



Universidad de Guanajuato
Campus Guanajuato
División de Ciencias Naturales y Exactas

Proyecto de titulación por la modalidad de
Reporte de Ejercicio Profesional

Título del proyecto:
**“El ingeniero químico y su papel en el mantenimiento de una
planta de producción de piezas de EPP y EPS para la industria
automotriz”**

Presenta:

Julio Emmanuel Flores Meléndez

Director del Reporte de Ejercicio Profesional:

M.I.Q. Miguel Ángel Velázquez Guevara

Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería Química:

Dr. Fernando Israel Gómez Castro

Director de la División de Ciencias Naturales y Exactas:

Dr. Agustín Ramón Uribe Ramírez

Guanajuato, Gto. a 11 de Mayo del 2018

Agradecimientos

Porque quien cumple sus sueños, hace lo que se viene a hacer en esta vida. Quiero agradecer con todo mi corazón a las siguientes personas por haber formado parte fundamental en esta etapa de mi vida:

A mi familia, porque sin el amor y apoyo de mis padres este proyecto de vida no sería lo mismo. Por cada segundo de esfuerzo que invirtieron para que yo pudiera estudiar una carrera profesional y cumplir mi sueño de ser Ingeniero Químico. A mis hermanos; Brenda, Natalia y Luis Carlos, por quienes siento un profundo amor.

A Dios, porque desde que este sueño nació me permitió seguirlo, vivirlo y culminarlo. Y hoy, el plan es dar el siguiente paso a uno de los propósitos que siempre tuve.

A Brenda, por haber estado conmigo en la mayor parte de esta etapa de mi vida y vivir a su lado grandes experiencias y marcar esta etapa con hermosas vivencias. A la familia Avalos con gran cariño.

A aquellos que durante esta etapa se convirtieron en mis hermanos y vivimos lo mejor de la universidad juntos y hasta la fecha nuestra gran amistad vive: Martín Negrete, Edson Murguía, Juan Antonio Frías, Martín Mendoza, Joel Vázquez y César Murguía.

A mis profesores, aquellos que significaron una imagen de respeto y admiración. Por compartir con sus alumnos su conocimiento y esforzarse por proporcionarnos la mejor formación profesional y personal. Principalmente aquellos con quienes tuve la oportunidad de formar una amistad: Miguel Ángel Velázquez, Jorge Cervantes, Agustín Uribe, Rosalba Fuentes, Rosa María Ortiz, Víctor Manuel Mejía Cobos, Zeferino Gamiño, Jorge Antonio Anguiano y José Santana.

A mi equipo de trabajo, a quienes estimo y agradezco el apoyo y con quienes he vivido gratas experiencias y han estado conmigo formando parte de este proyecto: Melchor Torres, Ponciano Núñez, Oliver Renden, Diego Contreras, Alejandro Moreno, Juan Zamora, César Correa y Christian Carro. Especialmente a Carlos Vega, Manuel Ramírez, Refugio Rivera y Juan Carlos Avalos, quienes influyeron en mi desarrollo profesional y personal.

Declaratoria

Por medio de la presente, me responsabilizo de la autenticidad y originalidad del presente reporte de ejercicio profesional titulado:

EL INGENIERO QUÍMICO Y SU PAPEL EN EL MANTENIMIENTO DE UNA
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE EPP Y EPS PARA LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Julio Emmanuel Flores Meléndez

Contenido

Resumen	4
Capítulo 1 – Antecedentes	5
1.1 Justificación	5
1.2 Objetivo general	6
1.2.1 Objetivos particulares	6
Capítulo 2 - La industria automotriz	7
2.1 La industria automotriz en México y el Mundo	7
2.2 Aspectos normativos de la industria automotriz	9
2.3 El papel del mantenimiento en un sistema de producción de partes automotrices	10
Capítulo 3 - El ejercicio profesional	15
3.1 Los conocimientos	16
3.1.1 El proceso de moldeo	16
3.1.2 El mantenimiento e ingeniería de planta	19
3.1.2.1 Actividades de planeación en el mantenimiento	20
3.1.2.2 Actividades de organización en el mantenimiento	22
3.1.2.3 Actividades de control en el mantenimiento	24
3.1.3 Conocimientos técnico de los equipos y maquinaria	26
3.1.3.1 Maquinaria de moldeo	27
3.1.3.2 Calderas y sistemas de vapor	31
3.1.3.3 Torres de enfriamiento y redes de agua de enfriamiento	42
3.1.3.4 Compresores de aire y líneas de distribución de aire comprimido	44
3.1.3.5 Bombas de Vacío	46
3.1.4 Los sistemas de manufactura y calidad en la industria automotriz	47
3.1.4.1 Lean Manufacturing	48
3.1.4.2 Core tools	54
3.2 Las habilidades	57
Capítulo 4 - Las funciones	60
4.1 Funciones como supervisor de mantenimiento	61
4.2 Aplicaciones de la ingeniería química en el mantenimiento de planta	73
Capítulo 5 - Recomendaciones al plan de estudios	83
Conclusiones	84
Bibliografía	85

Índice de figuras

Figura 1. Elementos que componen a la eficiencia global del equipo	15
Figura 2. Elementos que integran la experiencia profesional del ingeniero químico en el mantenimiento de planta	16
Figura 3. Planta de producción de EPP y EPS	18
Figura 4. El proceso de mantenimiento	21
Figura 5. Caldera acuotubular	33
Figura 6. Caldera pirotubular	34
Figura 7. Fotografía del fondo de una caldera durante la limpieza del lado agua	37
Figura 8. Vista de tubos flux a través de una entrada mano	37
Figura 9. Daños en refractarios	38
Figura 10. Caldera hollinada por mala carburación	38
Figura 11. Principio del método ultrasónico para la medición de espesores	39
Figura 12. Principio utilizado en la prueba de líquidos penetrantes	40
Figura 13. Gráfica de prueba hidroestática	41
Figura 14. Daños en soldadura	41
Figura 15. Unidad de una torre de enfriamiento	44
Figura 16. Relleno de torre de enfriamiento saturado de lodos e incrustaciones	45
Figura 17. Compresor de aire enfriado por aire marca Atlas Copco	46
Figura 18. Partes de un compresor enfriado por agua	47
Figura 19. Bomba de vacío Quincy	47
Figura 20. Relación del sistema de manufactura y su gestión con el sistema de calidad.	48
Figura 21. La productividad como un proceso.	50
Figura 22. Diagrama de Pareto para identificar las diez causas principales de tiempo muerto por problemas de mantenimiento	56
Figura 23. Cartas de control estadístico	57
Figura 24. Organigrama a nivel planta del departamento de Mantenimiento en DuraLite FP	61
Figura 25. El sistema de mantenimiento de DuraLite FP	67
Figura 26. Gráfica de control de tiempo muerto de mantenimiento	70
Figura 27. Pareto y gráfica de control	72
Figura 28. Proceso de análisis de datos para la solución de problemas	73
Figura 29. Cambio de concentración de dureza en el agua de salida de suavizadores	75
Figura 30. Sistema triplex de suavizadores de agua	
Figura 31. Cambio en las concentraciones de dureza del agua de enfriamiento antes y después de instalar un sistema de suavizadores con la capacidad adecuada	77
Figura 32. Mejora en la calidad del agua de alimentación a calderas después de instalar un sistema de suavizadores con la capacidad adecuada	77
Figura 33. Área bajo la distribución que representa la probabilidad de que el equipo no falle antes del tiempo tp	78

El ingeniero químico y su papel en el mantenimiento de una planta de producción de piezas de EPP y EPS para la industria automotriz

Resumen

El presente trabajo refleja algunas de las actividades que es capaz de desempeñar el egresado de la Licenciatura en Ingeniería Química en el Departamento de Mantenimiento e Ingeniería de Planta de una empresa de producción de piezas automotrices a base de dos distintos materiales Poliméricos: Polipropileno Expandido (EPP) y Poliestireno Expandido (EPS).

Gracias al perfil de egreso que brinda la Licenciatura en Ingeniería Química de la División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, de la Universidad de Guanajuato, el egresado cuenta con las herramientas para capacitarse y desarrollarse profesionalmente en el área del mantenimiento y cumple con las competencias necesarias para brindar un soporte profesional al desarrollo de su departamento y de la planta en la que se desempeña.

Actualmente la industria automotriz se encuentra en gran crecimiento, especialmente en el Estado de Guanajuato, lo que abre un sinfín de oportunidades para el desarrollo de cualquier profesionista; y ésta no es la excepción para el Ingeniero Químico. Por ejemplo, los requerimientos de calidad de la industria automotriz son altamente exigentes y cada pieza que forma parte de un vehículo significa un proceso diferente y esto representa un área de oportunidad para el ingeniero químico.

En este reporte se plasman las funciones desempeñadas en el puesto Ingeniero de Proyectos y Supervisor de Mantenimiento en una planta de producción de piezas moldeadas de Polipropileno Expandido (EPP) y Poliestireno Expandido (EPS) para la industria automotriz.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

La industria automotriz ha sido de gran relevancia para la economía mundial y nacional. Actualmente, México se encuentra participando en el crecimiento y desarrollo de esta industria y se ha convertido en un activo competitivo dentro del sector.

Poliuretanos SW León S.A. de C.V. es una filial de “*Woodbridge Group*” y “*Grupo Industrial Summa*”. Actualmente cuenta con plantas en cinco estados de la República Mexicana, y a su vez con diferentes unidades de negocio. En la ciudad de León, se encuentran cuatro plantas, una de las cuales pertenece a la unidad de negocio “*Formed Plastics*” y se dedica a la producción de partes automotrices de polipropileno expandido y poliestireno expandido. La unidad de negocio está categorizada como Tier 1, es decir que es proveedora directa de plantas armadoras de automóviles. Esto implica que trabaja bajo estándares de calidad y producción de alta exigencia.

En el presente reporte se expone el papel que he venido desarrollando en esta empresa. Los conocimientos aplicados y aprendidos, así como las competencias desarrolladas, demuestran la versatilidad del profesional de la ingeniería química para desenvolverse en diferentes áreas de la industria.

Las funciones expuestas en este trabajo han sido desempeñadas durante un camino de crecimiento profesional y desarrollo en el área de Mantenimiento e Ingeniería de Planta. Inicié como becario de Mantenimiento y Procesos, se formalizó la relación laboral al iniciar con la posición de Ingeniero de Proyectos Jr. y actualmente tengo el cargo de Supervisor de Mantenimiento.

