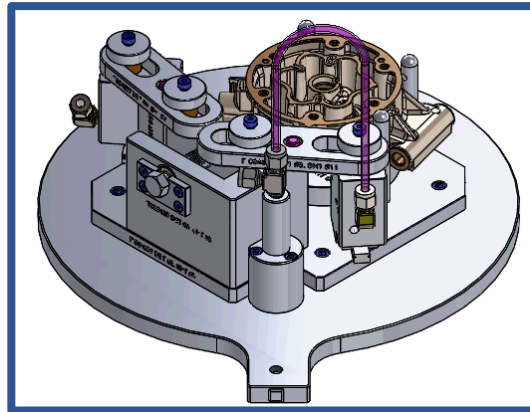


Figura 3.4. Diseño de base de fixturas nuevas.



Figura 3.5. Nuevo y viejo diseño de fixturas módulo 3, modelo T30.

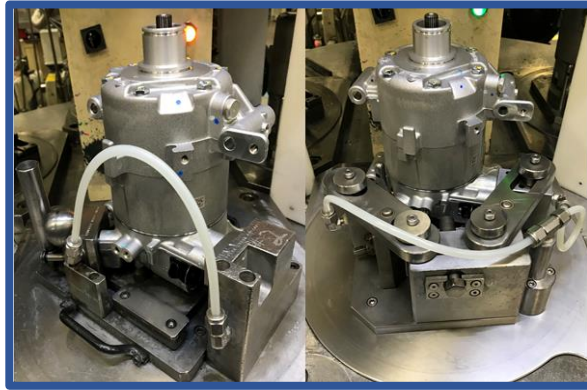


Figura 3.6. Nuevo y viejo diseño de fixturas módulo 4, modelo T3.

Una vez implementadas las fixturas en producción normal, después de haber entrenado a todos los operadores de las estaciones de esta máquina, el cual es un protocolo y requisito de la empresa que antes de implementar cualquier cambio hay que validar y entrenar a todos los operadores y técnicos que fuesen a tener contacto con la nueva implantación, la cual represento un cambio positivo para el proceso ya que como se cuentan con 5 fixturas para cada modelo, la máquina solo usa 4 para trabajar, se tenía una extra para poder realizar reparaciones en alguna que presentara algún daño durante producción y así no tener tiempos muertos ocasionado por falta de fixturas.

3.1.4 Mantenimiento preventivo a fixturas de prueba

Uno de los factores comunes en los 5 módulos de la planta de Ciudad Juárez, por los que en métricos de tiempos muertos y de rechazos aparecen de forma muy concurrente, provenían a daños en componentes de las fixturas. Estos problemas iban desde problemas con puertos, tornillería, o-rings, entre otros los cuales hacían parar la máquina para poderlos cambiar. La solución para este problema y así atacar directamente a los métricos, fue la implementación de un mantenimiento preventivo de forma periódica a estas mismas. Dicho mantenimiento se desarrolló desde cero considerando los componentes que normalmente aparecían en los reportes de producción, así como los componentes móviles o que recibieran impactos, para evitar que, durante la producción semanal de los compresores, se

viera afectada por estos tipos de problemas. Este consta de 3 periodos principales, semanal, quincenal y trimestral. Los puntos principales de forma englobada a trabajar durante estos periodos son los siguientes:

Semanal:

- Limpieza de todos los componentes con alcohol isopropílico.
- Revisión y ajuste de toda la tornillería de las fixturas.
- Revisión de puerto chico y grande.
- Cambio de todos los o-rings de la fixtura.

Quincenal:

- Limpieza de todos los componentes con alcohol isopropílico.
- Cambio de puerto chico y grande de delring.
- Cambio de manguera de prueba.
- Revisión y ajuste de toda la tornillería de las fixturas.
- Cambio de todos los o-rings de la fixtura.

Trimestral:

- Revisión de planicidad y posibles daños en el área de sellado de la fixtura y la cámara, en caso de algún problema llevar a rectificar.

Con estos mantenimientos dedicados a las fixturas de prueba se evitaron un gran cantidad de rechazos y tiempos muertos durante la producción, esto último reduce paros ya que en caso de algún daño mientras se trabaja con las fixturas es probable tener daños de dichas piezas ya que están en movimiento constante lo que propicia daños inevitables, dicho mantenimiento previene estos paros con el cambio rutinario de todos los componentes previamente descritos.

3.1.5 Rastreo de fixturas y alarmas para ciclos continuos

Mediante el análisis inicial de los requerimientos y debilidades del proceso actual en las plantas, resulto muy notorio un problema concurrente en todos los módulos, el cual se denotaba muchas incidencias por algún daño de alguna fixtura en específico, la cual comenzaba a ocasionar más de 5 rechazos consecutivos y el operador seguía utilizándola. Esta práctica no tenía ningún tipo de control, la máquina no paraba, los supervisores de la línea no exigían al operador tener cuidado con estos incidentes y los técnicos no la reparaban a tiempo. Este problema comenzó a ser muy recurrente en las líneas lo cual abrió una puerta para la mejora del proceso. Para poder solucionar este problema tan recurrente en producción de forma global, se implementó un sistema de rastreo de fixturas por medio de sensores capacitivos comenzando en los módulos 1, 2, 3 y 4, mostrado en la figura 3.7, el cual consistía en localizar mediante sensores inductivos la localización en el dial giratorio de la máquina la posición exacta de las 4 o 2 fixturas según fuera el caso. Mediante estos sensores se realizó una programación en los PLC para poder contabilizar el número de rechazos consecutivos de una fixtura, condicionando a la máquina para que el operador no pudiera utilizar dicha fixtura si esta presentaba 2 rechazos consecutivos o más de 3 en menos de 60 minutos.

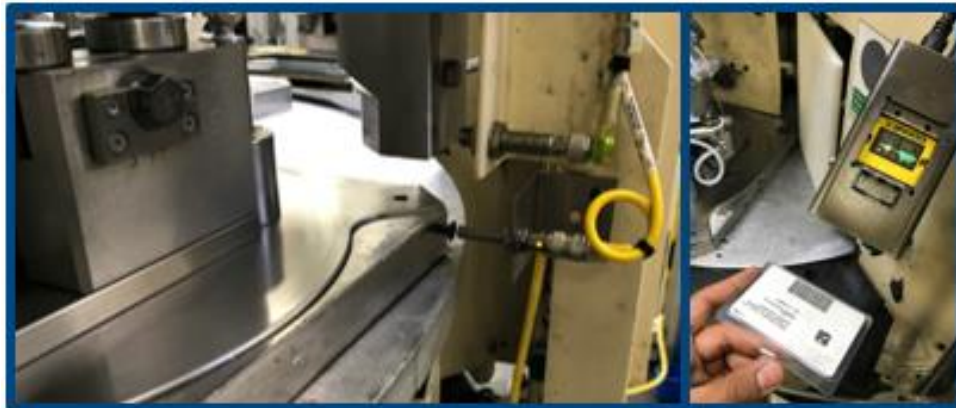


Figura 3.7. Rastreo de fixturas y código 2D para desbloqueo

Para poder cerciorarse que la fixtura estuviera en condiciones correctas para poder operar nuevamente se desarrolló un sistema de escaneo para los técnicos, dicho sistema consistía en la impresión de códigos datamatrix tipo 2D, el

cual les coloco a los técnicos en sus gafetes y se programó el PLC para usar el mismo scanner que se utiliza en la máquina para el sistema de rastreo de las piezas, para poder leer dichos códigos y así avisarle al equipo que el código del técnico fue escaneado y que la fixtura ya fue revisada y reparada por él, esto mediante la comparación del dato leído por el escáner una base de datos de los gafetes permitidos en una cadena de string como se muestra en la figura 3.8.

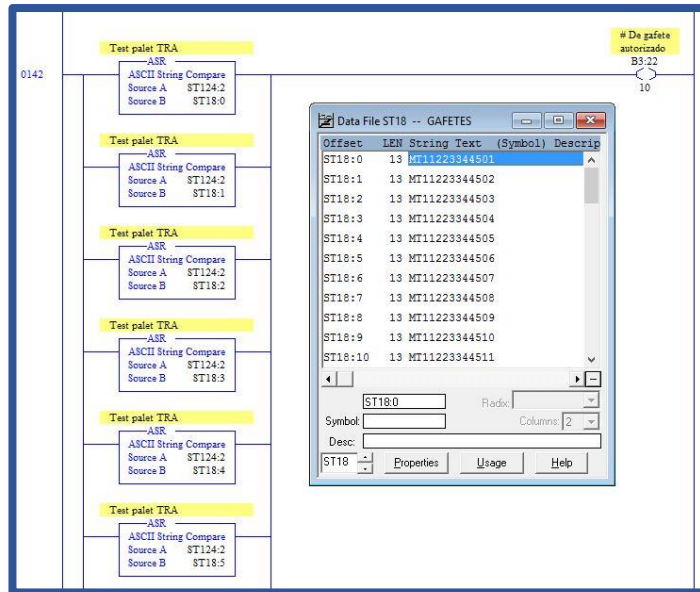


Figura 3.8. Gafetes permitidos para desbloqueo

Anexo a este subproyecto se implementó un sistema de alarma en la línea y dentro del taller de técnicos, el cual es para avisar a los supervisores que algo estaba mal en las fixturas y para que los técnicos que estuvieran en el taller pudieran reaccionar. Para la alarma de la línea solo se habilitó una de las linternas, que estaban ya instaladas y para la alarma del taller de técnicos se compró un andón con alarma y 5 luces para poder avisarles cual era el módulo con problemas, el cual se instaló mediante un cable de varios pines desde un PLC central que recibe información de los 5 módulos, hasta el taller y así al momento de tener algún problema con fixturas el andón prendería un color determinado para cada módulo

y sonaría una alarma para así avisar a los técnicos del problema, mostrado en figura 3.9.

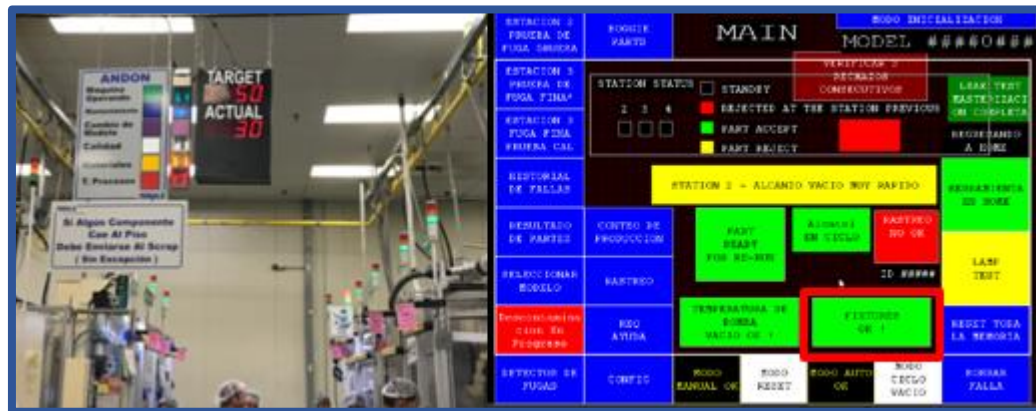


Figura 3.9. Sistema de andon y rastreo de fixtura en pantalla

3.1.6 Doble ciclo

La detección de fugas en cámaras de alto vacío y espectrómetro de masas es una tecnología en donde tenemos un dispositivo especializado tratando de buscar muestras de moléculas en un espacio determinado, dicha operación se puede plantear teóricamente de forma sencilla, pero en la práctica este proceso representa tiene una gran cantidad de variables que nos pueden afectar las lecturas:

- Contaminación de aceite, residuos de suciedad, rebabas.- Estos elementos ajenos al proceso pueden retener partículas de helio de ciclos anteriores lo cual el instrumento de medición lo puede representar como una fuga.
- Variaciones de temperatura.- Cualquier variación de temperatura por efectos de someter las piezas en alto vacío, pueden generar variaciones en las mediciones.
- Incorrecta despresurización de compresores.- si el compresor presenta residuos de helio al momento de retirarlo de la máquina, dichos residuos se pueden quedar cercanos de la máquina y afectarte ciclos consecutivos.

- Movimientos repentinos de conectores de prueba.- cualquier movimiento de los o-rings al momento de cargar el gas dentro del compresor presentan un pequeño movimiento lo cual puede hacer escapar una pequeña porción de helio del compresor por este punto y así generar una fuga o rechazo.

Estas variantes, generan una gran necesidad de controlar el proceso perfectamente y llevarlo a un nivel de limpieza muy alto, el cual se trata de hacer en su mayoría, pero al momento de probar más de 1800 compresores diarios, existe una gran posibilidad que estos factores nos afecten involuntariamente el proceso y genere rechazos falsos. Para poder amortiguar estos problemas en varias divisiones de diferentes productos de Mahle se emplea un doble ciclo, el cual consiste en probar las piezas rechazadas una segunda vez para verificar el rechazo de la máquina.

Este proceso se encuentra implementado desde hace más de 10 años en la planta de compresores de Hungría el cual los ha llevado a tener números muy bajos en lo que a rechazos de prueba de fugas respecta, ya que todas las piezas que salen rechazadas de las máquinas de prueba son probadas una segunda vez y si esta segunda vez presentan nuevamente un rechazo, todas las piezas son fugas reales. Para poder estandarizar este proceso a lo largo de las 4 plantas teniendo como base lo realizado por Hungría se definió un diagrama de flujo con el que las demás plantas tenían que modificar su proceso y apegarse a este, mostrado en la figura 3.10.