1.1 Justificación

El Ingeniero Químico cuenta con conocimientos que le permiten desempeñarse en distintas áreas de la industria. El presente trabajo busca mostrar la versatilidad de la ingeniería química en la industria automotriz. Es una carrera que cuenta con fundamentos que permiten al egresado desarrollarse en diferentes campos. El mantenimiento industrial pudiera pensarse como un área de enfoque para carreras como la ingeniería mecánica o eléctrica. Sin

embargo, en este trabajo se exponen las herramientas con las que cuenta un ingeniero químico para operar, optimizar y gestionar el mantenimiento de una planta industrial.

1.2 Objetivo general

Demostrar las habilidades y actitudes que el egresado de Ingeniería Química puede desarrollar dentro de la industria automotriz, así como hacer reseña de los conocimientos que se pueden poner en práctica para colaborar en el desarrollo de una planta de producción

1.2.1 Objetivos particulares

- Plasmar el desarrollo que se puede alcanzar un Ingeniero Químico en la industria automotriz y cómo puede participar en un proceso normado bajo los requerimientos de dicha industria.
- La experiencia que se puede llegar a alcanzar y que trae como consecuencia una idea definida acerca del desarrollo profesional del Ingeniero Químico en una industria y área específicas, en este caso la industria automotriz.

Capítulo 2

LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

2.1 La industria automotriz en México y el mundo.

La industria automotriz ha sido de gran relevancia para la economía mundial y nacional, ha actuado como un propulsor del desarrollo de otros sectores de alto valor agregado. Debido a este hecho diversos países incluyendo México buscan fortalecer y desarrollar este sector, el cual ha sido el resultado de sucesos y transformaciones, desde la evolución de la globalización hasta la creación de políticas industriales a nivel nacional.

En la actualidad, el sector automotriz aporta más del 3 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) y el 18 por ciento del PIB manufacturero de México, logra un superávit comercial superior a los 52 mil millones de dólares al año, cuenta con un acervo de inversión extranjera directa de más de 51 mil 200 millones de dólares (11% del total) y es responsable de unos 900 mil empleos directos.

La industria automotriz en México enfrenta nuevos desafíos potencialmente disruptivos que podrían modificar mucho la estructura del sector en el futuro cercano. Existen al menos tres grandes tendencias que determinarán su dinámica en los próximos años: la convergencia con la economía digital, los cambios en el concepto de movilidad y en los patrones de consumo, y las exigencias regulatorias en el ámbito de la seguridad, el medio ambiente y la eficiencia energética.

Para el 2017, las inversiones por parte de empresas extranjeras en México continuaban. Sin embargo, en los primeros días del transcurso del 2017, la empresa Ford anunció oficialmente la cancelación de su planta en el municipio de Villa de Reyes, San Luis Potosí. La planta tenía un avance de más de 20 por ciento de construcción.

“Si bien, la cancelación de inversiones como la de Ford en México y otras que pudieran seguir en el futuro inmediato tendrían un impacto negativo, una cancelación masiva y generalizada de inversiones no es probable”, afirmó Oscar Silva, socio líder del área de Global Strategy Group de la firma, en un reporte publicado en febrero pasado.

Hoy en México, se producen vehículos que se venden en todo el mundo, autopartes que se integran con éxito a las cadenas de valor de la industria global y se fortalecen nichos como el segmento de vehículos Premium. Además, año con año el país incrementa su participación en actividades de ingeniería, diseño e investigación y desarrollo.

Actualmente el 80 por ciento de la producción automotriz de México se exporta, fundamentalmente a los otros dos miembros del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Así, México se ha convertido en el séptimo productor mundial y el cuarto exportador de vehículos del mundo.

México ha sido el destino de 9 de las 11 plantas de ensamblaje que se vienen anunciando en América del Norte desde 2011, por lo que la producción de vehículos ligeros podría aumentar en gran medida hasta llegar a alcanzar cerca de 5 millones de unidades en 2020.

Hasta el mes de septiembre del 2017, la AMIA volvió a reportar cifras récord en la producción y exportación de automóviles ensamblados en territorio mexicano. En dicho acumulado se registraron 2 millones 829 mil 761 vehículos producidos, 9.8% por encima de las unidades manufacturadas en el mismo periodo del año pasado.

En el caso de exportación, se mandaron a otras naciones 2 millones 287 mil 896 unidades desde México en los primeros nueve meses del año, cifra 11.5 por ciento superior a lo reportado el mismo periodo de 2016.

La Industria Nacional de Autopartes, pronosticó que la producción de autopartes seguirá creciendo en México hasta alcanzar 96 mil millones de dólares en el 2021. “A pesar de como se ha estado comportando todo el tema del TLCAN, la producción y exportación se ha incrementado, a largo plazo se espera que baje un poco, pero no de manera significativa”, añadió Ramón Álvarez.

El sector automotriz en México se tiene que enfrentar a nuevos retos; tiene que lidiar con nuevas tendencias que se están gestando y que continuarán en constante desarrollo durante los próximos años. Por un lado, debe de continuar con la evolución del mercado actual a través de la racionalización de la

producción, el crecimiento en los países emergentes y la comercialización de vehículos híbridos; por otro tiene que afrontar la revolución y la disrupción que suponen muchos de los avances que están surgiendo en el ámbito de la movilidad.

2.2 Aspectos normativos de la industria automotriz

Al igual que cualquier industria, existen estándares para la gestión de la calidad en la industria automotriz. La norma IATF 16949:2016 es la que dictamina un sistema de calidad efectivo que deben aplicar los Fabricantes de Equipo Original (OEM's por sus siglas en inglés) y los proveedores de la industria automotriz.

La norma IATF 16949:2016 es un complemento de la norma ISO 9001:2015 y debe implementarse de manera conjunta. En la norma se describen los requisitos del sistema de gestión de calidad y proporciona los lineamientos bajo los cuales debe certificarse una organización de la industria automotriz para hacer negocio, producir y entregar productos de calidad y tener mejora continua.

El objetivo de esta Norma del SGC Automotriz es el desarrollo de un sistema de gestión de la calidad que tenga en cuenta la mejora continua, poniendo énfasis en la prevención de defectos y en la reducción de la variación y de los desperdicios en la cadena de suministro.

La norma IATF 16949:2016 es una actualización de la ISO/TS 16949. La reciente revisión está enfocada a dar respuesta a problemas en la industria automotriz, como son:

- Requisitos para partes y los procesos relacionados con la seguridad
- Mejora de los requisitos de trazabilidad de productos para apoyar los últimos cambios regulatorios.
- Requisitos para productos con software integrado
- Proceso de gestión de la garantía que incluye abordar NTF (no trouble found) y directrices de la industria automotriz

- Aclaración de la gestión de proveedores de segundo nivel y requisitos de desarrollo
- Incorporación de los requisitos de responsabilidad corporativa

De acuerdo con esta norma, las organizaciones deben desarrollar, implementar y mantener un sistema de mantenimiento productivo total documentado.

El Mantenimiento Productivo Total es un sistema para mantener y mejorar la integridad de los sistemas de producción y calidad en todas las máquinas, equipos, procesos y empleados que añade valor a la organización.

2.3 El papel del mantenimiento en un sistema de producción de partes automotrices

Los sistemas productivos, que durante muchas décadas han concentrado sus esfuerzos en el aumento de la capacidad de producción, están evolucionando cada vez más hacia la mejora de su eficiencia, que lleva a los mismos a la producción necesaria en cada momento con el mínimo empleo de recursos, los cuales serán, pues, utilizados de forma eficiente, es decir, sin desperdicios.

Todo ello ha conllevado la sucesiva aparición de nuevos sistemas de gestión que con sus técnicas han permitido una eficiencia progresiva de los sistemas productivos, y que han culminado precisamente con la incorporación de la gestión de los equipos y medios de producción orientada a la obtención de la máxima eficiencia.

El primer paso firme fue la aparición de los sistemas de gestión flexible de la producción, y muy especialmente el *Just in Time* (JIT), sistema que ha abandonado el objetivo de maximizar la producción, para pasar a reorganizar los sistemas productivos y reasignar sus recursos de forma que se consiga adaptar la producción de cada momento a las necesidades reales, y que esta se logre en base a un conjunto de actividades, consumidoras de recursos, las cuales se reducirán a las mínimas estrictamente necesarias. Este modelo de sistema productivo se conoce en la actualidad como *lean production*.

Para lograr una mayor tasa de eficiencia en los sistemas productivos, además de emplear sistemas de gestión eficientes para lograr productos de calidad a la

primera, la máxima eficiencia exige utilizar los medios productivos más adecuados, siempre preparados para funcionar sin problemas o averías.

El sistema de mantenimiento debe tener su vista en el cumplimiento de los objetivos del sistema productivo. La gestión de los equipos que integran los sistemas productivos debe trabajar en función de poder optimizar el rendimiento de los mismos y la productividad de tales sistemas. Para ello se centra en unos objetivos y aplica los medios adecuados. Los tres aspectos fundamentales que se encuentran directa o indirectamente relacionados con los equipos y dan lugar a la reducción de la eficiencia del sistema productivo son:

- Tiempos muertos o de paro del sistema productivo
- Funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos
- Productos defectuosos o malfuncionamiento de las operaciones en un equipo.

Por esta razón, la reducción de pérdidas de los sistemas productivos originadas por los factores previamente mencionados, se basa en la implementación de distintos sistemas de gestión que permiten el adecuado mantenimiento, tanto a nivel de diseño como operativo de los equipos. Los aspectos fundamentales del sistema de mantenimiento son:

- Gestión del mantenimiento preventivo y correctivo optimizada
- Conservación continua y completa de los equipos y aumento consiguiente de su tiempo de vida.
- Mejoramiento de los equipos, su funcionamiento y rendimiento.
- Mantenimiento básico y de prevención de averías
- Formación adecuada al personal de mantenimiento y producción acerca de los equipos.

El contexto en el que se desarrollan en la actualidad los procesos productivos, con una exigencia cada vez mayor de la eficiencia y calidad, resulta obligado plantearse cómo obtener mejoras partiendo de una optimización de la gestión del mantenimiento.

La búsqueda de la competitividad de la empresa en el mercado actual nos va llevar sin duda a un replanteamiento del sistema vigente de gestión del mantenimiento. La competitividad no se alcanzará sin una correcta gestión de la producción y a la vez del mantenimiento de sus equipos, para alcanzar los objetivos de calidad, productividad y rendimiento esperados.