Para comenzar con esta estandarización del proceso en la planta de México, fue necesario realizar en uno de los módulos más controlados para no agregar más variables al proceso. Este módulo con la menor cantidad de rechazos es el módulo 1, el cual, gracias a todas las implementaciones y estándares previamente implementados, presentaba un porcentaje promedio de rechazo proveniente de la máquina de prueba de fugas del 1.2%, por lo cual se vio como el módulo óptimo para implementa este nuevo proceso.

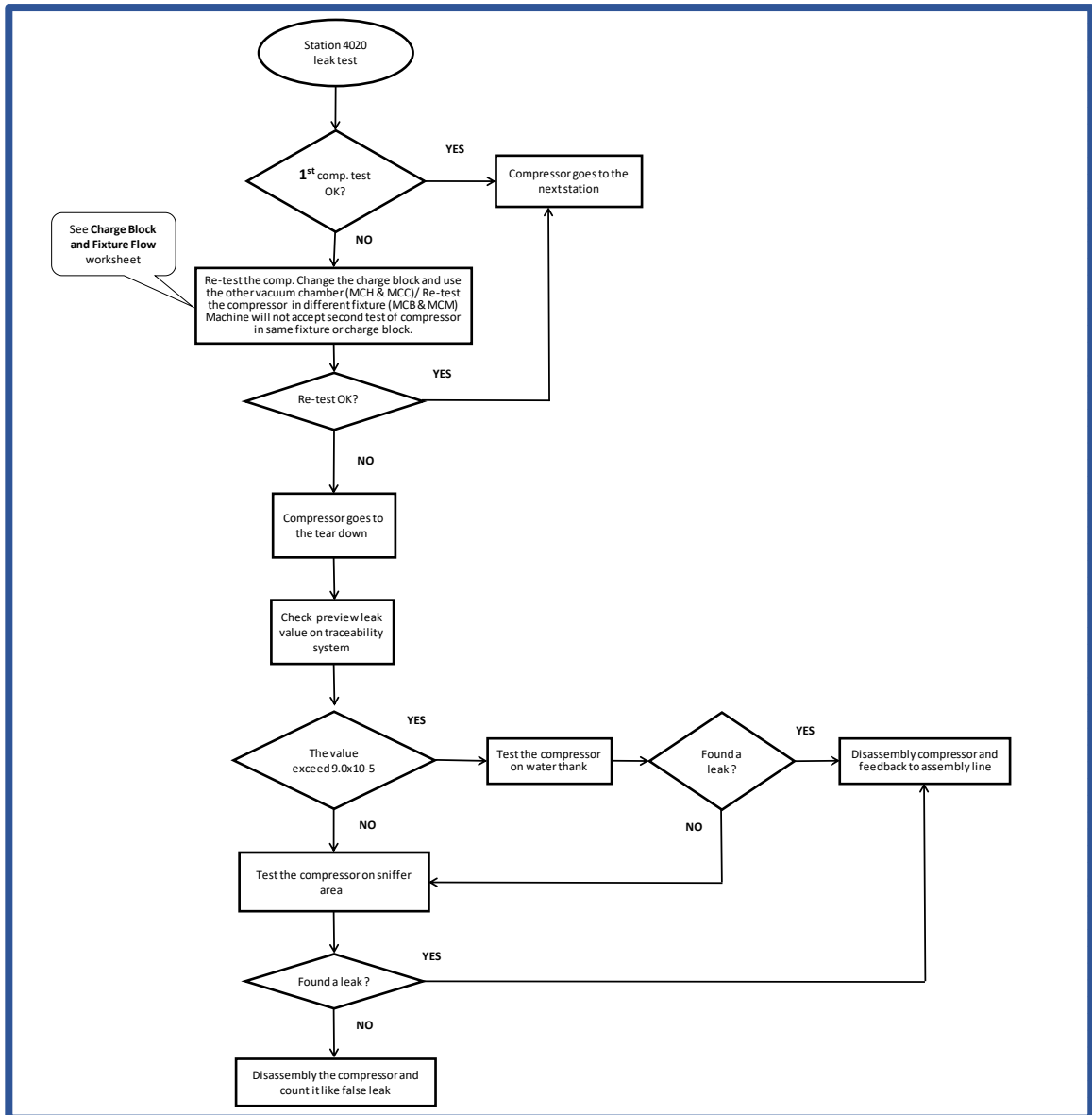


Figura 3.10. Diagrama global de doble ciclo

Para la introducción de este nuevo flujo fue necesario realizar modificaciones en el sistema de rastreo en el PLC de la máquina, donde se necesitó desarrollar una lógica en la que pudiéramos restringir al operador las veces que se podía probar un compresor y a la par evitar que probara el mismo compresor en la misma fixtura por segunda vez. Esto se realizó mediante la implementación de nomenclaturas a cada una de las 2 fixturas y la identificación de las mismas con el mismo sistema de rastreo previamente mencionado, una vez que el compresor era rechazado por primera vez en una de las fixturas el PLC le

concatenaba un código, 4024 o 4025 según fuese la fixtura donde proviniera, al momento de probarlo por segunda vez este código era comparado y si se determinaba que la fixtura a la que el operador colocaría el compresor, la máquina no daba ciclo hasta que lo colocara en la fixtura correcta, dicha asignación se visualiza en la parte del código de la figura 3.11. Continuando con la modificaciones del proceso se realizaron cambios en los documentos del proceso, como lo fue el PDF, PFMEA e instrucciones de trabajo a la par de entrenar a los operadores, técnicos y supervisores de los 3 turnos de la planta que tienen contacto con la máquina de pruebas para conocer dicho cambio.

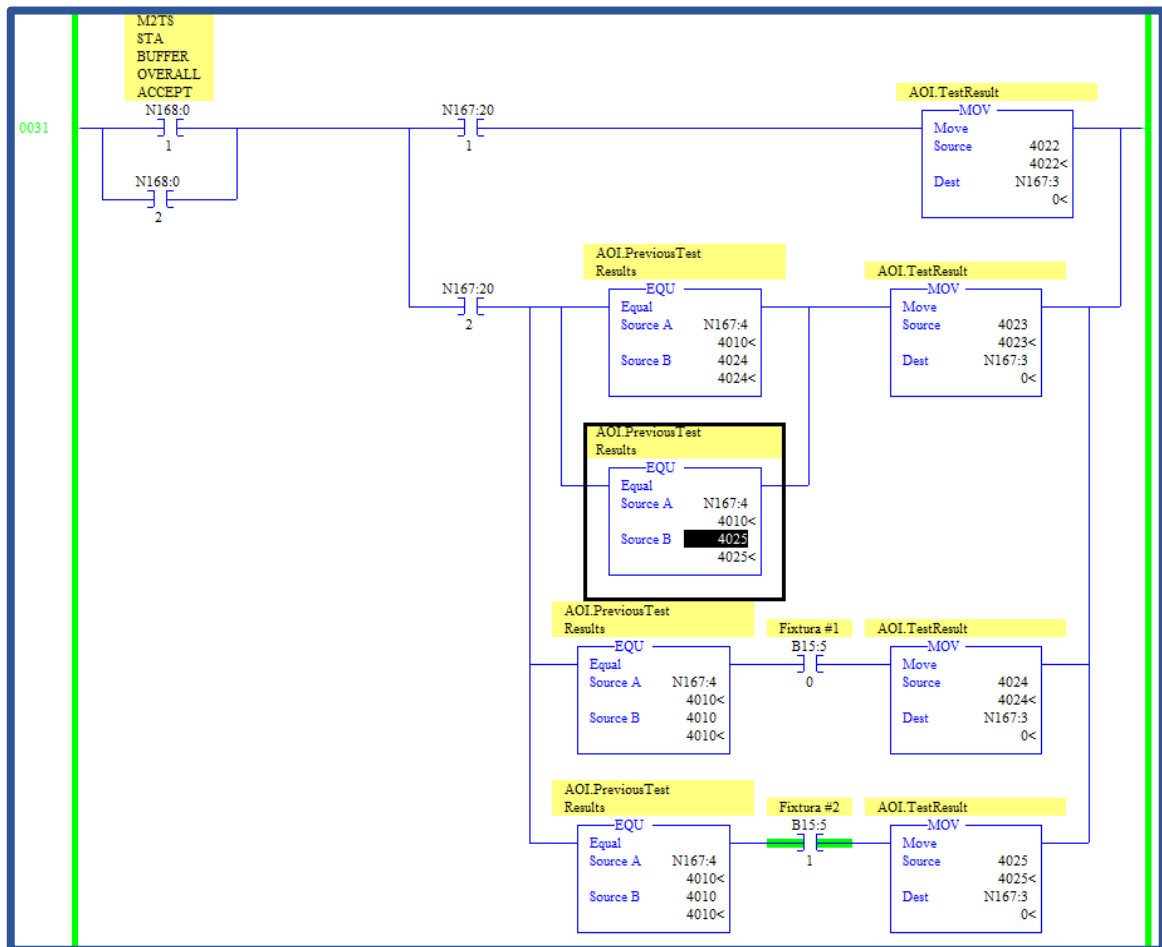


Figura 3.11. Programación de doble ciclo en máquina de prueba

Una vez implementado los cambios previos se realizaron corridas de validación previa a dejar instalado el proceso fijo, para verificar su efectividad y funcionamiento. Una vez validado el cambio se dejó implementado dicho proceso el cual se notó rápidamente su eficiencia reduciendo drásticamente estos rechazos hasta eliminarlos por completo como se muestra en la gráfica de la figura 3.12

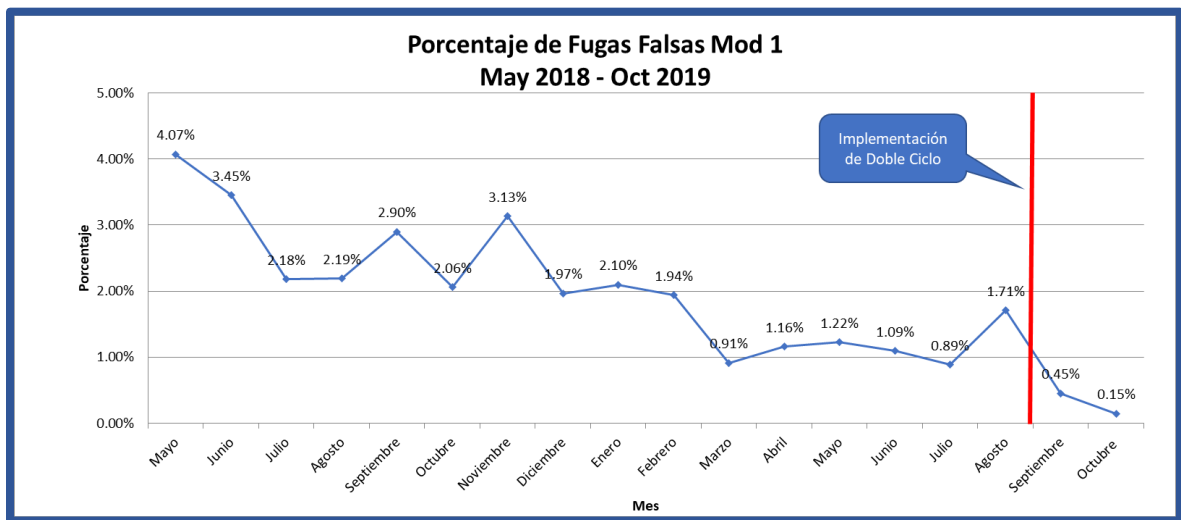


Figura 3.12. Impacto de doble ciclo en módulo 1

La implementación de este proceso estándar se repetiría para los demás módulos ya que claramente era la solución final, después de haber hecho todas las mejoras, para los rechazos consecutivos de las 4020, a pesar de esto la directiva de la empresa decidió esperar con la implementación de este proceso para los 4 módulos restantes ya que había tenido varios problemas de calidad con uno de los clientes, el cual su compresor es producido en esta cuatro líneas y decidieron pedirle autorización al mismo para este cambio de proceso, que al momento de la conclusión de este documento no se había recibido esta por parte del cliente.

3.1.7 Restructuración de mantenimiento preventivo

Al momento del inicio del proyecto en la empresa Mahle compresores y en recolección de información, se percató que los mantenimientos realizados a las máquinas eran efectuados de forma trimestral y semestral, dichos mantenimientos

estaban realizados de forma muy básica, desde solo limpieza superficiales y cambios de aceites, lo cual suele ser rutinario para máquinas comunes. A diferencia de cualquier equipo, los sistemas de alto vacío y espectrometría de masas presentan una gran necesidad de requerimientos para su óptimo funcionamiento, debido a que dichos equipos se encargan de detectar moléculas de helio dentro de una cámara en alto vacío, lo que la hace un equipo muy delicado que no era manejado de forma correcta.

Para la reestructuración de los mantenimientos se dividió por su frecuencia y prioridades de puntos a revisar reparar o cambiar en el equipo. Los 5 módulos presentan pequeñas diferencias entre sí, lo cual me permitió tomar como base un sistema de mantenimiento para todos ellos y solo agregar las revisiones a los componentes que presentaran diferencias. Para la determinación de frecuencias se tomó en cuenta mi experiencia previa en este tipo de sistemas, así como las recomendaciones de fabricante en donde se efectuó de la siguiente manera:

- Semanal
- Mensual
- Trimestral
- Semestral
- Anual

En base a estas divisiones se consideró como base para el mantenimiento semanal los puntos más críticos:

1. Limpieza de cámara de alto vacío, especificando método y componentes a usar.
2. Verificación o remplazo de abrazaderas de alto vacío, así como componentes de sellado de cámara.
3. Verificación de niveles de aceite de las 4 bombas de vacío de la máquinas, así como el aceite adecuado para cada una de ellas.

4. Recolección de datos críticos del funcionamiento del espectrómetro de masas, así como la auto calibración de dicho equipo.

Para los puntos mensuales se utilizó la de revisión semanal ya que el sistema de mantenimiento no les puede arrojar 2 mantenimientos el mismo día, lo cual fue necesario agregar los puntos semanales, así como puntos a revisar de forma mensual:

1. Detección de fugas de helio en las líneas de suministro de este, con una máquina especializada para esta tarea llamada Helium sniffer, la cual mediante una sonda se hace pasar por las uniones de la tubería y así detectar alguna fuga del mismo.
2. Limpieza interna de las válvulas de alto vacío, así como las de protección al sistema de espectrometría.
3. Limpieza y revisión de funcionamientos de transductores de presión y vacío.
4. Y lubricación al sistema de rotación de la máquina.

Para el sistema trimestral se anexaron los siguientes puntos:

1. Cambio de todos los aceites de las bombas de vacío.
2. Limpieza de toda la tuberías del sistema de vacío.
3. Cambio de empaques de cámara de vacío.

Para el sistema semestral y anual se consideraron los puntos más complejos para cambiar o reparar, pero que son de suma importancia para el correcto funcionamiento del equipo:

1. Apertura del espectrómetro de masas, limpieza y revisión de todos sus componentes y o-rings.

2. Apertura de las bombas de vacío para remplazar empaques sellos y o-rings, o como se le conoce mejor, kit de mantenimiento anual.

3.1.8 Entrenamientos

Uno de los puntos principales para fortalecer y tener buenos resultados en cualquier tipo de proceso de manufactura, es tener al equipo operativo con el mayor nivel de conocimiento de dicho proceso, para una rápida resolución de fallas y prevención de las mismas en un mayor nivel. En el ámbito de la detección de fugas y las máquinas de prueba, este punto es fundamental, ya que el comportamiento de las lecturas del espectrómetro es el único indicio que se tiene para poder determinar muchas de las fallas potenciales, las cuales por su complejidad es difícil programar al PLC para que las detecte, a la par que dicha tecnología se encarga de medir moléculas de helio las cuales son imposibles de percibir sin algún equipo de detección.

Por todo lo anterior fue indispensable desarrollar un entrenamiento especializado para los equipos de prueba que se tiene en la planta, dicho curso fue dividido en dos secciones, conceptos básicos el cual abarco los siguientes puntos fundamentales:

1. Conocimientos básicos de presión atmosférica, vacío, tecnología de detección de fugas, unidades de medición de vacío y fugas.
2. Tipos de bombas de vacío y sus diferentes capacidades.
3. Explicación de todos los elementos de un detector de helio, así como la importancia de cada uno.
4. Explicación de la correcta calibración diaria del espectrómetro y de la máquina.
5. Exposición paso a paso cada una de las pruebas y tiempos de ciclo de las máquinas de prueba y la mayoría de las fallas comunes de las mismas.

Para el segundo curso fue necesario abarcar la otra parte más específica y con una gran importancia para poder mantener estable el proceso de prueba de fuga, el cual es la explicación detallada del mantenimiento preventivo, previamente desarrollado. He dicho curso se enfatizó en los siguientes puntos:

1. Explicación detallada de la importancia de cada punto del mantenimiento preventivo.
2. Correcto uso de herramienta y componentes.
3. Detección temprana de futuros problemas con los diferentes componentes de la máquina.
4. Tiempos correctos para cambio periódico de diferentes componentes, válvulas, sellos, aceite, etc.

Mediante la implementación de estos dos cursos, los cuales fue necesario impartir en dos módulos por separados y para los 3 turnos de técnicos por su duración de alrededor de 6 horas por curso, fue posible capacitar a los 40 técnicos,(en la figura 3.13 se muestra la capacitación de una parte del personal) con los que cuenta la planta de compresores México y así llevara dicho personal a un nivel de conocimientos más avanzados en las máquinas de detección de fuga y así mantener el proceso más estable y corriendo con una menor cantidad de problemas durante a producción diarios.



Figura 3.13. Entrenamientos en detección de fugas

3.1.9 Reducción de costos de operación MCM

Conforme a la estandarización de las máquinas de prueba de fuga a lo largo de las 4 plantas de compresores, existe una variante que afecta directamente al proceso de detección de fugas, dicha variante es el gas trazador o como mejor se conoce, el gas con el que se realiza la detección de fugas, el cual es el helio. Dicho gas es el mejor para la detección de fugas, ya que en su estructura molecular es el segundo gas con la molécula más pequeña, el número uno es el hidrogeno, pero el principal problema con él es que es altamente explosivo, lo cual hace al helio como la mejor opción ya que es un gas inerte, y a la vez es capaz de poder escabullirse por orificios extremadamente pequeños. El mayor problema con este gas es su escasez en el planeta, ya que sólo es capaz de extraerse del subsuelo, de lugares muy específicos del planeta, dicha escasez y extracción de lugares remotos, provoca que su costo sea muy elevado.

Para poder reducir los costos de operación en las plantas de Hungría y Brasil se compró un equipo para recuperar el helio, el cual con anterioridad se liberaba al medio ambiente, de las máquinas probadoras de fuga, dichos equipos fueron especificados, comprados e instalados en dichas plantas en 2014 y 2017 respectivamente. Como ámbito de estandarizar el proceso de prueba de fugas, en donde también competía el suministro del helio hacia la máquinas 4020, era indispensable comprar un equipo especificado para la planta de México. Colocándonos el mercado actual del costo de helio en México, el cual ha presentado un incremento exponencial por su escasez y por los costos elevados de transportación. El principal distribuidor en la zona norte del país es la empresa Infra, el cual mantiene un contrato con la empresa Mahle para surtir periódicamente dicho gas, pero con ciertos incrementos del costo periódicamente, lo cual fue un factor fundamental para la compra de un equipo que nos ayudará a amortiguar este incremento.

Para iniciar el proyecto fue necesario desglosar por etapas y visualizar el panorama del proyecto, usando la misma metodología previamente usada en los proyectos pasados, pero a una escala más pequeña:

1. Desarrollo de cálculos necesarios para la especificación de la máquina recuperadora de helio, consumos y gastos de los gases.
2. Realización de especificaciones requeridas para la maquinaria y cotización de la misma con diversos proveedores.
3. Elaboración de plan de negocios con cálculos de consumo con y sin el equipo, así como la amortización y recuperación de la inversión del proyecto, para su autorización con la gerencia de la planta.
4. Compra del equipo y realización de plan de instalaciones previas, revisión semanal de la construcción del equipo y validación con proveedor del mismo.
5. Instalación, puesta en marcha del equipo y medición del ahorro.

- **Etapas 1: Cálculos.**

Mediante los 5 pasos anteriores se basó el desarrollo del proyecto para poder realizarse de la forma más estructurada posible. Para el punto 1 en donde radica la fase ingenieril en donde se consiguen los datos como volúmenes del compresor físico, así como el volumen de gas utilizado en cada prueba mediante la ley de Boyle, volúmenes de producción y requerimientos del año 2018 y 2019. Lo cual nos permitió conocer con exactitud los consumos de helio reales y teóricos para poder tener así un panorama más claro del gasto mensual de la planta.

- **Etapas 2: Especificación de equipo.**

Continuando con la parte ingenieril fue necesario el desarrollo de un formato conocido en la planta como "RFQ" o requerimiento para cotización por sus siglas en inglés, en donde se plasmó los requerimientos que necesitaríamos para la máquina, divididos en 3 partes principales:

1. Volúmenes de producción y distancias entre los equipos.

2. Requerimientos del equipo (presiones, tiempos de ciclo, método de operación de la máquina).
3. Especificaciones técnicas (voltajes, componentes de control y prueba, requerimientos especiales de programación).

Mediante estos tres puntos se desarrolló el requerimiento de la maquinaria, para el primer punto se les proporcionó a los proveedores un layout de las dimensiones para presupuestar la capacidad del recuperador mostrado en la figura 3.14. Para el Punto 2 se requirió especificar que la máquina debía de contar con un sistema para poder mezclar el dos gases, los cuales sería el Helio y el Nitrógeno, con el fin de poder reducir aún más el consumo del helio requerido para la prueba de los compresores, además se proporcionaron las especificaciones de los equipos con los que se cuenta en la planta. Par el último punto se especificaron los diferentes componentes requeridos en la planta como forma de estandarización de maquinaria instaladas, como lo fueron marcas de PLC y Panelview (Allen-Bradley), analizador de helio (Thermco), conexiones realizadas en la máquina con componentes de marca Swagelok.

Como parte de requerimientos de cotización, se necesitó contemplar la realización de las tuberías nuevas para interconectar las maquinas al recuperador de helio, las cuales se optaron por comprarse totalmente nuevas y no reutilizar las tuberías actuales y así evitar el riesgo de fugas en el sistema, lo cual nos reduciría los niveles de recuperación de helio y por ende reducción del ahorro de costos. Para esto se mandó una especificación de distancias y requerimientos a diversos proveedores para poder obtener la cotización más conveniente para el proyecto.

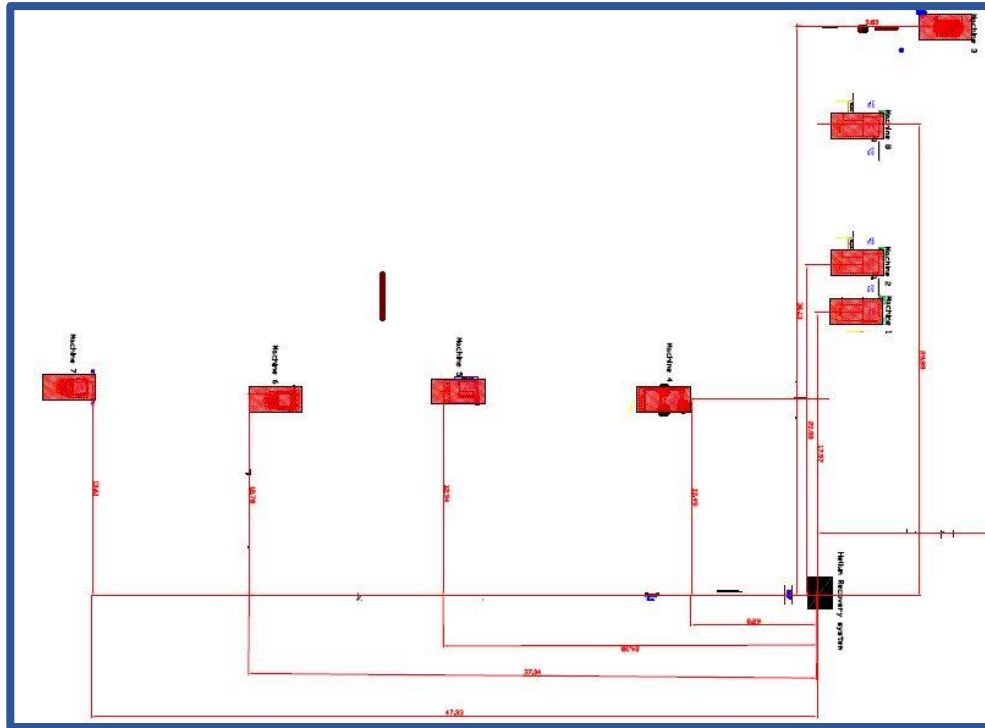


Figura 3.14. Layout con dimensiones de las máquinas de prueba

- **Etap 3: Proyección de ahorro.**

Al momento de recibir las diferentes cotizaciones de todos los proveedores, se valoró cada una de estas y se realizaron conferencias por individual para poder llegar a tener un equipo relativamente similar entre todas sus propuestas, con lo cual se pudo llevar toda la información y valorarla entre sí mediante el formato de la tabla 3.1, en el cual se consideran los aspectos más importantes para poder tomar la decisión de los proveedor elegidos para la realización de la máquina y la instalación de las tuberías a lo largo de toda la planta.

Helium Recovery System						
		Solution Alternatives				
Concept Selection Legend		Importance Rating	Benchmark Option	CTS	HelTech	Inercovamex
Better	+					
Much Better	++					
Same	S					
Worse	-					
Much Worse	--					
Weight	1-3					
Key Criteria						
Experience	3			++	+	-
HRS Delivery	2			+	+	++
Contamination of oil in to the system	2			++	S	S
Cost	3			-	++	+
Local support	3			-	++	++
Maintenance cost	2			-	-	-
Efficiency compressor	2			+	++	S
Use mixer by separate in case of damage	3			+	+	--
Near of supplier	2			S	-	+
Free oil system	2			++	+	S
PLC	2			+	S	S
System dimension	2			+	++	+
Availability of change	3			-	-	++
Warranty	3			S	S	S
Sum of Positives				11	12	9
Sum of Negatives				5	4	5
Sum of Same				2	3	5
Weighted Sum of Positives				25	30	23
Weighted Sum of Negatives				14	9	14
TOTALS				11	21	9

Tabla 3.1. Selección de proveedores

Una vez obtenidos los costos necesarios del proyecto, se unieron todos los datos obtenidos previamente obtenidos, y poder figurar los consumos del año 2018, y los posibles ahorros del 2019 y 2020 con la instalación del recuperador. Para el consumo del helio y el nitrógeno utilizado, en la tabla 3.2, se muestra el pronóstico de gasto de dichos gases para el 2019 considerando el incremento de costo por canastilla, el cual sería de \$2,276.64 USD a \$2,845.80, dándonos como resultado un gasto de \$638,134.2 USD con el consumo del 2019 de estos 2 gases.