Los sistemas de gestión del mantenimiento han ido evolucionando en favor de las necesidades de las empresas que buscan la competitividad. Aunque en 1925 comenzó a hablarse de aplicar el mantenimiento de forma preventiva para evitar problemas, no es hasta los años cincuenta que se extiende su aplicación, por lo que podemos decir que el periodo de tiempo anterior a 1950 se caracterizó por la aplicación del mantenimiento de reparación basado exclusivamente a la reparación de averías, y una vez reparada, todo terminaba ahí.

A partir de 1950 se establecen las bases del mantenimiento preventivo propiamente dicho. El mantenimiento preventivo se introdujo en Japón procedente de Estados Unidos en 1951 por parte de Toanenryo Kogyo. Se buscaba la rentabilidad económica por encima de todo, en base a la máxima producción, y para ello se establecieron funciones de mantenimiento orientadas a detectar y/o prever posibles fallos antes de que sucedieran. En esta época queda ya totalmente demostrada la relación entre la eficacia económica y el mantenimiento con este enfoque.

Más tarde, en los años sesenta, se incorporó y desarrolló el mantenimiento productivo. De hecho ya se defendía su aplicación desde 1954 en General Electric. Se trataba de un paso adelante respecto al mantenimiento preventivo, ya que abarcaba los principios de aquél más otros propios. Incluye el establecimiento de un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo sin descuidar la fiabilidad y la mantenibilidad.

Actualmente se cuenta con un sistema de gestión del mantenimiento que engloba a los anteriores, el Mantenimiento Productivo Total (TPM). Sus diferencias básicas son la incorporación de dos conceptos:

- Mantenimiento autónomo: sugiere que existen tareas de mantenimiento basadas en la inspección, limpieza, conservación y prevención que

deben ser llevadas a cabo por los propios operadores de producción y debe ser implementado activamente por todos los empleados. Se debe crear una cultura propia que estimule el trabajo en equipo y eleve la moral del personal.

- Mejora continua: desde el punto de vista del mantenimiento y la gestión de equipos, su aplicación resultará en la reducción y eliminación de desperdicios que generan los problemas en los equipos y se reducirá la variación en los procesos.

El término TPM fue acuñado en 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Planta (IJIP). Esta institución fue precursora del Instituto Japonés para el Mantenimiento de Plantas (JIPM: Japan Institute Plant Maintenance), que en la actualidad es una organización dedicada a la investigación, consultoría y formación de ingenieros de plantas productivas.

El TPM surgió y se desarrolló inicialmente en la industria automotriz y pronto pasó a formar parte de la cultura corporativa de las empresas que lo implementaban. Es el caso de empresas como Toyota, Nissan y Mazda. Posteriormente otros tipos de industrias han introducido con éxito el TPM, aunque es de destacar como el sector de la automoción, no sólo los fabricantes de vehículos, sino también todas las empresas proveedoras y auxiliares de este sector, han sido las que más rápidamente y mayoritariamente han implementado el TPM en sus plantas en cualquier parte del mundo donde estén ubicadas.

El TPM permite mejorar la eficacia con la que operan los equipos e instalaciones productivas, y como resultado de ello puede aumentar considerablemente la eficiencia del sistema productivo.

La eficiencia global del equipo, englobará tres aspectos para poderse medir:

- Disponibilidad
- Calidad
- Efectividad

Estas magnitudes se medirán por medio de coeficientes que harán referencia a los conceptos de tiempo requerido para trabajar, tiempo que realmente está

operativo el equipo, tiempo que a pesar de estar operativo puede no estar produciendo, o bien hacerlo a una velocidad inferior a la esperada y también a la calidad del producto resultante.

Cada uno de estos coeficientes hace referencia a seis grandes pérdidas o desperdicios de los equipos:

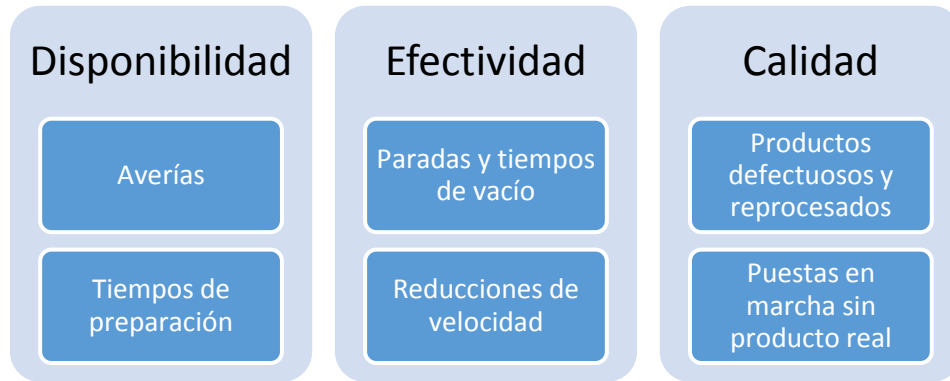


Figura 1. Elementos que componen a la eficiencia global del equipo (Fuente: Cuatrecasas, L., “TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción”).

De acuerdo con los coeficientes anteriores, podemos determinar que la eficiencia global de un equipo se calcula de la siguiente forma:

$$OEE = A \times E \times Q$$

Donde:

OEE: Eficiencia global del equipo (por sus siglas en inglés, Overall Equipment Efficiency)

A: Disponibilidad (Availability)

E: Efectividad (Effectiveness)

Q: Calidad (Quality)

Debido a que el mantenimiento de los equipos está involucrado en la eficiencia global de los mismos, es sumamente importante un sistema de mantenimiento robusto que tenga un enfoque centrado en las necesidades actuales de la industria automotriz.

Capítulo 3

EL EJERCICIO PROFESIONAL

En este capítulo se plasman las funciones desempeñadas, aplicación de conocimientos y desarrollo de habilidades de un ingeniero químico como parte de un departamento de mantenimiento e ingeniería de planta en la industria automotriz.

Quisiera trazar brevemente los aspectos que se desean mostrar, para posteriormente desarrollar cada punto con mayor detalle y facilitar la visión de la trayectoria que se expone a continuación.

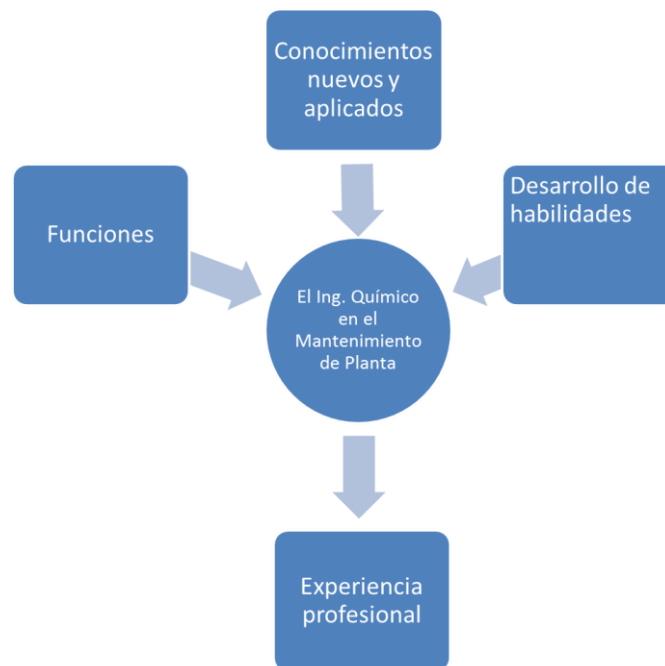


Figura 2. Elementos que integran la experiencia profesional del ingeniero químico en el mantenimiento de planta (Fuente: elaboración propia)

Como lo indica la modalidad de titulación bajo la cual se está presentando este trabajo, la experiencia adquirida nos habla de diferentes aspectos que conforman a un profesional que va siguiendo un camino en aras de formar un plan de vida y carrera. Los conocimientos técnicos propios del área de mantenimiento como son; hidráulica, neumática, mecánica, control eléctrico y electrónica, ingeniería eléctrica y métodos de mantenimiento preventivo,

correctivo y predictivo, forman parte indispensable para construir una trayectoria como especialista del mantenimiento industrial.

Todos estos conocimientos nos ayudan a desempeñar funciones como la gestión la operación del departamento, supervisión de personal, planeación del mantenimiento, relación con proveedores de productos y servicios, administración del presupuesto, gestión de almacén de refacciones, seguimiento y mejora de los indicadores de desempeño y participación en proyectos de diferentes alcances. Sin embargo, existen otros conocimientos que deben formar parte de la experiencia cuando ambicionamos ser profesionistas más versátiles y con proyección a crecimiento. Como se ha mencionado anteriormente, los sistemas de gestión de la calidad en la industria automotriz nos impulsan a aprender y aplicar conocimientos como son:

- Sistemas de manufactura esbelta
- Metodologías de solución de problemas
- Herramientas para implementación del sistema de calidad
- Conocimiento del proceso

Los conocimientos que vamos adquiriendo, aquellos que aplicamos gracias los estudios profesionales, las habilidades que vamos desarrollando y las funciones que ejercemos van formando en conjunto nuestra experiencia profesional.

3.1 Los conocimientos

3.1.1. El proceso de moldeo de EPP y EPS.

El proceso de moldeo de espumas expandidas, como son el EPP y el EPS, involucra, en general, los mismos equipos y el esquema de una planta para este proceso es prácticamente el mismo. Entendamos un poco mejor acerca de la importancia y participación de los equipos en este proceso.

1. En el caso del EPP, la materia prima es descargada de grandes bolsas que son transportadas en tráilers. La materia prima se descarga con ayuda de sopladores y se envía a silos para su almacenamiento.

2. Las prensas de moldeo, transportan la materia prima desde los silos de almacenamiento por medio de vacío. El vacío se genera con una bomba de vacío general que mantiene una línea a un rango de 60 y 70 mmHg.
3. Las prensas de moldeo reciben la materia prima en tanques diseñados para soportar hasta 5 kg/cm² de presión.
4. La materia prima es inyectada al molde con pistolas que utilizan el principio de Venturi.
5. La materia prima recibe cuatro pasos de vapor para realizar la fusión.
6. Después de la fusión con vapor directo, se enfría la pieza con agua.
7. Una vez enfriada, la máquina abre y expulsa la pieza.