Helium Cost (USD) 2019					Nitrogen				
Without Helium Recovery					Without Helium Recovery				
Month	Helium Cylinder Racks Consumption	Year	Total Cost (USD) 2019 Without Helium Recovery	Price of Helium Cylinder Racks	Month	Helium Cylinder Racks Consumption	Year	Total Cost (USD) 2019 Without Helium Recovery	Cylinder number
January	35	2019	\$79,682.40	\$2,276.64	January	42	2019	\$7,560.00	756
February	14		\$31,872.96	\$2,276.64	February	34		\$6,120.00	612
March	19		\$43,256.16	\$2,276.64	March	39		\$7,020.00	702
April	15		\$34,149.60	\$2,276.64	April	33		\$5,940.00	594
May	9		\$20,489.76	\$2,276.64	May	29		\$5,220.00	522
June	18		\$40,979.52	\$2,276.64	June	47		\$8,460.00	846
July	16		\$45,532.80	\$2,845.80	July	32		\$5,760.00	576
August	16		\$45,532.80	\$2,845.80	August	29		\$5,220.00	522
September	19		\$54,070.20	\$2,845.80	September	23		\$4,140.00	414
October	17		\$48,378.60	\$2,845.80	October	25		\$4,500.00	450
November	22		\$62,607.60	\$2,845.80	November	24		\$4,320.00	432
December	21		\$59,761.80	\$2,845.80	December	42		\$7,560.00	756
Total	221		\$566,314.20		Total	399		\$71,820.00	

Tabla 3.2. Costos del consumo de helio y nitrógeno en 2019

Utilizando un factor de recuperación del 75% siendo este el peor de los casos o el número mínimo de recuperación, como se muestra en la tabla 3.3, se tendría un ahorro anual de \$468,205.65 USD por año, el cual sería un valor base, ya que el equipo por especificaciones tiene un porcentaje de recuperación del 90%, por lo cual al ahorro en las condiciones más optimas podría llegar a ser de hasta \$509,682.78 USD. Utilizando el recuperador de helio contra no utilizarlo en cuestión de costo de operación de helio y el nitrógeno. Para la obtención de la recuperación de la inversión inicial, se presupuestó un gasto base del proyecto que sería de \$171,836.88 USD lo cual en base a los cálculos previos nos arrojaría una recuperación de la inversión en 4.4 meses. Lo cual fue otro factor importante en el proceso de aprobación del proyecto.

Helium						Nitrogen				
With Helium Recovery						With Helium Recovery				
Month	Helium Cylinder Racks Consumption	Year	Total Cost (USD) 2019 With Helium Recovery	Price of Helium Cylinder Racks	Saving	Month	Helium Cylinder Racks Consumption	Year	Total Cost (USD) 2019 With Helium Recovery	Saving
January	8.75	2019	\$19,920.60	\$2,276.64	\$59,761.80	January	14.7	2019	\$2,646.00	\$4,914.00
February	3.5		\$7,968.24	\$2,276.64	\$23,904.72	February	13.6		\$2,448.00	\$3,672.00
March	4.75		\$10,814.04	\$2,276.64	\$32,442.12	March	15.6		\$2,808.00	\$4,212.00
April	3.75		\$8,537.40	\$2,276.64	\$25,612.20	April	13.2		\$2,376.00	\$3,564.00
May	2.25		\$5,122.44	\$2,276.64	\$15,367.32	May	11.6		\$2,088.00	\$3,132.00
June	4.5		\$10,244.88	\$2,276.64	\$30,734.64	June	18.8		\$3,384.00	\$5,076.00
July	4		\$11,383.20	\$2,845.80	\$34,149.60	July	12.8		\$2,304.00	\$3,456.00
August	4		\$11,383.20	\$2,845.80	\$34,149.60	August	11.6		\$2,088.00	\$3,132.00
September	4.75		\$13,517.55	\$2,845.80	\$40,552.65	September	9.2		\$1,656.00	\$2,484.00
October	4.25		\$12,094.65	\$2,845.80	\$36,283.95	October	10		\$1,800.00	\$2,700.00
November	5.5		\$15,651.90	\$2,845.80	\$46,955.70	November	9.6		\$1,728.00	\$2,592.00
December	5.25		\$14,940.45	\$2,845.80	\$44,821.35	December	16.8		\$3,024.00	\$4,536.00
Total	55.25		\$141,578.55		\$424,735.65	Total	157.5		\$28,350.00	\$43,470.00

Total Saving Per Year

\$468,205.65

Tabla 3.3. Costos con recuperador de helio

- **Etapas 4: Compra y validación del equipo.**

Una vez obtenido la aprobación de la gerencia y de altos directivos de la empresa, se procedió a las negociaciones con los 2 proveedores seleccionados. Para la elaboración del recuperador de helio se seleccionó a la empresa italiana Hetech, con la cual se renegoció el precio de la cotización original para tener un ahorro extra en el equipo. Una vez puesta la Orden de compra a dichas empresas se fue monitoreando semanalmente a la empresa Hetech mediante conferencias telefónicas y correos, para realizar un seguimiento detallado a la elaboración del equipo, utilizando un plan de actividades para la construcción mostrado en la tabla 3.4.

Para la instalación de las tuberías y energía de la máquina se seleccionó a la empresa americana Mountain Pass, la cual a su vez redujo el costo por salir seleccionada entre las diversas empresas que cotizaron. Dicho proyecto tenía que estar terminado para antes que la máquina estuviera en la planta, para agilizar la puesta en marcha de la misma, por lo que la orden de compra para este proveedor salió a la par con la del recuperador de helio. Para la instalación de la tubería se optó por usar tuberías y conexiones de acero inoxidable marca swagelok la cual

tiene una alta certificación en el sellado y contención de gases en sus componentes, que a la par el acero inoxidable puede mantener muy altas presiones sin sufrir ningún daño. Dicha instalación consistió en instalar la primera parte de las tuberías de los suministros principales de helio y nitrógeno de la planta hasta la posición donde se encontraría posicionado el recuperador de helio, dicha instalación no presento ningún percance ya que la instalación es en su mayoría por fuera de la planta, pero como el recuperador se encontraría en el área de producción por la cercanía que tenía que tener con las 8 máquinas a las que se tenía que conectar , la segunda etapa de instalación se necesitó programar solo los domingos ya que se interfirió en los pasillos de producción, lo cual era un riesgo potencial de seguridad y este día era el que solo uno de los módulos trabajaba. Este retraso en la instalación llevo a alargar la instalación hasta una semana antes que el equipo estuviera en la planta.

Para la validación del recuperador de helio fue necesario presentarse en las instalaciones del proveedor en Milán, Italia. Dicha validación consistió en llevar a cabo un plan de validación en donde se vieron los siguientes puntos:

1. Verificación de diagramas eléctricos, conexiones neumáticas y etiquetado del cableado del equipo.
2. Revisión de la programación del equipo a detalle para conocer su lógica.
3. Detección de fallas potenciales y riesgos de seguridad.
4. Verificación de funcionamiento del equipo, método de operación.
5. Verificación de hermeticidad del sistema.
6. Corrida de validación de 20 horas para verificar algún daño potencial de alguna de las partes del equipo.
7. Revisión de partes críticas, mantenimiento, mensajes y traducciones al español de las pantallas.

- **Etapa 5: Instalación y puesta en marcha.**

La entrega del recuperador de helio en la planta de Mahle compresores México, está programada para el 25 de Noviembre del 2019, lo cual por cuestiones de tiempo al momento de la presentación de este documento la instalación puesta en marcha, validación en planta, medición de la recuperación y el ahorro de helio quedará pendiente para la actualización de este documento una vez concluidas estas actividades.

3.1.10 Nuevo método de calibración

Como solución a varios problemas de calidad del producto y reducción de tiempos muertos se implementó un nuevo método de calibración a las máquinas de prueba. El método antiguo de calibración consistía en utilizar una botella calibrada, la cual es certificada anualmente por proveedores externos a la planta, la cual tiene un valor fijo de taza fuga la cual se utiliza como un valor conocido, dicho valor debe ser leído correctamente por la máquina de prueba de fugas y así certificar que la máquina está leyendo correctamente, después de este procedimiento se ponía a prueba una pieza normal de producción para que el sistema la rechazara, dicha pieza era manipulada en alguna de las uniones para hacer que dicha pieza fugara, pero sin conocer con exactitud su valor de fuga, ya que la manipulación podría hacer que la pieza fugara mucho o poco, o en el peor de los casos que a la vez era el más cotidiano en el proceso en donde dicha pieza se tapaba por diferentes motivos. Este proceso presentaba mucha pérdida de tiempo ya que cuando las piezas máster presentaban algún problema la producción se tenía que parar hasta que este problema se solucionara por que se ponía en duda las lecturas de las máquinas, anexado a este problema se llegaron a presentar problemas ajenos por malas calibraciones de máquina por parte de técnicos mal entrenados.

Para la solución de este problema se implementó inicialmente en la planta de México el uso de un nuevo método de calibración, el cual después se implementaría en las demás plantas. Este método consistió en eliminar la pieza master que tantos problemas ocasionaba, y suplantarla con una botella calibrada

como botella de verificación, con lo que la máquina contaría con 2 botellas, la primera que era para calibrar la máquina y la segunda para verificar la correcta calibración, las dos botellas presentaban valores de taza de fuga, lo que nos podría ayudar a saber si se realizó correctamente la calibración ya que al momento de que la máquina era capaz de diferenciarlas, nos daba como resultado una buena calibración de la máquina con una buena discriminación y lectura de la misma. Anexo a esta incorporación de la botella calibrada fue necesario realizar modificaciones en el PLC, ya que esta verificación se hizo de forma automatizada para eliminar cualquier tipo de manipulación de las botellas. Para la programación fue necesario agregar una lógica en la que al momento de acabar la calibración de la máquinas, solo se tenía que seleccionar en la pantalla la verificación de la máquina y después presionar un botón de inicio de ciclo, este proceso es un procedimiento que no se podía pasar de alto ya que la máquina no podría correr producción normal si no se hacían estos pasos en este mismo orden, esta lógica es descrita de forma más visual en la figura 3.16 en donde se muestra la sección del plc en donde podemos ver esta modificación a la lógica.

Por último, la máquina abriría una válvula nueva integrada al sistema de vacío para poder permitir que el espectrómetro leyera dicha botella, la cual si por algún problema de máquina o factor humano la misma máquina sería autónoma y detectar este problema lo cual le pedirá hacer nuevamente la calibración de la máquina empezando el procedimiento desde cero hasta que la misma máquina no encuentre ningún problema y acepte proceso. En la figura 3.17 se muestra la integración en uno de los módulos con la incorporación de esta nueva estructura. Con este cambio se eliminó el problema tan recurrente de tiempos muertos de la máquina por piezas máster tapadas y se incrementó la confiabilidad en la calibración de la máquina.

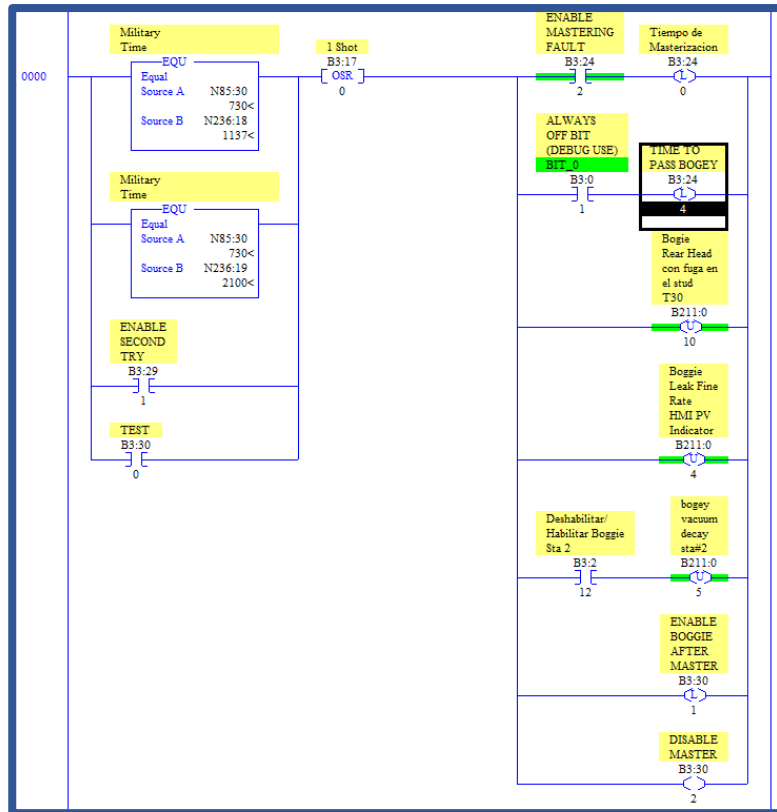


Figura 3.16. Lógica de nueva botella de calibración



Figura 3.17. Sistema con implementación de nueva botella de verificación

3.1.11 Implementación de prueba para ‘Creeping Leaks’

Como estandarización en las pruebas realizadas en las demás plantas, se implementó una mejora con la que la planta de México no contaba, dicha modificación fue la implementación de un tipo de prueba anexada a la lógica del programa de PLC de las máquinas de prueba, la cual tiene como finalidad detectar fugas crecientes o como se les conoce creeping leaks, estas fugas son compresores que al momento de probarse tienen un valor aceptable de tasa de fuga durante los 8 segundos de prueba, pero sí dio tiempo de ciclo se extendiera, sería una fuga, por lo cual se anexo a la lógica una prueba numérica durante la prueba de fugas. En dicha modificación, se toma el valor al momento de abrir la válvula de prueba y se le suma un 5 por ciento a este valor, cuando ya se encuentre cargado con helio el compresor, después del primer segundo de prueba se toma un segundo valor y se compara con el primer valor, si este segundo valor excede el porcentaje extra del primer número se contabiliza un 1 en la memoria, este procedimiento de cálculos se continua haciendo durante los 8 segundos de prueba y si la memoria de conteos negativos llega a 3, lo que nos diría que durante la prueba el valor se fue incrementando en el tiempo de prueba y nos arroja un probable indicio de tener una fuga creciente lo que nos hace desechar dicha pieza y evitar problemas futuros. Esta implementación fue de gran utilidad para eliminar este posible problema y evitar un futura queja de cliente por problemas de fugas en compresores.