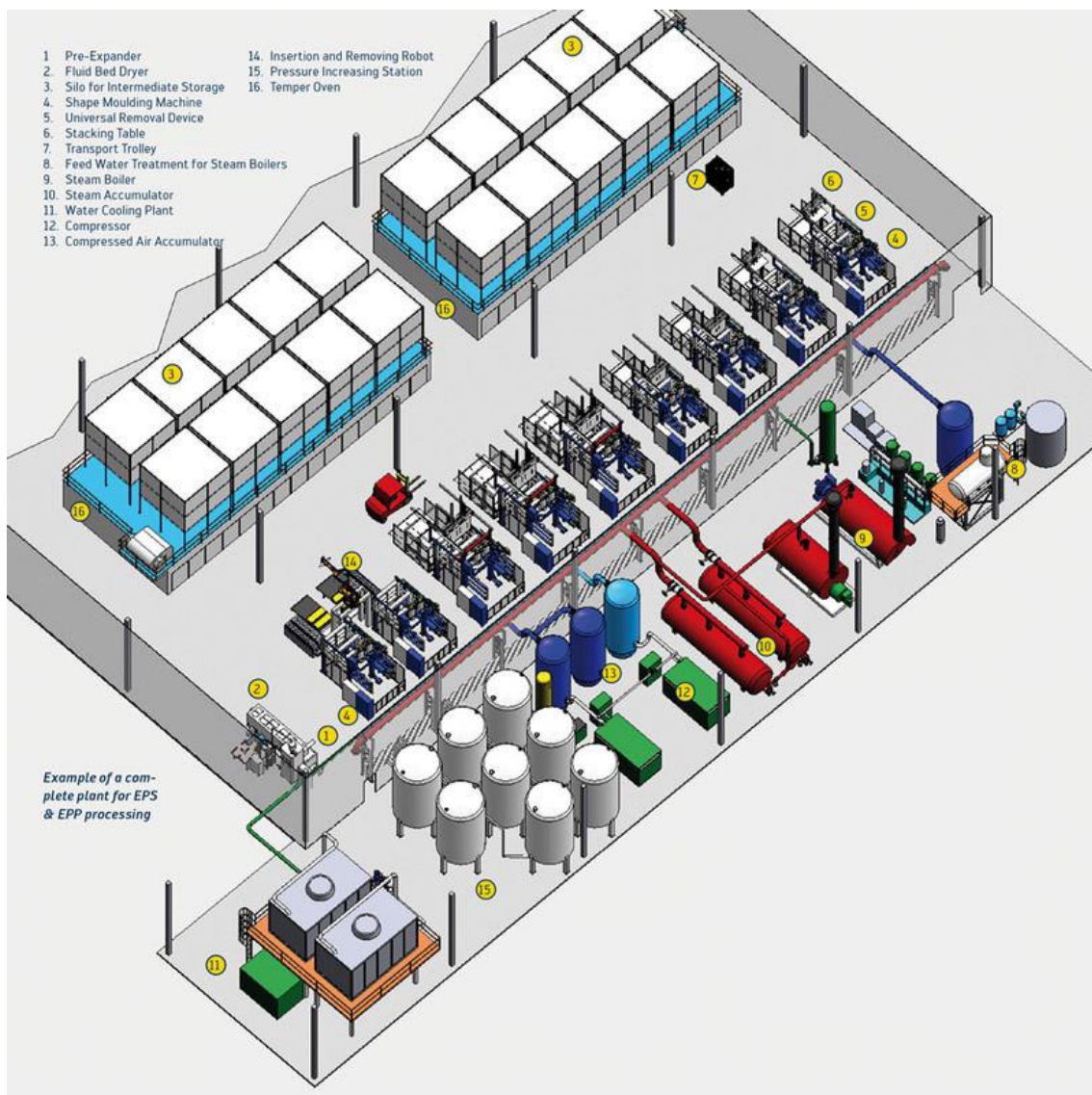


Figura 3. Planta de producción de EPP y EPS (Fuente: www.kurtzrsa.com)

En el proceso antes descrito están involucrados los principales equipos que participan para llevar a cabo el proceso. Esto nos conduce a identificar las dos grandes áreas de las que es responsable Mantenimiento:

- Mantenimiento de equipo productivo
- Servicios de planta

Los equipos productivos son prensas de moldeo. El aprendizaje sobre esta maquinaria es muy interesante, ya que además de contemplar los sistemas de control, es muy importante conocer el proceso que realizan para entender mejor la razón de los mantenimientos que se les realizan, la solución de fallas y la mejora en su funcionamiento.

Cada uno de los pasos que realiza la prensa tiene diferentes variantes que dependen del tipo pieza, densidad de la materia prima, naturaleza química del polímero, características del producto final, etc. La otra perspectiva, es en sí la máquina y cómo lo realiza. Cada aspecto es importante para el proceso. El entender todos estos aspectos, mejorarán sin duda el mantenimiento del equipo.

Desde el momento en que una prensa va a iniciar un ciclo para producir un lote, entran en funcionamiento los sistemas hidráulicos, eléctricos, neumáticos y mecánicos que harán funciones específicas en cada paso para dar como resultado el producto final.

El área de servicios provee los recursos necesarios para que la prensa lleve a cabo todos los pasos del moldeo:

1. Vacío (transporte de materia prima y estabilización de la pieza).
2. Aire comprimido (llenado del molde, expulsión de la pieza y control neumático).
3. Vapor (fusión de la materia prima).
4. Agua de enfriamiento (enfriamiento de las piezas, del sistema hidráulico de la prensa y del sistema hidráulico de los compresores de aire).
5. Energía eléctrica

Para generar estos servicios, se cuenta con equipos y los sistemas que los acompañan para su correcto funcionamiento. En la figura 3, se pueden apreciar los equipos que se utilizan para la generación de los servicios para el proceso:

- Calderas de vapor
- Torres de enfriamiento
- Compresores de aire

3.1.2. El mantenimiento e ingeniería de planta

A través de mi experiencia, he formado un concepto propio sobre lo que significa el mantenimiento. De este concepto puedo decir que es el conjunto de actividades de servicio que se realizan para cumplir los objetivos de seguridad, productividad y calidad, basándose en un sistema que permite operar, mejorar y controlar dichos objetivos.

La maquinaria y equipo son las herramientas a través de las cuales una planta produce. Es simple, si no se tiene mantenimiento no se tendrán resultados favorables para un planta que depende de los equipos para producir sus productos.

Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan como resultado una variación excesiva en el producto y, como consecuencia, ocasionan producción defectuosa que impacta negativamente con los clientes. Para producir en cantidad y calidad adecuadas, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse a través de actividades de mantenimiento oportunas.

El conjunto de actividades que se llevan a cabo para el mantenimiento de una planta se deben establecer en un sistema cuyo objetivo sea la correcta y óptima operación de la planta, basado en los equipos y la maquinaria. Un ejemplo básico de un sistema de mantenimiento sería:

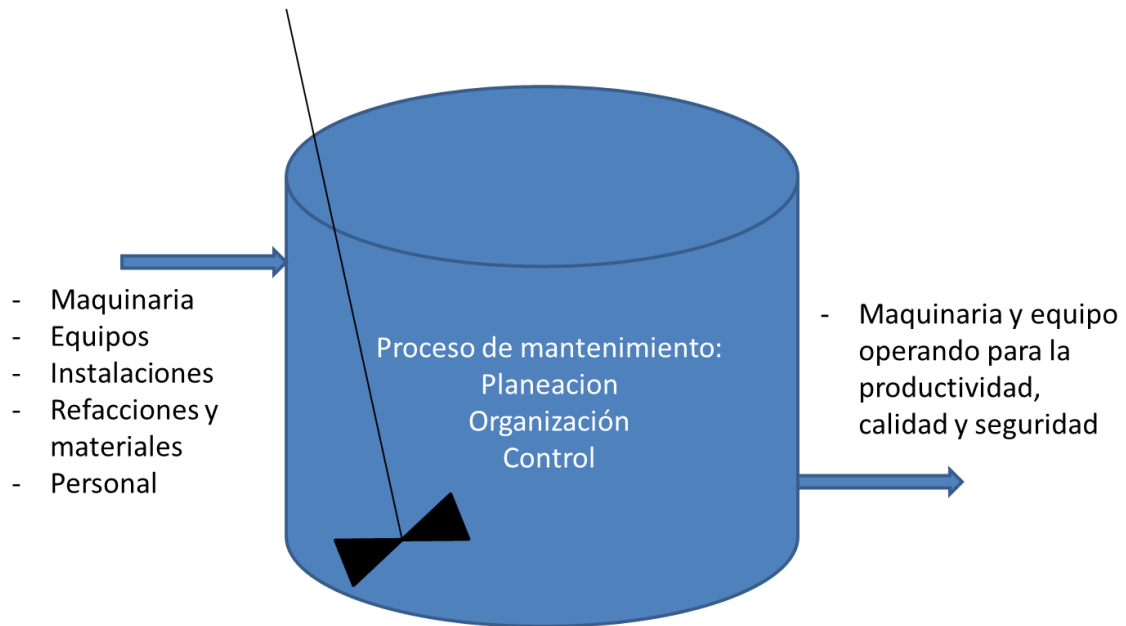


Figura 4. El proceso de mantenimiento (Fuente: elaboración propia)

3.1.2.1. Actividades de planeación en el mantenimiento.

La planeación de las actividades dentro de un sistema de mantenimiento es el primer paso. Las actividades que requieren planeación para empezar a construir el sistema son:

1. Modelo de mantenimiento
2. Pronóstico de la carga de mantenimiento
3. Capacidad del mantenimiento
4. Organización del mantenimiento
5. Programación del mantenimiento

El modelo de mantenimiento de una planta es básicamente tener los recursos necesarios y consistentes para la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que se comprometa la seguridad. Para lograr un modelo de mantenimiento, se deben aplicar los diferentes tipos y técnicas de mantenimiento de forma conjunta y en la medida adecuada:

- a) Mantenimiento correctivo: éste tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando un equipo es incapaz de seguir operando. Se basa en ir reparando averías a medida que se van presentando.
- b) Mantenimiento preventivo: es el tipo de mantenimiento en el cual se ejecutan actividades planificadas con el fin de disminuir o eliminar la

necesidad de utilizar el mantenimiento correctivo. Es decir, busca prevenir averías o fallas cuando el equipo requiere estar en operación.

- c) Mantenimiento de oportunidad: éste tipo de mantenimiento se lleva a cabo cuando ocurren paros programados por parte de producción y se puede aprovechar el tiempo para llevar a cabo tareas de mantenimiento que se sabe que estaban en espera o están próximas a requerirse.
- d) Mantenimiento modificativo: éste tipo de mantenimiento tiene como objetivo realizar una modificación parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento de acuerdo al trabajo que se requiere realizar.
- e) Mantenimiento predictivo: éste tipo de mantenimiento consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos al aumento de una probabilidad de falla, y así tomar acciones para evitar que se generen consecuencias graves.

El pronóstico de la carga de mantenimiento en una planta es esencial para alcanzar un nivel de eficacia de las actividades de mantenimiento. Es un aspecto que se debe tener en cuenta cuando se va realizar la planeación de la carga de mantenimiento y la programación de las actividades.

Cuando pronostica la carga de mantenimiento se toman en cuenta diversos factores que influyen en la efectividad y la eficacia de los trabajos de mantenimiento. Por ejemplo, cuando se va elaborar un plan de mantenimiento se toman en cuenta las fallas que ocasionaron riesgos de seguridad, problemas de baja producción, producción con defectos de calidad, paros prolongados de equipo productivo, etc. Cuando el tiempo que se va tener disponible para las actividades de mantenimiento, se requiere priorizar o buscar otros recursos para cumplir con los objetivos, por ejemplo la contratación de servicios de mantenimiento externo.

Una vez que se pronostica la carga de mantenimiento, se realiza la *planeación de la capacidad de mantenimiento*. Ésta planeación determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Estos recursos incluyen; la mano de obra, materiales, refacciones, equipo y herramienta.

La *organización del mantenimiento* depende de la carga de trabajo, tipo de mantenimiento, tamaño de la planta, especialidad de la mano de obra, etc. En el caso de PSW León, el mantenimiento se encuentra organizado en tres áreas por el tipo de equipos. Así mismo, las actividades de dichas áreas se subdividen y asignan a los técnicos dependiendo de sus especialidades. Por ejemplo, el mantenimiento de las calderas está organizado en el área de servicios y únicamente lo realizan los “fogoneros” (término utilizado a operadores de calderas). Éste personal está enfocado a la operación y mantenimiento de calderas y no participan en el mantenimiento de las prensas.

Finalmente el pronóstico de la carga, la planeación de la capacidad y la organización del mantenimiento son elementos que tienen la finalidad de hacer una adecuada *programación del mantenimiento*. La programación entonces, es el proceso de asignación de recursos materiales y de mano de obra en el tiempo adecuado para cumplir con los objetivos del plan de mantenimiento.

3.1.2.2. Actividades de organización en el mantenimiento

El departamento de mantenimiento comienza a operar cuando tiene actividades asignadas a los equipos y las instalaciones. Adicional a las actividades que se tienen contempladas en la etapa de planeación y que normalmente son actividades que se programaron de forma interna por parte del departamento de mantenimiento, se tienen requerimientos por parte de otras áreas como producción. Es importante hacer énfasis en que el área de mantenimiento opera bajo la premisa de ser un departamento de servicio. Esto debido a que en este departamento se tiene la responsabilidad de la administración de los recursos materiales y la mano de obra especializada para realizar todas las actividades que se requieren para la operación de una planta.

Las principales actividades de organización son:

Sistema de órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo son el medio por el cual se solicita una actividad. La orden de trabajo puede ser emitida por el mismo departamento de mantenimiento o por otros departamentos. Generalmente las órdenes de trabajo internas se emiten para asignar a los técnicos las actividades que

deben realizar durante un paro para cumplir con el programa de mantenimiento, mantenimientos correctivos por hallazgos de los supervisores o de los mismos técnicos o producto del programa de mantenimiento preventivo.

Cuando las órdenes de trabajo se emiten por parte de otros departamentos es importante entender la importancia de lo que se solicita, debido a que pudiera ser una orden de trabajo para corregir una situación de riesgo para el operador de una máquina o para revisar un equipo que está aumentando sus tiempos de ciclo y por lo tanto no está cumpliendo con el programa de producción.

Las órdenes de trabajo describen la actividad, ubicación, especialidad del trabajo y la prioridad. Una vez recibida la orden de trabajo, es analizada por los técnicos y supervisores para determinar cuál será el mejor tiempo y método para llevarse a cabo y los recursos necesarios para que se pueda realizar.

Las órdenes de trabajo deben contemplar dos aspectos como una actividad de organización: diseño del trabajo y estándares de tiempo

El diseño del trabajo comprende el contenido de trabajo de cada tarea y determina el método que se va utilizar, la herramienta necesaria y el personal calificado para realizar dicha tarea.

Cuando se ha diseñado el trabajo, es indispensable estimar el tiempo requerido para realizar una tarea. Los estándares de tiempo son un elemento muy valioso, ya que sirven para mejorar la eficacia del personal, disminuir los tiempos muertos por mantenimientos correctivos y optimizar los programas de mantenimiento.

Administración de proyectos

Una de las claras diferencias entre el mantenimiento y la ingeniería de planta, es cuando se emprenden proyectos que requieren recursos especiales para realizar una mejora sustancial pero particular a la planta.

Estos proyectos de ingeniería son muy diversos dependiendo de cada planta y el proceso que se lleva a cabo. Por mencionar algunos ejemplos en los que entran actividades no rutinarias del mantenimiento son la ampliación de una planta, instalaciones de equipos nuevos, modificaciones de líneas de

distribución de servicios, mantenimientos mayores en paro general o cambios al lay out.

Este tipo de trabajos requieren hacer una detallada planeación de todos los recursos necesarios, por esta razón conviene hacer uso de las herramientas de la administración de proyectos.

Básicamente, se desarrolla una red de actividades con tiempos estimados, recursos materiales necesarios y el personal que realizará cada actividad. Cuando comienza el proyecto se va evaluando el avance y se compara con el programa que se estableció. Así mismo, es importante tener en cuenta que durante la planeación de proyecto se realizó la ingeniería de los costos y es un aspecto al que también se le debe dar seguimiento constante. La vigilancia constante del avance del proyecto se debe realizar para lograr identificar deficiencias o complicaciones para tomar decisiones oportunamente.

3.1.2.3. Actividades de control en el mantenimiento.

El control es parte esencial en cualquier proceso. La administración de un departamento de mantenimiento también es un proceso y no es la excepción a la regla. Todas las actividades que se plantean en la planeación y la organización, una vez que se ponen a funcionar se deben controlar. El resultado de no controlar es el fracaso del sistema que se pretende implementar y por consiguiente no se alcanzan los objetivos para la planta.

En el mantenimiento se deben controlar tres aspectos básicos:

i. *Operaciones*

Las operaciones del departamento incluyen:

- Programas de mantenimiento
- Órdenes de trabajo
- Actividades de inspección
- Mantenimiento mayor y proyectos de ingeniería

Básicamente, la operación son las actividades que desempeña el departamento y a través de la cuales busca cumplir los objetivos.

Por ejemplo, en un plan de mantenimiento que se lleva a cabo durante un paro programado de una semana a final de año se contemplan las actividades que marca el programa de mantenimiento que se estableció previamente, las órdenes de trabajo que requerían un tiempo prolongado o recursos especiales, hallazgos que se tuvieron durante una inspección y que llevaron a la necesidad de una intervención a un equipo o proyectos de ingeniería y mantenimientos mayores que difícilmente se pueden realizar en otro periodo del año debido a la demanda de producción.

Al reiniciar la producción, se espera que los resultados de todas las actividades se vean reflejados en una reducción considerable del tiempo muerto, eliminación de problemas que ocasionaban aumentos en el tiempo de ciclo o eliminación de problemas de maquinaria que originaban defectos de calidad en el producto, sin comprometer las condiciones de seguridad.

ii. *Materiales y costos*

El buen control de los materiales y costos es parte medular para que funcione un sistema. Este aspecto se traduce en la administración del presupuesto del departamento para la adquisición de los recursos materiales necesarios para dar cumplimiento al programa de mantenimiento. Esto lleva a la administración del almacén de refacciones.

Un almacén de refacciones generalmente se puede integrar por tres formas de clasificar sus componentes:

- a) Refacciones críticas y no críticas
- b) Existencias normales
- c) Herramientas especiales

Debido a esto el tener una buena administración del almacén y del presupuesto para la compra o reposición de materiales, es esencial para cumplir los objetivos del mantenimiento. El no contar con los recursos materiales necesarios puede ocasionar grandes pérdidas en tiempos muertos para reparaciones, daños severos a un equipo por no efectuar su mantenimiento preventivo oportunamente, altos costos de reparación y pérdidas de producción, etc.

En ocasiones esta parte se puede volver complicada de gestionar, ya que el mantenimiento implica inversión para proveer a los equipos las condiciones óptimas para operar. Si la dirección que gestiona los recursos financieros para el departamento de mantenimiento no cuenta con una visión compartida de la necesidad de inversión en materiales para el mantenimiento o la gestión de los recursos provistos al departamento de mantenimiento no se justifican con efectividad y eficacia, el tema puede ocasionar resultados altamente desfavorables para la operación de la planta.

iii. *Calidad*

La calidad del mantenimiento se puede medir de diferentes formas o considerando diferentes aspectos. En general la calidad del mantenimiento se refleja en el alcance de los objetivos. Una tarea de mantenimiento correctiva fue efectiva cuando se eliminó el problema y el equipo alcanzó su objetivo de disponibilidad o un mantenimiento preventivo es eficiente cuando logra mantener un equipo en una baja o nula tasa de falla.

El seguimiento de los indicadores es lo que nos da la pauta para medir la calidad de los trabajos de mantenimiento. Más adelante se explicará concretamente cómo se lleva a cabo el seguimiento a los indicadores, medición y control en el ejercicio de mis funciones.

3.1.3. Conocimientos técnicos de los equipos y maquinaria.

En esta sección se hablará sobre algunos de los equipos más relevantes que participan en el proceso que se lleva a cabo en DuraLite FP Planta León para el moldeo de piezas de EPP y EPS.

Los equipos que se tratarán operan bajo principios que se analizan profundamente en la licenciatura en ingeniería química. En cada uno de ellos se pueden observar los fenómenos de transporte manifestándose muy claramente y estos mismos principios sirven para entender cómo funcionan estos equipos. Así mismo, se aplican algunos principios de química, ciencia de los materiales, procesos de separación y control de procesos.