3.1.12 Implementación de espectrómetros nuevos

Un factor indispensable para poder tener una confiabilidad de detección de fugas alto es contar con los instrumentos de medición más actualizados en tecnología y con el mejor desempeño durante la producción diaria. En el mercado actual existen varas empresas que desarrollan espectrómetros de masas para detección de fugas de los cuales destacan empresas como Inficom, Pfeiffer, Ulvac y VIC, los cuales día a día se encargan de mejorar sus equipos detectores de fugas. Este punto anterior fue crucial en el desempeño de los equipos de prueba a lo largo de las diferentes plantas de Mahle ya que desde el año 2008 todas las plantas de Mahle

compresores contaban con un espectrómetro de masas que para ese tiempo era el más actual y daba un excelente desempeño, con su correcto mantenimiento, durante un largo tiempo, dicho espectrómetro era el ASI 20 de la marca Pfeiffer. Dicho espectrómetro trabajo sin muchos problemas a lo largo de todos estos años, pero al igual que todas las tecnologías, se siguió desarrollando y los diferentes proveedores sacaron modelos más actualizados y con mejores características para ayudar a la detección de fugas, anexado a esto los proveedores dejaron de producir partes de repuesto y refacciones para los espectrómetros de masas ASI 20, lo cual llevo a la empresa Mahle a comenzar a actualizar todos estos equipos de prueba.

Para esta actualización de espectrómetros fue necesario buscar en el mercado el nuevo remplazo de dichos espectrómetros, el cual, por costos y características, se tomó la decisión de seguir con la compañía Pfeiffer y comprar el nuevo espectrómetro ASI 35, el cual contaba con las siguientes mejoras:

- Una turbobomba en lugar de una MDP, la cual generó un incremento en la velocidad de detección.
- Incremento de la duración de sus filamento de 4 a 5 meses que normalmente duraba cada filamento a 2 años.
- Menor mantenimiento requerido.
- Pantalla táctil con la capacidad de cambiar parámetros, grabar gráficas, monitorear de una mejor forma el equipo.
- Recuperación después de una fuga gruesa.

Una vez decidido el equipo que se iba a comprar se comenzó a negociar con los proveedores autorizados en México de la empresa Pfeiffer, ya que ellos no cuentan con un distribuidor directo en México, sino que se encargan de triangular con la empresa Intercovamex la cual son especialistas en detección de fugas y tecnologías de alto vacío , para poder comenzar a adquirir los equipos para la

planta de México la cual presentaba un mayor deterioro en los equipos de prueba por varios años de mal mantenimiento así como la falta de capacitación de los técnicos en dicha tecnologías. Intercovamex nos hizo una oferta de \$19,500.00 USD por espectrómetros de masas y sus aditamentos necesarios para el cambio de equipos por los antiguos. Dicha inversión de alrededor de \$100,000.00 USD para poder remplazar los 4 espectrómetros ASI 20 y contar con un espectrómetro de repuesto se realizó a inicios del 2018 siendo punta de flecha MCM seguidos por MCH y después MCB y MCC.

Al momento de recibir los equipos y realizar una instalación fue necesario recabar la información necesaria para la integración del nuevo espectrómetro para cada una de las 4 líneas. Se comenzó con módulo 1 el cual fue necesario rastrear cada una de las entradas y salidas del PLC hacia el CPU del dispositivo, dichas señales constaban de salidas análogas y salidas binarias del espectrómetro, las cuales podían hacer capaz la comunicación entre estos dos componentes, una vez identificadas las señales tanto como las direcciones en el programa como el cable físico que salía del PLC al espectrómetro antiguo. Continuando con la instalación del nuevo espectrómetro, el cual está diseñado para evitar muchas complicaciones para el intercambio de una versión más antigua, una vez instalado y posicionado los nuevos componentes del ASI 35 en la máquina fue necesario realizar la interconexión con los cables previamente identificados, se procedió a realizar los requerimientos de programación como lo fue el escalamiento de las señales análogas del espectrómetro las cuales transfieren el valor de fuga que este dispositivo está leyendo hacia la máquina y la revisión y configuración de las señales provenientes del ASI 35 para poder decirle a la máquina el estado de operación o si presentaba alguna falla este equipo.

Terminando con la validación de la instalación con una serie de calibraciones y corrida de varias piezas para verificar la correcta instalación mostrada en la figura 3.18.



Figura 3.18. Espectrómetro ASI20 (antiguo) vs espectrómetro ASI35 (nuevo modelo)

Una vez validado durante producción el equipo, se procedió a realizar la misma instalación los tres módulos restantes, el quinto modulo por ser el más nuevo ya contaba con este nuevo detector, por lo cual no necesito ningún cambio. Una vez terminado las integraciones en los demás módulos se compartió la información con la planta de Hungría, la cual ya solo estaba esperando la entrega de 2 espectrómetros para dos de sus líneas, para que fueran capaces de instalarlos sin ningún percance. Dichos equipos fueron instalados en Septiembre de 2018, y se procedió realizar la compra de los 2 restantes para Julio de 2019 por los costos elevados de la inversión. Estos cambios trajeron varias mejoras tanto en tiempos de ciclo como en reducción de tiempos muertos por reparaciones o fallas imprevistas, tanto para todos los módulos de la planta de México, como para los módulos actualizados de la planta de Hungría, de igual forma se eliminó el riesgo latente de parar las líneas de producción por falta de refacciones para estos equipos. Por cuestiones de negocio y manejo de capital, la empresa decidió invertir en la planta de Brasil con sus tres líneas para el primer trimestre del 2020, al igual que la planta de China la cual a pesar de tener 3 líneas solo una de ellas cuenta con un espectrómetro viejo ya que las otras dos líneas son relativamente nuevas con no más de 2 años de antigüedad.

3.1.13 . Nuevo sistema de medición de vacío

Para continuar con la implementación de correctos componentes las máquinas de prueba se seleccionó un pirani, el cual hace la tarea de censar el vacío de una cámara, pero con una mayor resolución que los sensores de vacío que por muchos años se usaron en la empresa. Dicho componente tiene las capacidades necesarias de censar la gran cantidad de vacío producido en la máquinas, sin interrupción u oscilaciones, a diferencia de los sensores. Este componente ayudaría a evitar una gran cantidad de problemas ocasionados por la apertura en tiempos incorrectos de la válvula de detección de helio, la cual tiene que ser abierta siempre por debajo de $5E-2$ torr, ya que, si esto no se hace de esta forma, el espectrómetro puede tener un mal desempeño de su actividad o en el peor de los casos dañar dicho equipo . Este sensor tuvo un costo de \$350 USD lo cual debe de solucionar muchos problemas futuros o ahorrar costos de reparaciones innecesarias de equipos, el cual se muestra en la figura 3.19.



Figura 3.19. Pirani Pfeiffer TPR 280

3.2 Mahle Compresores Brasil

La segunda planta con la mejor estabilidad en sus procesos es la planta localizada en la ciudad de Jaguariuna, Brasil, teniendo sus números de tiempos muertos por máquina en un promedio 3 horas mensuales provenientes de sus probadoras de fuga, por lo que este factor no fue muy relevante para poder trabajar, la base para ahorro de costos con la compra de los recuperadores de helio fue tomada de un proyecto realizado en 2017 con la compra de su recuperador de helio para la planta. Lo que requirió suma atención fueron sus problemas en rechazos de equipo, se llevó acabo la implementación de recuperadores de helio y a la par la unificación de componentes.

3.2.1 Reducción de piezas rechazadas MCB

Para julio de 2018 la planta de compresores localizada en Brasil presentaba una gran cantidad de rechazos diarios provenientes de la máquinas de prueba, dichos rechazos tenían el patrón que presenta la planta de México, a diferencia que el proceso en dicha planta era unos de los más estables, enfatizando en los controles tanto en mantenimientos como en estandarización de sus equipos, a la par de la disciplina y alto conocimiento en los equipos de prueba, el principal problema deo en radicar en aspectos más generales de la máquina, y se comenzó a enfatizar en los detalles más específicos. Realizando una revisión de todos los aspectos que entraban en contacto directo con el compresor al momento de la prueba ya que previamente se había descartado cualquiera de los ámbitos del proceso o el funcionamiento de la máquina los cuales presentaban mayor problema en la planta de México.

Comenzando con la revisión de las fixturas, pero a un nivel más específico, ya que dichas fixturas están sometidas a un mantenimiento semanal riguroso, refiriéndonos principalmente a los puertos de prueba con los que tienen contacto los O-rings de sellado que mantienen el gas dentro del compresor durante toda la prueba, se percató que las dimensiones de dicho conector presentaban un par de diferencias con respecto a los puertos utilizado por los clientes. En el proceso se

usan los o-rings exactamente iguales a los que el cliente utiliza, pero el conector que se utiliza en la planta presentaba dimensiones más reducidas, lo que afectaba directamente con el sellado de los puertos y el compresor, en la figura 3.20 se muestra que las dimensiones donde se coloca el o-ring se modificó de 1.5 mm a 1.10 mm hasta 1.15 mm lo que permitió que el área de contacto con el compresor fuera mayor así como la compresión del mismo.

Como método de estandarización a lo largo de las 4 plantas, se estandarizaron los puertos de conexión de las fixturas de prueba en un material que no afectara la integridad del compresor, el cual se optó por ser un plástico con la suficiente dureza para evitar cambios constantes, dicho material fue el delring mostrado en la figura 3.21. Para estos cambios dimensionales y de material, los cuales beneficiaría tanto en la reducción de rechazos como en la confiabilidad de no mandar piezas con posibles rallones que pudieran provocar fugas con las conexiones del cliente.

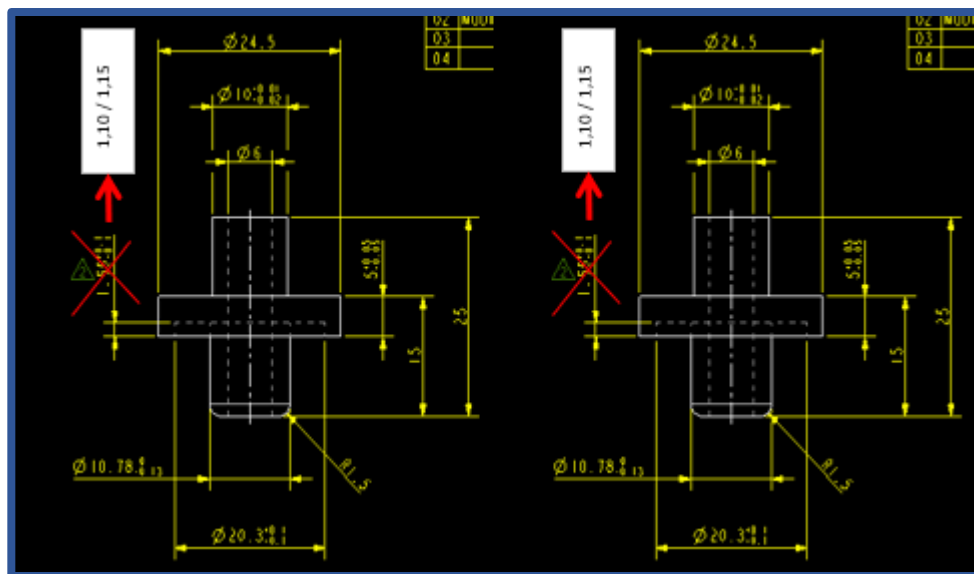


Figura 3.20. Modificaciones en conector de prueba.

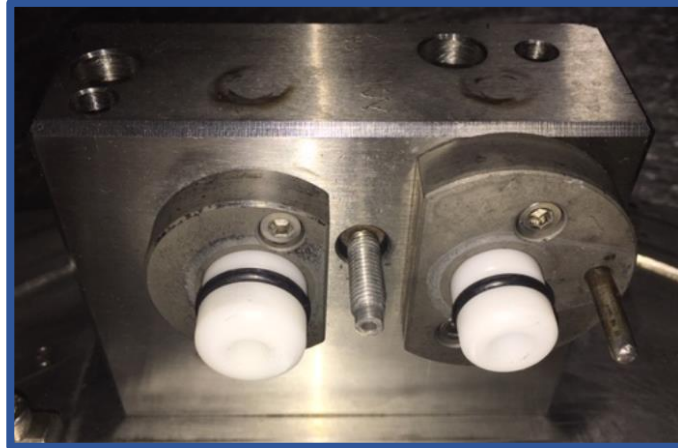


Figura 3.21. Puertos de prueba maquinados en delring.

3.2.2 Doble ciclo

Como segundo proyecto elaborado en la planta de Brasil para la reducción de rechazos, así como para la estandarización del proceso de prueba a lo largo de las 4 plantas de compresores, se implemente una sección del proceso de la planta de Hungría, el cual se conoce como doble ciclo. Este proceso de doble ciclo se estandarizó y se aprobó para ser implementado en las plantas de compresores, continuando con Brasil después de Hungría. Dicha implementación requirió modificaciones en el sistema de rastreo de la planta para poder permitir que una pieza que fue rechazada en alguna de las fixturas de la máquina de prueba pueda ser probada una segunda vez en cualquiera de las 3 fixturas restantes, al igual que la capacitación de los operadores y técnicos de la planta para este nuevo cambio y modificaciones en los documentos de control de proceso de la planta. Lo cual se tomó como guía el diagrama de flujo desarrollado para todas las plantas de la figura 3.10 en donde estandariza el proceso de doble ciclo para todas las plantas y así evitar una alteración en el proceso estándar.