3.1.3.1 Maquinaria de moldeo.

Como se mencionó anteriormente, en DuraLite FP se moldean piezas automotrices de EPP y EPS. El EPP posee propiedades termoplásticas mientras que el EPS es un termoestable. De ahí que el proceso de moldeo debe tener ciertas diferencias y las máquinas están diseñadas para poder llevar a cabo ambos procesos.

El proceso que llevan a cabo las máquinas para moldeo aplican diferentes principios de ingeniería que se explican en los tres diferentes tipos de fenómenos de transporte: transporte de cantidad de movimiento, transferencia de calor y transferencia de masa. Analicemos a detalle los pasos que lleva a cabo una máquina de moldeo para entender más a detalle cómo se manifiestan los fenómenos de transporte.

La materia prima que se recibe en la planta DuraLite recibió un tratamiento conocido como expansión. Los pellets de PP y PS reciben un tratamiento en un reactor químico en el que se mezclan con una emulsión y se controlan diferentes variables para lograr que los pellets absorban aire y adquieran propiedades como las de una espuma. Mientras más aire se logre absorber en los pellets, las perlas o espuma adquieren menores valores de densidad. La densidad es la propiedad más importante que se controla en el EPP porque dependiendo de su valor el proceso adquiere algunas variantes y las propiedades finales de la pieza dependen directamente de esta propiedad.

Resumiendo, el proceso que se realiza en una máquina de moldeo, tenemos principalmente cuatro pasos; llenado, vaporizado, enfriamiento y expulsión.

El llenado es el ingreso de perlas al molde y se puede efectuar de tres formas diferentes:

- Contrapresión: se utiliza para llenar piezas de perlas de densidad menores a los 80 g/cm^3 . En la contrapresión se inyecta aire al molde hasta alcanzar cierta presión dentro de las cavidades del molde. Al mismo tiempo se está inyectando aire en los silos que contienen a las perlas. Una vez que se alcanzan las presiones que se le piden a la máquina, las pistolas para llenar el molde abren y dejan pasar una corriente de aire haciendo un efecto Venturi que arrastra las

perlas desde el tanque hasta las cavidades del molde. Para esto, la presión del tanque siempre debe ser mayor a la presión que se alcanza en la cámara, de tal forma que transporte del material sea del tanque hacia el molde y no al contrario. La presión que se generó previamente en el molde sirve para crear una turbulencia cuando se abren las pistolas y la materia prima llega con una corriente de aire con mayor presión que la que hay en el molde o cámara. Esto ayuda a que el llenado de la pieza sea más uniforme en toda la cavidad y no sólo en ciertos puntos.

- Crack: se utiliza cuando se van a moldear piezas de densidades mayores a los 80 g/cm^3 . En este método de llenado, se fija una distancia en la máquina para que quede ligeramente abierta cuando se va realizar el llenado del molde con materia prima. En este principio, se presurizan los tanques de materia prima y cuando abren las pistolas de llenado la presión del aire en los tanques impulsa las perlas a bajar y llenar las cavidades del molde. Cuando se acaban de llenar las cavidades del molde, la máquina cierra totalmente ejerciendo la fuerza del sistema hidráulico para ejercer un efecto de compresión en las perlas. Esta es la razón de que el método de llenado se utilice para perlas con alto grado de densidad, ya que la ligera apertura de la prensa permite llenar y distribuir la materia prima en las cavidades del molde y posteriormente atraparla y comprimirla con ayuda de la fuerza hidráulica, y así disminuir el espacio entre cada perla para evitar apariencia de bajo llenado en las piezas.

Para llevar a cabo el llenado, las máquinas ponen en acción sus sistemas de control. El control sigue una secuencia en general. Se ingresan valores deseados de parámetros como presión, tiempo y distancias a los que se desea que se realice cada paso. Estos valores los procesa un controlador lógico programable (PLC) y envía señales eléctricas que salen de diferentes tarjetas de dicho dispositivo. Dichas señales pueden ser llegar a dos tipos de dispositivos. Cuando se le pide a una máquina que se lleve a cabo una acción como abrir o cerrar una válvula, la señal llega a una bobina de una válvula electroneumática que direcciona un flujo de aire para llevar a cabo dicha acción, como controlar un actuador para abrir o cerrar una válvula. Cuando se le pide a una máquina que controle un valor de presión abriendo o cerrando una válvula, la señal que sale del PLC primero llega a una válvula proporcional

que transforma la señal eléctrica en una señal neumática regulada a cierto valor de presión. La señal regulada llega a un regulador diferencial de presión que básicamente manda la señal regulada y recibe una señal de censado que viene desde el punto donde se está buscando lograr cierta presión para verificar que el valor sea correcto, y de no serlo permite que la señal neumática llegue a los actuadores para que las válvulas de control permitan alcanzar las presiones que se le piden a la máquina.

Un proceso similar ocurre durante el vaporizado. En la etapa del vaporizado tenemos tres pasos principales. Esta etapa comienza con una purga. La purga consiste en la entrada de vapor a la cámara de moldeo siendo un flujo continuo. La cámara de vapor tiene válvulas en cada lado que sirven para drenar los servicios de la cámara y adicional tienen una válvula de dren general. Cuando se realiza la purga, las válvulas de los drenes se encuentran abiertas para que el vapor que entra pueda salir de forma continua y arrastra con él rastros de humedad que quedaron de la etapa de enfriamiento del ciclo anterior. La purga tiene dos finalidades; arrastrar la humedad del molde para evitar problemas de apariencia por el choque térmico localizado en las piezas producidas y precalentar las perlas para comenzar a liberar el aire absorbido e ir facilitando la fusión en la etapa posterior a la purga. El siguiente paso se llama vapor cruzado, debido a que en este paso se abre una válvula de entrada de vapor y una válvula de dren del lado contrario mientras que la válvula del lado donde está entrado el vapor se mantiene cerrada. Esto obliga al vapor a pasar de un lado de una cámara a la otra, atravesando las perlas en el molde, para ser desfogado por la válvula de dren abierta. Después hace exactamente lo mismo pero del lado contrario. Esto provoca que las perlas se fusionen desde la parte interna y dan forma a la pieza. Finalmente se realiza un paso llamado autoclave. En el paso de autoclave se mantienen cerradas las válvulas de los drenes mientras que abren las válvulas de entrada de vapor, lo que ocasiona que el vapor se quede atrapado en las cámaras hasta que la máquina abra las válvulas de los drenes. Como en los pasos del vapor cruzado se fusionaron las perlas, se cuenta con menor espacio vacío entre ellas, por lo que el vapor de autoclave transfiere calor en mayor parte a la superficie de la pieza, dándole la apariencia final de la fusión.

Los factores que se toman en cuenta para tomar la decisión de por cuál lado iniciar el vapor cruzado son básicamente tres:

- Se inicia el vaporizado del lado contrario al lado donde se quiere que la pieza se quede pegada para ser expulsada. La corriente de vapor hará que las primeras partículas se carguen hacia un extremo y tendrán la primera fusión, cuando venga el segundo cruzado el vapor ya se encontrará con parte de las perlas fundidas y provocará una mayor dilatación al tener instantáneamente mayor calor en el extremo donde inicia el segundo cruzado. Por lo que la pieza tenderá a quedarse en este lado cuando las cámaras de molde separen el molde y se abran.
- Se inicia el vapor cruzado en el lado donde se tiene mayor área de transferencia de calor. Esto se hace para tratar de optimizar al máximo posible la cantidad de vapor suministrada empezando por fundir el lado de la pieza que tiene mayor área de transferencia.
- Se inicia el vaporizado en el extremo contrario al lado de la pieza que tiene zonas difíciles de llenar. La entrada de la primera corriente de vapor arrastrará las partículas de EPP en todas las zonas de la cavidad que pudieran resultar difíciles de haber llenado.

En el vaporizado también se controlan las presiones de vapor que se desean en cada paso y el tiempo en el que se está alimentando vapor. De ahí que la máquina también manda las señales del PLC hasta las válvulas que controlarán los parámetros requeridos.

En la etapa de enfriamiento se aplica agua por medio de espreas que van instaladas en una red de enfriamiento que va montada en el molde. En el primer paso se entra agua y las válvulas de los drenes se mantienen abiertas para que salga el agua de forma continua. Esto se hace para tratar de condensar el vapor remante que quedó en las cámaras. Posteriormente se cierran las válvulas de los drenes y se comienzan a inundar las cámaras para que el agua de enfriamiento pueda inducir la transferencia de calor de las piezas y el molde hacia el agua fría. Una vez que pasa el tiempo de enfriamiento se abren las válvulas y se drena el agua caliente. En algunos casos se aplica un paso de post-enfriamiento en el que entra aire para tratar de arrastrar el agua remanente del inundamiento de las cámaras.

Finalmente viene la etapa de la expulsión. La expulsión de las piezas principalmente se lleva a cabo de tres formas:

- Expulsión mecánica con eyectores: se instalan varillas en el molde que son empujadas por una placa cuando la prensa se está abriendo. Cuando van sobresaliendo los eyectores van expulsando las piezas de sus cavidades.
- Expulsión mecánica con pistolas eyectoras: en este caso las pistolas que se utilizaron para llenar tienen un diseño especial para recibir una señal neumática que activa un eyector integrado en la pistola y de esta forma expulsan las piezas de sus cavidades.
- Expulsión con aire: esta es la forma menos recomendada, ya que utiliza aire presurizado para despegar las piezas. Este aire se tira y es la energía que se invirtió para el proceso de compresión no es aprovechada correctamente o genera muchas pérdidas.

En DuraLite FP Planta León se tienen tres distintas marcas de maquinaria de moldeo. Las tres marcas son alemanas y su funcionamiento es en lo general parecido. Estas tres marcas son Teubert, Kurtz y Erlenbach.

Como cualquier máquina, cuentan con cuatro sistemas para su funcionamiento: neumático, hidráulico, eléctrico y mecánico. Derivado de esto, el mantenimiento preventivo de las máquinas está enfocado a conservar en buenas condiciones los elementos que integran éstos cuatro sistemas y realizar los cambios de partes en tiempo oportuno. Por otro lado, el mantenimiento correctivo requiere entender cómo funcionan cada uno de estos sistemas para poder corregir las fallas que se presenten.

3.1.3.2 Calderas y sistemas de vapor.

El vapor es un servicio primordial para moldear EPP y EPS. Las plantas de producción para estos materiales normalmente cuentan con calderas para la generación del vapor.

Las calderas son equipos de transferencia de calor que utilizan la combustión de diferentes combustibles para obtener energía calorífica y transferirla al agua para generar vapor o agua caliente, según sea el requerimiento del proceso.

Las calderas se pueden clasificar en acuotubulares y pirotubulares. En las calderas acuotubulares, el agua recorre la cámara de combustión, conocida como hogar, dentro de tubos que la rodean. Por otro lado, las calderas pirotubulares tienen una estructura parecida a la de los intercambiadores de calor de tubos y coraza, ya que corrientes de aire caliente fluyen a través de un sistema de tuberías que se encuentran sumergidas en agua contenida en la coraza.



Figura 5. Caldera acuotubular (Fuente: www.cleaverbrooks.com)

Las calderas pueden utilizar diferentes combustibles para obtener la energía necesaria para la generación de vapor. Dependiendo del tipo de combustible, el diseño del quemador de la caldera cambia. Algunos de los combustibles más comunes que se utilizan son el gas natural, el gas licuado, el combustóleo y el diésel. Actualmente en nuestra planta estamos utilizando gas natural. Este combustible se caracteriza por tener un buen valor de capacidad calorífica, actualmente es el combustible más barato, su distribución es por medio de tomas que instala el distribuidor y es el que ocasiona menor costo de mantenimiento para las instalaciones y las calderas.

Las calderas pirotubulares tienen un funcionamiento sencillo de entender. Se alimenta con combustible, el cual pasa por un regulador. El combustible llega a un quemador en el cual está instalada una bujía que emite una chispa para iniciar la combustión, pero es controlada como un piloto de un boiler casero. Al mismo tiempo se está haciendo pasar aire por medio de un ventilador. Cuando se tiene encendido el piloto, una fotocelda detecta el espectro ultravioleta de la

flama y da la señal para que el control de encendido abra la válvula para extender la flama. La flama se extiende a lo largo del hogar gracias al flujo inducido del aire que ingresa el ventilador. El aire que entra se calienta y llega a la tapa posterior de la caldera, la cual está revestida de un material refractario y al toparse con la tapa el flujo de aire revota y entra por el primer paso de tubos llamados fluxes. De igual forma cuando el aire recorre el total de la longitud del primer paso de fluxes vuelve a chocar ahora con la tapa frontal, que también está revestida con material refractario y se encuentran separados por una mampara en cada tapa para inducir el flujo del aire de tal manera que vaya ascendiendo en los pasos de fluxes. La mampara de la tapa frontal es metálica, mientras que la mampara de la tapa posterior está construida de ladrillo refractario. En el último paso de fluxes, los humos salen de la caldera a través de una chimenea. Al mismo tiempo que el agua que rodea a los tubos se va evaporando, un control de nivel de agua le manda señal a una válvula de alimentación de agua para que abra y permita el paso del agua para recuperar el nivel y continuar con el flujo continuo de vapor. Así mismo, dependiendo de la demanda de vapor, la caldera regula el consumo de combustible para aumentar o disminuir la generación de vapor.

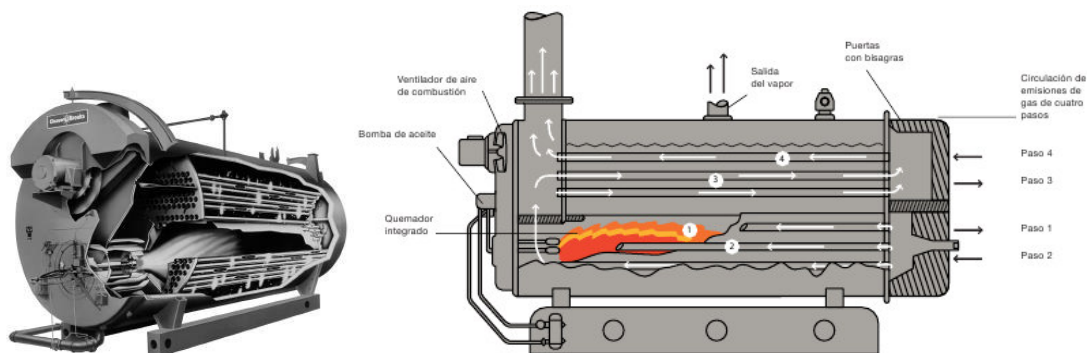


Figura 6. Caldera pirotubular (Fuente:www.cleaverbrooks.com)

El funcionamiento que se describió anteriormente, opera gracias a un sistema que controla principalmente tres variables: presión, nivel de agua y combustión o flama. Este control sirve para que la caldera opere adecuadamente y de forma automática, pero aún más importante para que opere de forma segura.

El control de presión está integrado por un transductor de presión que va conectado a un manómetro analógico y le manda una señal a un controlador. El controlador está programado para que la caldera opere en un rango de

presiones y cuando se ha superado la presión máxima de trabajo, el controlador manda una señal para bloquear el suministro de gas y aire para impedir que la caldera siga quemando combustible para generar vapor, y por lo tanto sigue elevando la presión del recipiente. Si el controlador llegara a fallar, la caldera cuenta con dos válvulas de seguridad que se abren aproximadamente 4 kg/cm^2 por debajo de la presión de diseño. El control de la presión es importante debido a que si este control falla, se pueden vencer las soldaduras con las que se fabricó la caldera y ocasionar que colapse y explote.

El control de nivel de agua es importante para que la caldera nunca se quede con bajo nivel o vacía por lo que las dos situaciones presentan riesgo. El control de nivel rudimentario tiene un flotador que manda una señal proporcional del nivel de agua en la caldera. Cuando el nivel baja, el controlador manda una señal a la válvula que permite el paso de agua al interior de la caldera y en ocasiones también está conectado a la bomba que alimenta a la caldera para que arranque el motor de la bomba únicamente cuando la caldera requiere agua y de esta forma se ahorra el consumo de energía constante y el riesgo de tener una línea constantemente presurizada.

Cuando una caldera se queda sin agua, es la situación más riesgosa que puede terminar en una explosión. Es importante que el operador de las calderas tenga la capacitación adecuada, ya que el no saber tomar una decisión en estos casos puede ser fatal. Si una caldera se queda sin agua y ante esto se le mete agua de forma manual, el choque térmico que ocasionará el agua con el metal de la caldera ocasionará que las soldaduras del recipiente colapsen y la caldera explote. Comúnmente las calderas cuentan con doble protección ante esta situación. Si llegara a fallar el primer flotador, cuenta con un segundo que bloquea la caldera y no se puede encender hasta que registra un nivel adecuado de agua.

Finalmente se tiene el control de flama, el cual está integrado un detector de flama o fotocelda que detecta la luz ultravioleta o el infrarrojo para poder mandar la señal de encendido. Si no detecta adecuadamente, el controlador no permite la entrada de gas para evitar combustiones incompletas que ocasionen pequeñas explosiones de gas en el hogar o en casos más extremos grandes

explosiones que pueden dañar internamente la caldera y dejarla fuera de operación.

La operación de calderas precisa contar con una capacitación especial. Esta capacitación está diseñada de acuerdo a lo indicado en la NOM-020-STPS-2011, una vez que se ha recibido la capacitación se debe recibir una constancia que certifica que quien ha recibido dicho curso se encuentra capacitado en la operación segura de calderas. Las constancias oficiales que son otorgadas por personas certificadas se les conocen como DC-3 de Habilidades Laborales.

La NOM-020-STPS-2011 establece los requisitos de seguridad para el funcionamiento de tanques sujetos a presión, recipientes criogénicos y calderas. En esta norma se indican temas como la clasificación de los equipos de acuerdo a las presiones a las que operan, inspecciones periódicas y las pruebas que se deben aplicar, la operación adecuada y mantenimiento de los equipos.

Mantenimiento de calderas

El mantenimiento preventivo de las calderas consta de los siguientes puntos básicos:

- Cambio de empaques de tapas frontal y posterior.
- Cambio de empaques de entradas mano.
- Lavado y deshollinado de lado fuego.
- Lavado de lado agua para remoción de lodos.
- Cambio de sellos de mamparas.
- Cambio de vidrio de nivel, empaques de cuerpos de flotadores y limpieza interior de flotadores.
- Mantenimiento al quemador.
- Resanado de refractario de tapas.
- Mantenimiento a los trenes de combustible.
- Verificación de funcionamiento de sistemas de control.
- Calibración de válvulas de seguridad.
- Carburación

Cada uno de estos mantenimientos se llevan a cabo de forma periódica y aquellos que requieren abrir la caldera normalmente se llevan a cabo durante paros relativamente prolongados de producción, debido a que la apertura de las calderas implica que se deben enfriar para evitar choques térmicos que provoquen daños al cuerpo, estructura o soldaduras de equipos y que puedan implicar reparaciones mayores o situaciones de alto riesgo.



Figura 7. Fotografía del fondo de una caldera durante la limpieza del lado agua. (Fuente: fotografía de captura propia durante un mantenimiento a una caldera.)

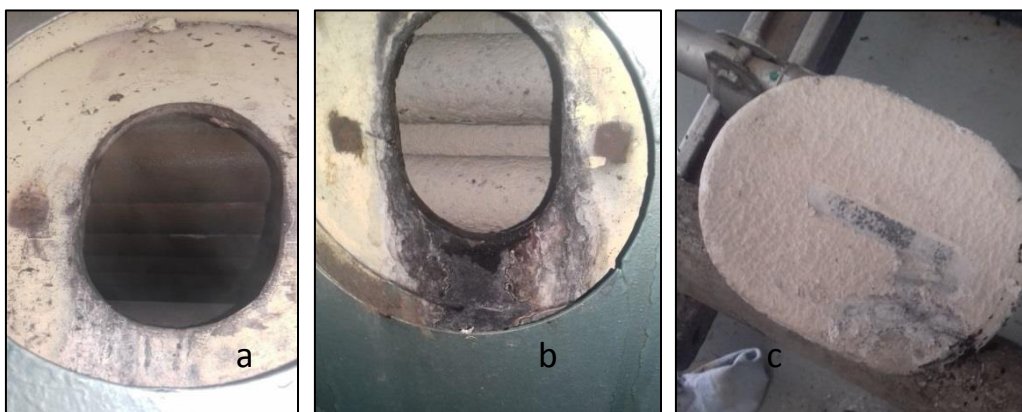


Figura 8. Vista de tubos flux a través de una entrada mano: a) tubos limpios. b) tubos recubiertos de lodos del tratamiento químico. c) Tapa tortuga de entrada mano. Se puede apreciar que el lodo blanco es removido fácilmente con un dedo. Si el recubrimiento blanco fueran incrustaciones de calcio y magnesio no se podrían remover, se tendría que utilizar un tratamiento químico y/o mecánico. (Fuente: fotografía de captura propia durante un mantenimiento a una caldera.)