3.2.3 Protector de espectrómetro de masas

Uno de los factores importantes para asegurar e incrementar la fiabilidad de los equipos de prueba es el empleo de componentes adecuados y de alta tecnología para la protección y correcto funcionamiento de las máquinas de prueba. La

primera implementación necesaria para proteger dichos equipos fue basada en uno de los requerimientos primordiales por lo que dichas máquinas habían sufrido mayor daño, ya que en China se sufrió 2 incidentes, México 2 y Hungría 1, el cual fue la contaminación de aceite en dicho equipo. El diseño de fabricante que compone a un espectrómetro de masas es una turbobomba, celda analizadora lo cual se conoce como espectrómetro y un segundo aditamento que es una bomba de vacío exclusiva para el espectrómetro, el cual es indispensable para su funcionamiento.

Este problema de contaminación en el espectrómetro recae al momento que se sufre algún corte de energía en la planta, algún daño en dicha bomba de vacío o un incorrecto procedimiento de apagado del equipo, lo que conlleva a que la bomba de vacío pueda apagarse primero o al mismo tiempo que el detector, ocasionando que el espectrómetro siguiera funcionando por lo que ocasionaba que en dicho sistema tuviera vacío y tenía como consecuencia succionar el aceite de la bomba hacia el detector hasta dejarlo inservible o con daño costosos de reparar, este problema ocurrió en repetidas ocasiones en las diversas plantas lo que cada reparación oscilaba entre los diez mil a quince mil dólares. Para esto se diseñó un nuevo flujo y se implementaron dos nuevos componentes, el primero fue una válvula de alto vacío mostrada en la figura 3.22, normalmente cerrada en medio del espectrómetro y la bomba de vacío la cual cerraría al momento de tener un corte de energía o incorrecto procedimiento de apagado y así evitar este problema. Anexado a esto se implementó un aditamento para monitorear la fase eléctrica de la bomba de vacío mostrado en la figura 3.23, el cual al momento de percatarse que la bomba sufrió algún daño o se detuvo, este mandaría una señal al PLC el cual cerraría automáticamente la válvula. Para este cambio se compró los 2 componentes a implementar para todos los módulos de todas las plantas, lo cual tuvo un costo en total de cinco mil dólares por planta, lo cual ahorraría una la

reparación tan costosa del equipo o en el peor de los casos incumplir con envíos a clientes por paro de líneas de producción.

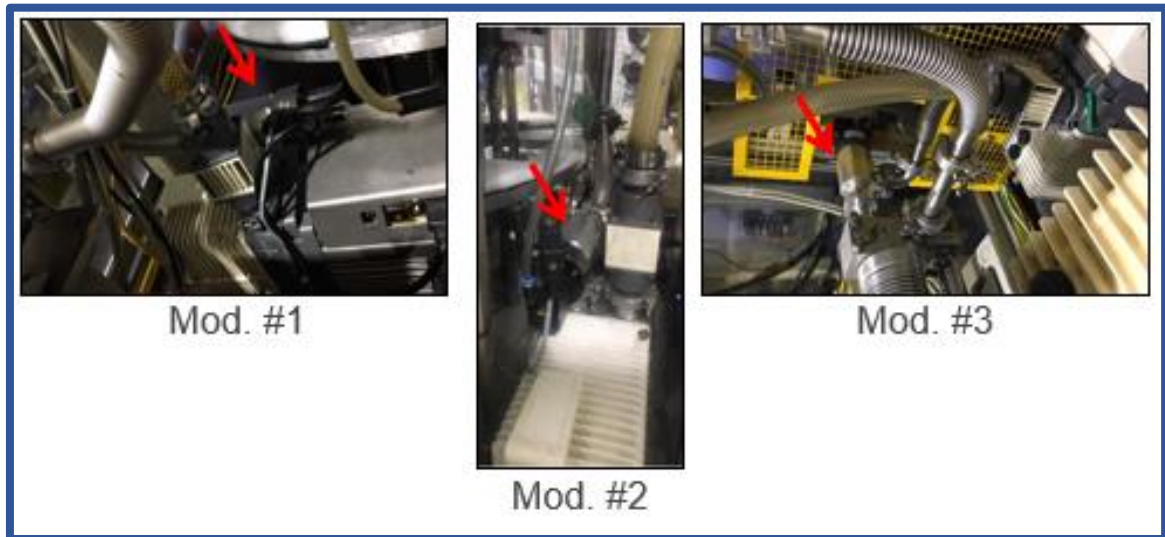


Figura 3.22. Válvulas de protección para los 3 módulos MCB



Figura 3.23. Monitor de fase eléctrica

3.3 Mahle Compresores Hungría

En base a lo descrito previamente en el documento, la planta de Mahle Compresores Hungría es la más estable en lo que al proceso corresponde, lo que la convirtió en la base para la estandarización de las demás plantas, para la metodología aplicada a las demás plantas fue tomada en gran parte de esta misma planta por lo que la mayoría de los aspectos de esta no se ven implicados en MCH, comenzando por la sección de rechazos de equipos ya que esta planta presenta

un porcentaje de rechazo de 0.2%, para la parte de reducción de costos de operación de igual forma ya se cuenta con un recuperador de helio, ahorrándoles una cantidad promedio de \$300,000.00USD por sus 4 líneas de producción y sus niveles de producción menores a los de MCM, para la unificación de componentes se comenzó con un plan de compra para todos los componentes propuestos como base de las demás plantas (espectrómetro de masas, pirani, protección de espectrómetros) en Inicios de 2020 por problemas internos en la planta. Para la mejora del procesos de esta planta se realizó solo una sección proveniente de reducción de rechazos que fue más inclinada a aplicarse en la reducción de tiempos muertos, la cual es la rastreabilidad de fixturas.

3.3.1 Reducción de Tiempos Muertos MCH

Teniendo como la planta base a Mahle Compresores Hungría para la estandarización global ya que sus números en rechazos y en estabilidad del proceso son los mejores, presentaban un problema recurrente el cual era una gran cantidad de tiempo muerto proveniente de sus máquinas de prueba de fuga, ya que la mayor cantidad de este tiempo se podía atribuir a una gran cantidad de piezas con doble ciclo, que al final del día no se contaba como en el métrico de rechazos pero si en el de tiempos muertos. Para esta problemática se decidió implementar la mejora iniciada en la planta de México. La cual es el rastreo de fixturas con daños. Esta mejora tomo la base de lo realizado en la planta de México y Brasil que es contabilizar los rechazos repetidos provenientes de la misma fixtura y así determinar su buen funcionamiento. La variante que su proceso presentaba era que las máquinas de Hungría no tenían fixturas fijas para la máquina como lo presentan las demás plantas, sino que tenía alrededor de 8 bloques de prueba por máquina. Dicho bloque es colocado en el compresor antes de situarla para ser probada en la máquina. Al igual que las demás plantas, tenían problema recurrente al no tener un rastreo de bloques y no saber cuál presenta algún problema, porque se implementó un sistema de rastreo por RFID. A cada uno de los bloque de prueba se les implemento una etiqueta RFID mostrada en la figura 3.24, con lo que es posible ser leída con un lector, así darle un código en el PLC a cada bloque y así

cuantificar sus rechazos para poder bloquear el uso de uno de estos bloques hasta que fuese reparado por algún técnico. Este sistema de mucha utilidad para reducir tiempos muertos y eliminar el exceso de doble ciclos por este problema.



Figura 3.24. Sistema de rastreo de fixturas con RFID

3.4 Mahle Compresores China

La planta de compresores ubicada en china se encontraba en el segundo puesto de estandarización por debajo de Hungría ya que la planta fue especificada en sus inicios a base de las maquinarias y los proceso implementados en la planta de Hungría, lo que la llevo a tener una gran similitud hasta la actualidad, por lo que la metodología no fue aplicada al 100%, simplemente se tomaron los puntos en los que difieren ya que en la estandarización en un inicio china contaba con un 65%.

3.4.1 Implementación de fixturas de prueba nuevas

Uno de los principales problemas que tenía la planta de china era la problemática con falsos rechazo, el cual era uno de los principales precursores de disminuir la salida de piezas para embarcar a clientes, lo cual a su vez ocasiona problemas directamente a la planta, por que al momento de aplicar la metodología propuesta se comenzó a descartar los puntos relevantes para la resolución de esta problemática, comenzando con la revisión y estandarización de puertos de prueba, el cual no presentaban ningún problema por estar a concorde con los estándares de sus clientes y la unificación en sus dos líneas de producción, continuando con

los mantenimientos preventivos a fixturas que de igual forma se contaba con una buena estructura y rutina de mantenimientos para estos componentes lo que llevo a una tercera opción que fue la implementación de fixturas nuevas para su línea con la mayor cantidad de rechazos.

Para la línea 2 de producción, que se encargaba de manufacturar compresores especialmente para Honda y GM con la que se contaba con bloques de carga no con fixturas, la principal diferencia entre estos dos es que los bloques se atornillaban en el compresor y después se colocaba en una fixtura en la máquina, lo cual presentaba uniones y sellos innecesarios ya que se podía utilizar solo una fixtura de prueba y eliminar los bloque de prueba, lo cual llevo a realizar modificaciones en la máquina mostradas en la figura 3.25, donde fue necesario un rediseño interno de la cámara de prueba comenzando con la eliminación del pistón que sujetaba a los bloques de carga, continuando con la ampliación de los puertos de evacuación de las bombas de vacío lo cual beneficiaria a la par en la reducción de tiempos de ciclos de la máquina. Continuando con esta mejora fue necesario la compra de fixturas de prueba nuevas, las cuales suplantarían a los bloques de carga mostrada en la figura 3.26, las cuales tuvieron como fin robustecer la prueba de fugas. Esta modificación fue implementada con excelentes resultados ya que se logró reducir el tiempo de ciclo de la máquina en un 7% ya que se eliminó el paso del ensamble del bloque de carga y se redujo el porcentaje de rechazos provenientes de la máquina probadora de flujo.

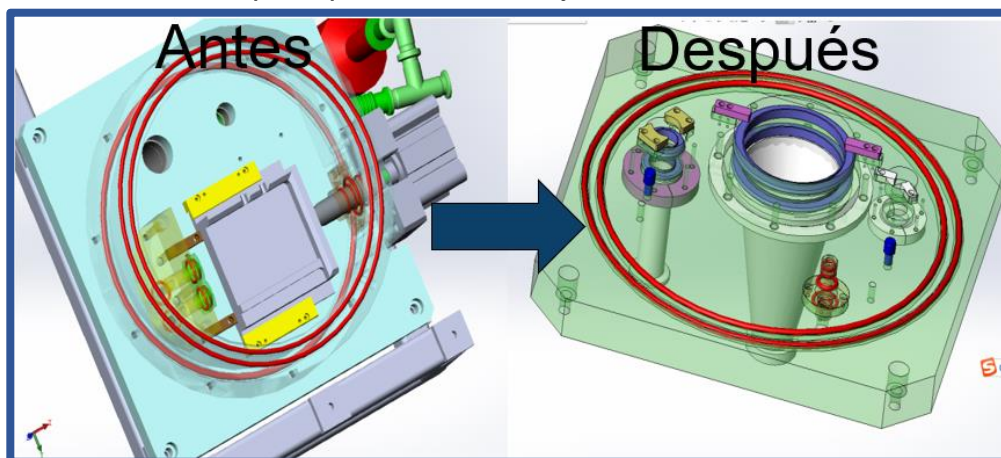


Figura 3.25. Diseño previo y actual de cámara de vacío

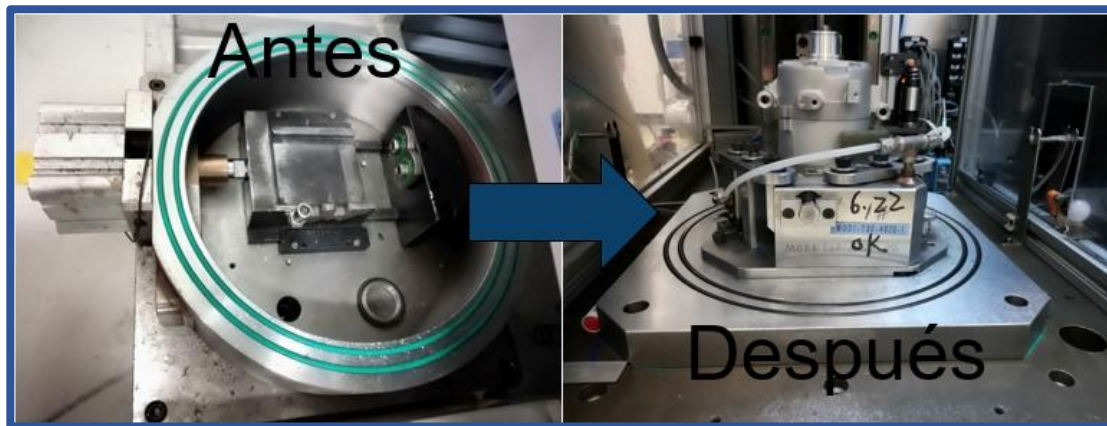


Figura 3.26. Diseño final de fixturas de prueba

3.4.2 Cambio en la forma de calibración

Para proceder con la estandarización del método de calibración y poder incrementar la confiabilidad en la máquinas de prueba, se comenzó con las modificaciones necesarias en el sistema, lo cual involucraba la realización de la modificación en la lógica del PLC, ya el nuevo proceso de calibración constaría en calibrar la máquina con una botella de calibración con un valor sobre el valor de rechazo de la máquina, procediendo a realizar un nuevo ciclo automático en el que la máquina simularía probar una pieza sin tener nada dentro de la cámara de prueba y solo abriendo una válvula previamente instalada la cual está conectada a una segunda botella de calibración con un valor a la mitad del rango de aceptación lo que certificaría a la máquina que es totalmente capas de discriminar entre piezas. Todas estas modificaciones se implementaron, al igual que las válvulas y botellas de calibración y así poder tener una mayor confianza en que las probadoras de fugas podrían discriminar de forma certera entre compresores con una fuga y compresores buenos para embarcar al cliente.

3.4.3 Protección de espectrómetros

Continuando con la unificación de componentes, la principal modificación que era de suma importancia y urgencia era la protección de los espectrómetros de masas.

A inicios de enero del 2019 se presentaron dos eventos de paro de máquinas lo cual trajo varios problemas de producción ya que en el primer evento se paró una de las líneas 18 horas y el segundo evento 15 horas. Dichos eventos tuvieron la misma causa, la contaminación de aceite dentro de los espectrómetros de prueba. Estos problemas ocasiono el estropeo de uno de los equipos de prueba la cual su reparación tuvo un costo de \$15,000.00 USD y el segundo el cambio de componentes con un costo de \$10,000.00 USD, dichos costos de reparación y las perdidas por las piezas que no se produjeron durante los paros de máquina, pudieron ser evitados mediante la protección de los equipos de prueba.

Para proteger los equipos de prueba se implementó un sistema de válvulas mostradas en la figura 3.27 que se encargarían de evitar el paso del aceite hacia el espectrómetro de masas por motivos de un mal manejo en el apagado del equipo o algún problema en el suministro principal de energía de la planta, esta protección a su vez fue validada e implementada en las demás plantas lo llevo a la planta de china a no volver a presentar problemas con sus equipos de prueba.

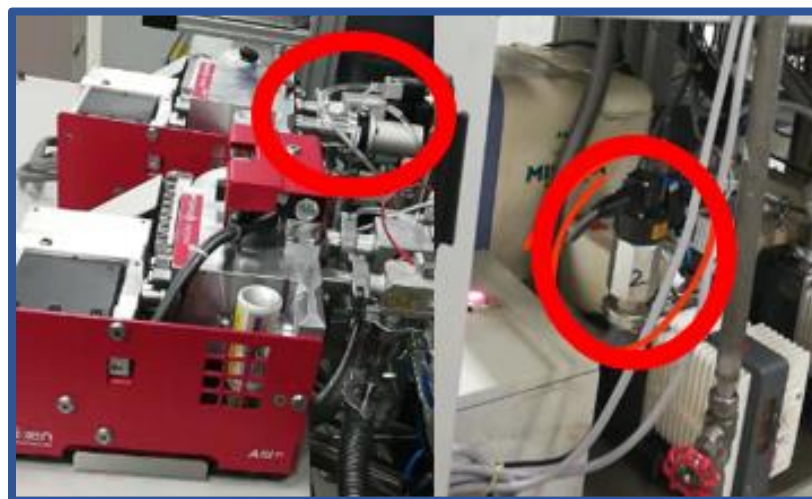


Figura 3.27. Válvula de protección de espectrómetro

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Reducción de rechazos

Uno de los objetivos principales por la que fue necesaria la estandarización de la prueba de fugas a lo largo de las 4 plantas de Mahle Compresores, fue la cantidad de rechazos tan elevados provenientes de la operación de prueba de fugas, a su vez dicho problema tiene dos repercusiones en la unidad de negocio de la empresa, el primero era reducir la salida de la producción diaria ya que por cada rechazo proveniente de la estación de prueba era un compresor menos a embarcar, lo cual afectaba a su vez directamente a los números de FTQ que es el porcentaje de piezas buena producidas. Al inicio del proyecto la planta de México tenía un rechazo promedio de 2.98% de sus 5 líneas de producción , el cual por medio de la metodología implementada se logró reducir al 1.58%, la cual se muestra en la figura 4.1. Este porcentaje está presupuestado a tener una reducción hasta el 0.75% al momento de ser implementado la última etapa de la estandarización que era el doble ciclo, el cual entraría en vigor a inicio de Diciembre del 2019 al tener la aprobación del cliente.

Para la segunda planta con los números elevados en rechazos provenientes de máquinas probadoras de fugas, que a la vez era la posición número uno de todos sus modos de fallas y que afectaban a la par de forma negativa los números FTQ, el porcentaje era de 3.23% mensual por sus tres líneas de producción, que a su vez al emplear las mejoras, modificaciones y estandarización del proceso, el porcentaje mensual se redujo a 0.84% el cual tuvo un impacto muy importante tanto en la salida de piezas producidas diaria y la reducción de gastos innecesarios para la planta, dicha reducción se muestra en la figura 4.2..

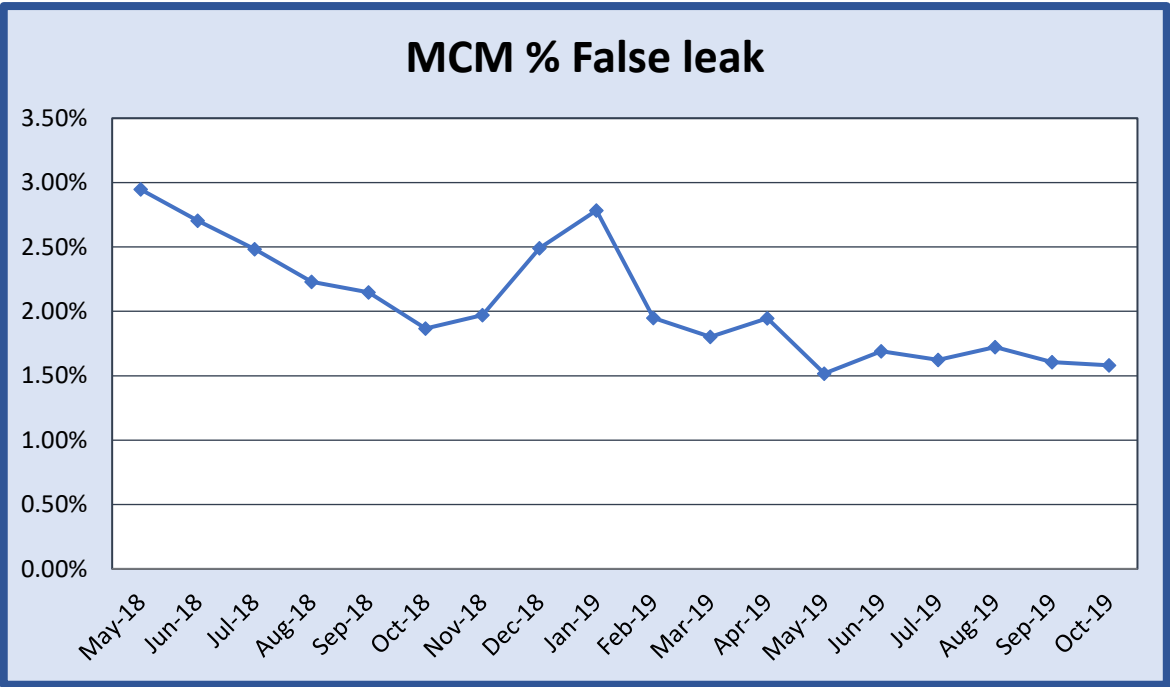


Figura 4.1. Reducción de rechazos MCM

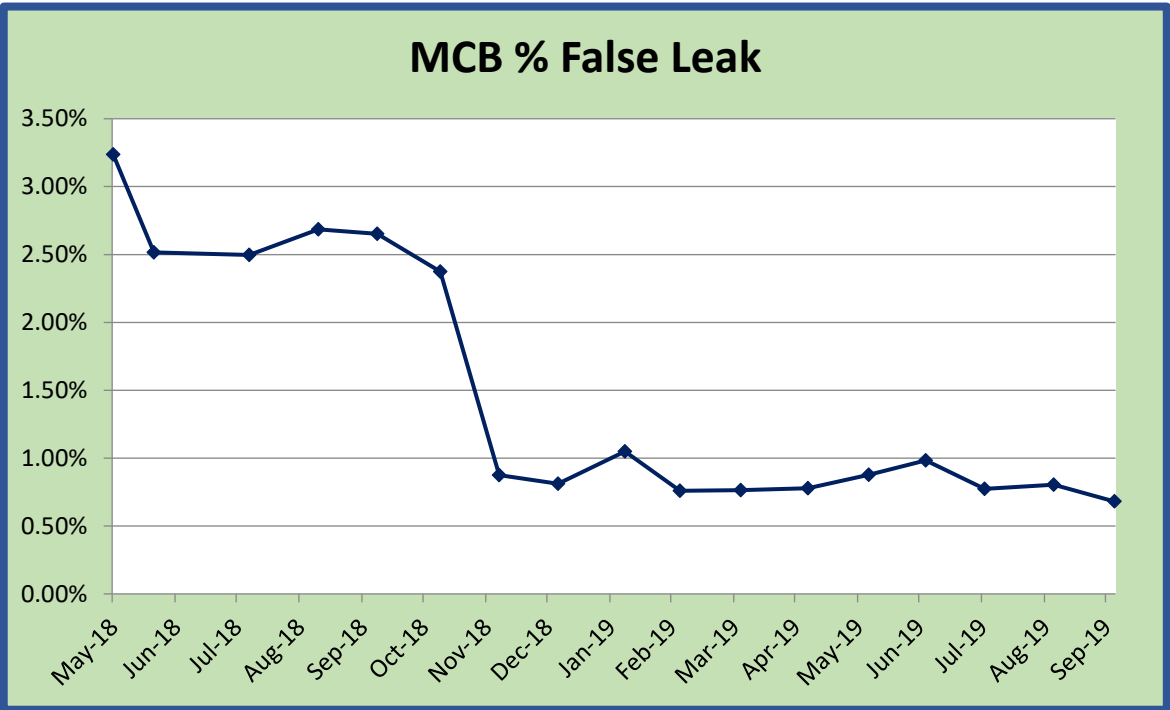


Figura 4.2. Reducción de rechazos MCB

4.2 Reducción de tiempos muertos de maquinaria

Uno de los factores principales por los cual se puede ver afectada directamente la producción diaria de cualquier industria manufacturera es indiscutiblemente los paro de alguna de sus máquinas o como se conoce comúnmente tiempos puertos. Dicho problema era uno de los principales causantes del bajo número en la producción diaria, que para la planta de México, uno de sus principales contribuyentes a este contratiempo eran las máquinas de prueba de fuga, que al inicio del proyecto el promedio de tiempo muerto era de 85 horas de las 5 líneas de producción, que al momento de comenzar a trabajar con la estandarización del proceso, entrenamientos del personal y mejoras de los equipos, se logró reducir dicho número a 20 horas mensuales en promedio como se muestra en la figura 4.3, que en porcentaje representaba a una reducción del 78.82% lo cual tuvo un impacto directo a las metas de producción diaria.

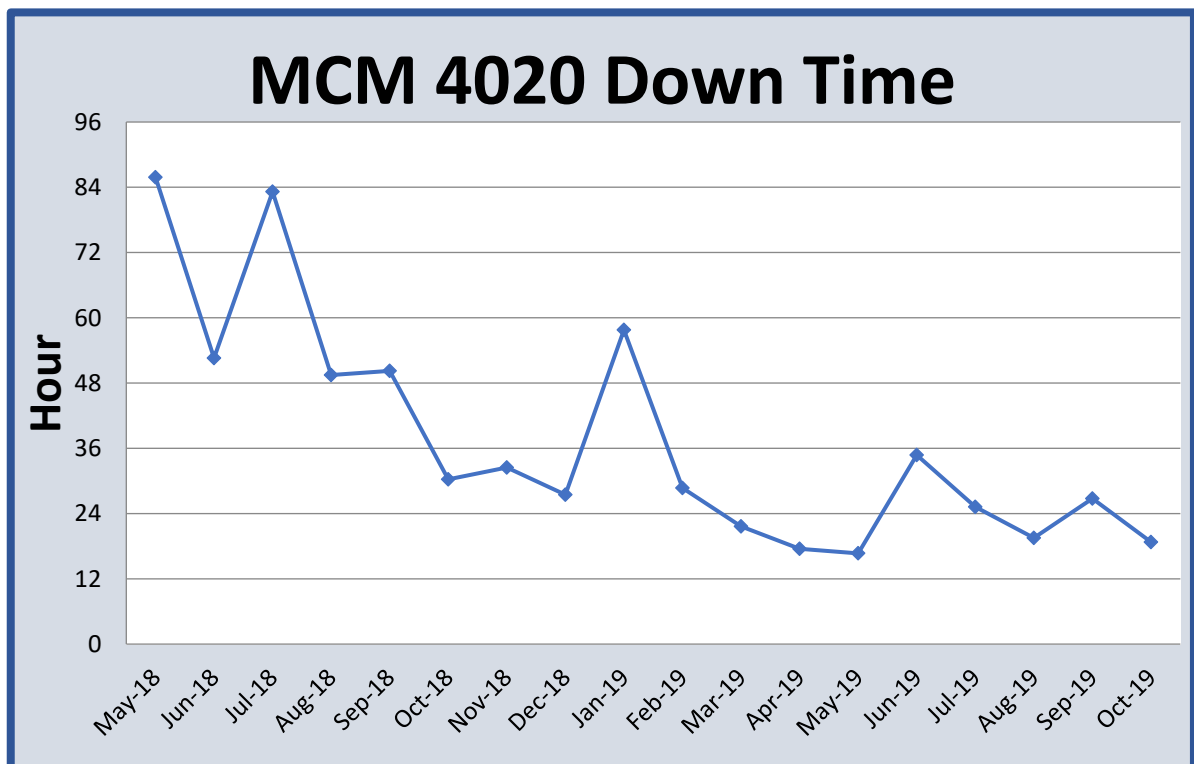


Figura 4.3. Reducción de tiempo muerto MCM

La planta de Mahle Compresores Hungría, a pesar de ser la base para la estandarización global, presentaba ciertos problemas alarmantes en tiempos muertos provenientes de las máquinas de prueba, lo cual perjudicaba directamente a la salida diaria de la producción. Dichos problemas eran atribuidos en un su totalidad a los problemas de la gran cantidad de rechazos. Mediante el proyecto implementado con enfoque al rastreo de fixturas, el cual fue implementado en primer instancia en la planta de México, se lograron reducir estos rechazos ya que el 80% de estos eran ocasionados por probar compresores con fixturas con algún tipo de daño, a inicios del proyecto se tenía un promedio de 20 horas en promedio del tiempo muerto de la planta proveniente de las 4020 entre sus 4 líneas de producción, el cual se logró reducir a 6.5 horas en promedio como se muestra en la figura 4.4. Esto permitió retirar a las máquinas de prueba de los primeros lugares de los métricos de tiempos muertos de la planta.

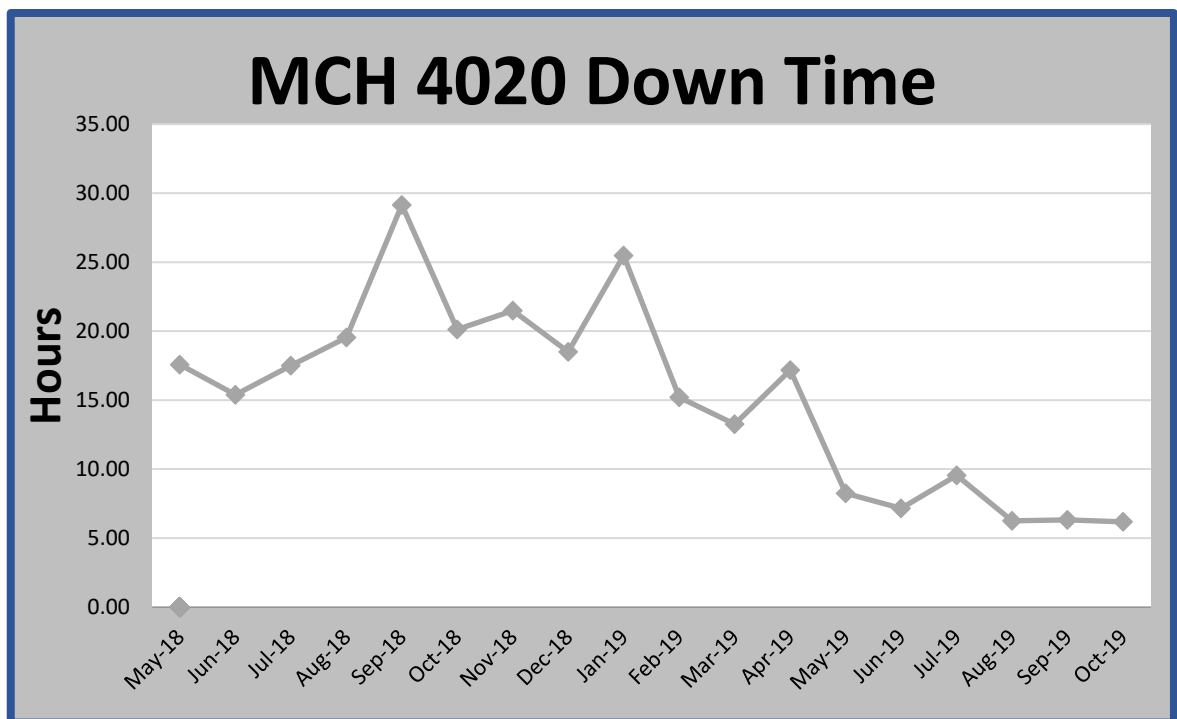


Figura 4.4. Reducción tiempo muerto MCH

4.3 Ahorro de costos de operación

En base a los ahorros generados en la planta de Brasil que fueron de \$250,000.00 Dólares anuales teniendo solo tres líneas de producción, anexado con los incrementos exponenciales de forma anual en el costo del helio, uno de los proyectos más ambiciosos para ahorrar costos de operación, es el recuperador de helio. Dicho proyecto conlleva una inversión de más de \$170,000.00 dólares, desde la compra del recuperador de helio, instalación y transporte de la misma. Este proyecto tan ambicioso, conlleva una larga preparación desde la especificación técnica del equipo, selección de proveedores, aprobaciones directivas, seguimiento de proyecto, validación y próximamente las siguientes dos etapas que fue la instalación y puesta en marcha del equipo, ya que al momento de la conclusión de este documento la máquina venía en el transporte desde Italia hacia México. Dicho proyecto será concluido para Enero del 2020, con el cual, en base a los altos costos de helio y alto consumo del mismo, se presupuesta un ahorro anual de medio millón de dólares solo con el ahorro de este gas, anexando que la inversión del proyecto se recuperaría en menos de cinco meses.

4.4 Porcentaje de estandarización global

El principal objetivo de este proyecto era lograr estandarizar el proceso de prueba de fugas de las 4 plantas de Mahle Compresores a lo largo del mundo, dicha homogeneización se enfocó en distribuir y emplear las mejores prácticas de todos los procesos de prueba de fuga entre las 4 plantas para reducciones de tiempos muertos y rechazos provenientes de dichas máquinas, el cual a nivel global eran de los principales problemas de todo el proceso de manufactura de compresores en la empresa, lo cual perjudica directamente al negocio en cuestiones monetarias. A la par de esta compartición de información, se realizaron mejoras en el proceso y maquinaria actual, con los mismos objetivos ayudar a la unidad de negocio a tener una mejor rentabilidad y elevar los estándares de calidad del producto.

Para lograr cuantificar la estandarización del proceso y maquinaria de la prueba de fugas se tomaron en cuenta una base que fue la planta de Hungría que por sus números resultaba la más rentable. Cuantificando en el inicio del proyecto la planta de Hungría tenía un 80% de la estandarización completado, la cual al momento de implementar los nuevos proyectos subió a un 90%. La planta de Brasil manejaba un 55% que a lo largo del mismo proyecto ha logrado llegar a un 85%, implementando las prácticas más importantes de Hungría y teniendo una gran mejora en su proceso con esto. Para la planta de México, la cual podía nombrarse la planta más deficiente en muchos de los aspectos, logró uno de los mayores incrementos en la igualdad entre plantas, esto gracias a que fue la planta a la que se le invirtió mayor tiempo, esfuerzo y dinero para poder llevarla hasta donde está hoy en día, originalmente se catalogó con un 45% lo cual se llevó hasta un 80%, en donde los métricos actuales respaldan este valor. Por último, queda la planta de China, la cual era la planta en segundo lugar, se colocó en el 4 por varios factores, como lo fue varios problemas de calidad y el arranque de una nueva línea de producción, lo cual no permitió tener mucho enfoque en los proyectos de estandarización, pero los cuales estaban presupuestados a completarse en el primer cuarto del 2020, pero que, sin embargo, por los proyectos de mejora que se lograron efectuar la llevo del 65% hasta el 75%, estas reducciones se puede ver en la figura 4.5.

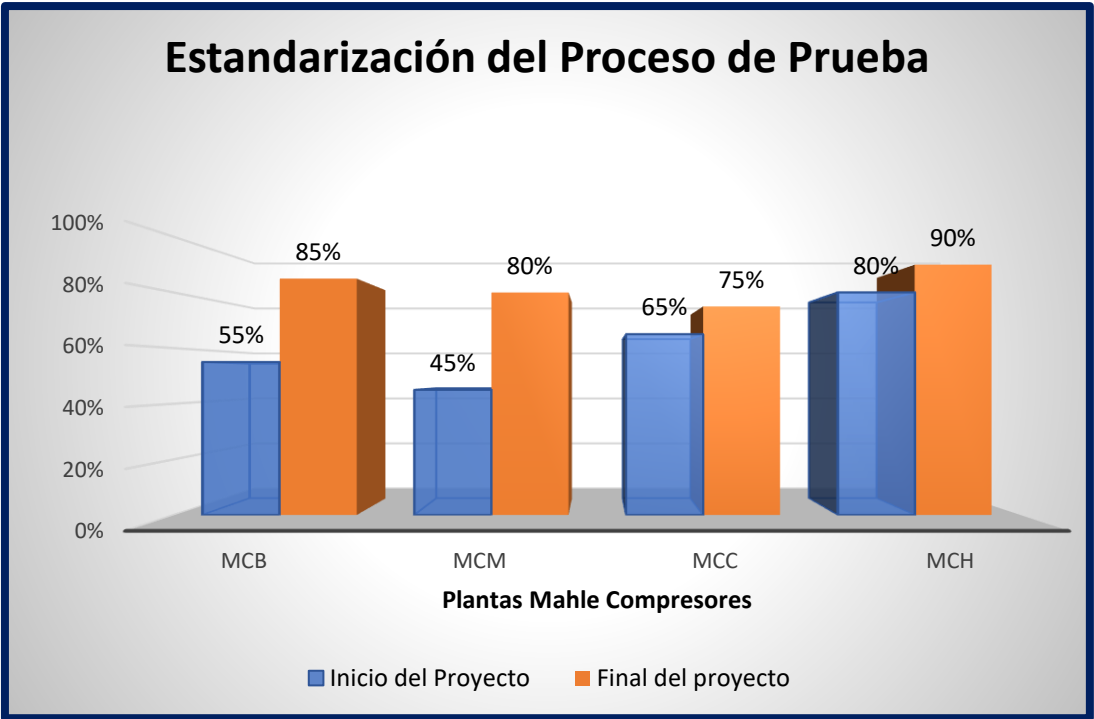


Figura 4.5. Estandarización del proceso de prueba de fugas

Conclusión

Con la estandarización realizada de este proyecto se logró consolidar una sección de suma importancia en el proceso de construcción de compresores automotrices, el cual por varios años llegó a presentar una gran cantidad de problemas, desde bajos números en la producción diaria hasta pérdidas monetarias y quejas de clientes. Mediante la implementación de una metodología que englobaba los problemas con mayor incidencia en el proceso, se efectuaron una serie de actividades entre las que destacaron, entrenamientos al personal, modificaciones en la programación del equipo, implementación de varios componentes y fixturas de prueba, desarrollo del doble ciclo, desarrollo de rutinas de mantenimiento y compra de equipos para ahorro de costos. Gracias a esta se logró impactar directamente en los métricos de tiempos muertos, rechazos de máquina y ahorro de costos lo cual nos lleva a validar la certeza de la hipótesis inicialmente planteada y la resolución del objetivo general y objetivos específicos, los cuales beneficiaron a las 4 plantas de Mahle Compresores. Mediante el método en el que este proyecto se planteó desde la visualización de las principales problemáticas, obtención de los puntos principales a trabajar y el desarrollo de las actividades, de igual forma puede ser aplicado a diferentes procesos o productos.

Trabajo Futuro

Al momento de concluir este documento, el proyecto de estandarización aun tenía actividades por implementar como lo fue el doble ciclo a lo largo de los 4 módulos faltantes de MCM, así como en la totalidad de la planta de China, lo que beneficiaría al proceso y reduciría los rechazos de maquina a un porcentaje similar al de Brasil o Hungría ya que en estas plantas se encuentra implementado este proceso al momento de concluir el documento.

Para el proyecto de ahorro de costos, con respecto al recuperador de helio comprado para la planta de México, al momento de concluir el documento el recuperador se encontraba arribando a la empresa lo que no permitió anexar la etapa de puesta en marcha y monitoreo de ahorro, y de igual forma la planta de china se encontraba en la cotización de este equipo, por lo que en continuación de este documento procedían estas dos partes. Para poder completar la estandarización en su totalidad se necesitaron estos factores mencionados y así llevar las 4 plantas a un 90% a 95% de estandarización global.

Bibliografía

Gilles Baret. (Octubre 2013). Pascal Series Rotary Vane Pump 5 to 21. Pfeiffer Vacuum, 10, 29,31132,36.

Pfeiffer Vacuum GmbH. (April 2013). The Vacuum Technology Book, Know-how Part 2. Asslar, Alemania: Pfeiffer Vacuum.

Pfeiffer Vacuum GmbH. (Abril 2013). The Vacuum Technology, Vacuum generation Part 3.1. Asslar, Alemania: Pfeiffer Vacuum.

Pfeiffer Vacuum GmbH. (April 2013). The Vacuum Technology, Vacuum measurement, analysis, leak detection Part 3.2. Asslar, Alemania: Pfeiffer Vacuum.

Pfeiffer Vacuum GmbH. (Abril 2013). The Vacuum Technology, Chambers and components Part 3.3. Asslar, Alemania: Pfeiffer Vacuum.

MAHLE International GmbH. (Mayo 2008). Basic tools methods expertise at MAHLE (6). Stuttgart GERMANY: Mahle Corporate Quality Management.

Silcher A., Romero L.O, Merkle M. (Febrero 2016). Problem Solving Process RCA Training. MAHLE Corporate Quality Management - Customer Quality, 11,12,13.