Figura 9. Daños en refractarios: a) Cuarteadura en tapa intermedia de refractario. b) Fractura en refractario de tapa posterior. Estas fracturas permiten que el calor penetre al interior del refractario y llega hasta la pared metálica ocasionando problemas en la tapa. c) Caída de ladrillos del refractario del quemador. (Fuente: fotografía de captura propia durante un mantenimiento a una caldera.)

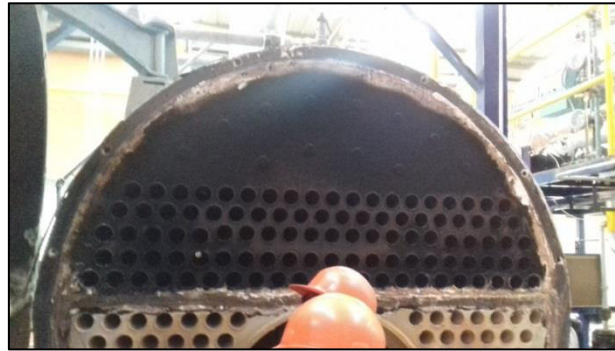


Figura 10. Caldera hollinada por mala carburación. (Fuente: fotografía de captura propia durante un mantenimiento a una caldera.)

Como lo dicta la norma, los mantenimientos deben ser efectuados por personal capacitado para llevarse a cabo adecuadamente. Además del mantenimiento mecánico, se debe realizar el mantenimiento de la instrumentación de control y se deben realizar pruebas no destructivas para vigilar el estado real y la integridad de las calderas. Las tres principales pruebas que se llevan a cabo son las siguientes:

- Medición de espesores
- Líquidos penetrantes
- Prueba hidrostática

La medición de espesores tiene el objetivo de identificar zonas con adelgazamiento a través de un método ultrasónico de contacto pulso-eco. Los defectos en los materiales pueden ser identificados por este método siempre y cuando la propagación de ondas ultrasónicas sean a velocidades constantes, se puedan obtener reflexiones evaluables y las ondas se encuentren dentro del haz ultrasónico.

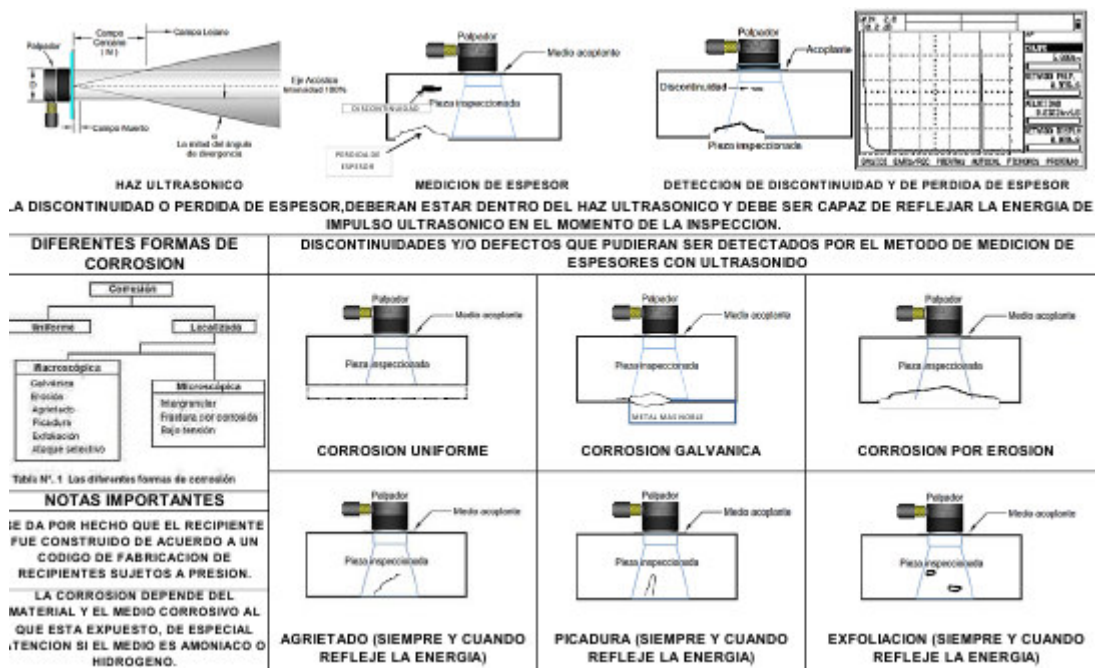


Figura 11. Principio del método ultrasónico para la medición de espesores. (Fuente: reporte de elaboración original para una caldera por parte de una unidad verificadora).

La prueba de líquidos penetrantes es un método utilizado para inspeccionar soldaduras, zonas sometidas a alta carga térmica o sujetas a presión y detecta discontinuidades abiertas a la superficie. Las discontinuidades como grietas o porosidades deben ser interpretadas por un experto para determinar el significado de los hallazgos. La interpretación de esta prueba no garantiza que se tenga integridad subsuperficial. De ahí que se debe complementar con la prueba hidrostática, la cual detecta fugas, abombamientos u otros defectos en el cuerpo de los equipos.

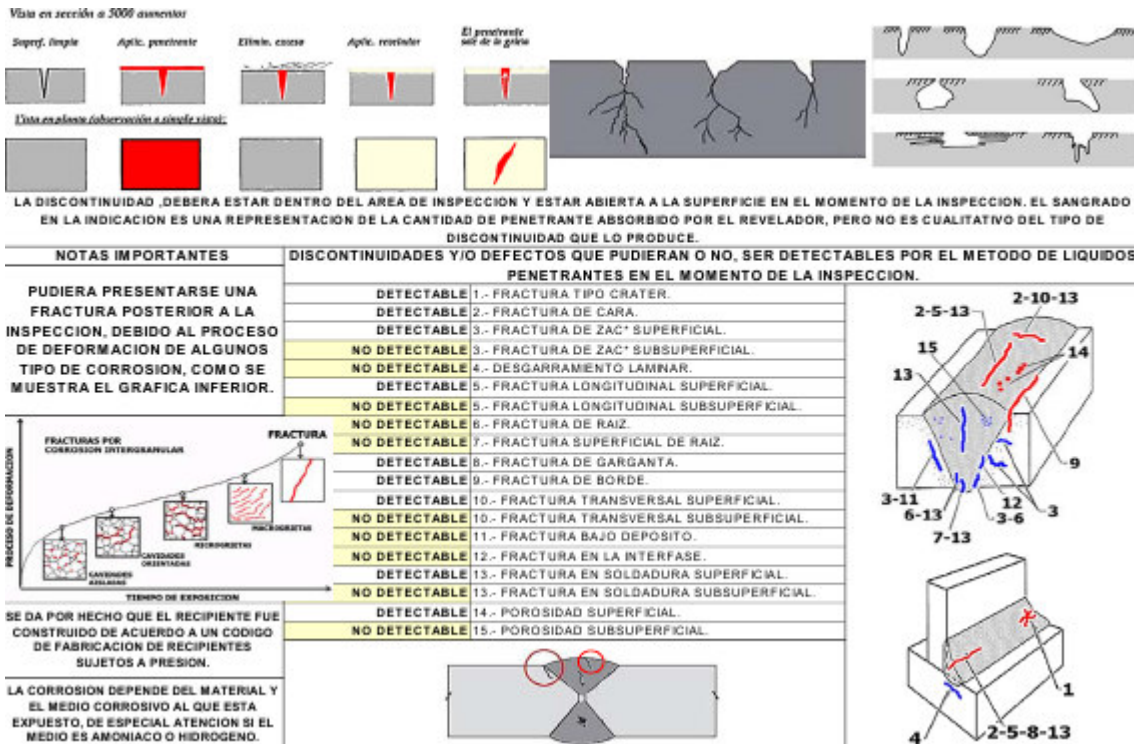


Figura 12. Principio utilizado en la prueba de líquidos penetrantes (Fuente: reporte original de una caldera emitido por una unidad verificadora).



Figura 13. Gráfica de prueba hidrostática (Fuente: reporte original para una caldera emitido por una unidad verificadora).

La prueba hidrostática consiste en presurizar el equipo, generalmente con agua, a una presión al menos un 10% mayor a la presión de operación y/o de los dispositivos relevadores de seguridad como son las válvulas de seguridad.



Figura 14. Daños en soldadura: a) Hallazgo de fuga en soldadura después de efectuar prueba hidrostática. El agua logra fugar hacia el lado fuego a través de la soldadura de un tubo flux. b) Hallazgo de daños superficiales en soldadura del hogar refractario al espejo utilizando el método de líquidos penetrantes. (Fuente: fotografía de captura propia durante un mantenimiento a una caldera.)

Otro aspecto altamente importante para el cuidado de las calderas es el control de la calidad de agua que se utiliza para alimentarlas y generar vapor. El agua contiene sustancias disueltas de forma natural que provienen de los pozos de donde se extrae el agua para suministrar a plantas industriales en todo el mundo. La concentración de estas sustancias varía dependiendo de la zona y fuentes de extracción del agua.

Es común que el agua contenga concentraciones de sales de calcio, magnesio, hierro, cobre, sílice, oxígeno y bióxido de carbono. Cada una de estas sustancias química puede ocasionar efectos específicos dentro de una caldera debido a la temperatura y presión a la que se somete para la generación de vapor. Los principales problemas que se pueden presentar en las calderas cuando no se tiene controlada la calidad del agua son la aparición de incrustaciones y corrosión.

Las incrustaciones se generan principalmente cuando se tienen altas concentraciones de calcio y magnesio, debido a que las sales de estos dos elementos del grupo 2 de la tabla periódica son insolubles y se van depositando en las paredes del cuerpo de la caldera cuando van aumentando su concentración cuando se evapora el agua. Los depósitos formados van aumentando el grosor de los tubos. Adicional a esto, las sales de calcio y magnesio no son buenas conductoras del calor, por lo que van formando una resistencia a la transferencia de calor y por consiguiente disminuye la eficiencia de la caldera.

Las incrustaciones son difíciles de eliminar, por lo que el mantenimiento para desincrustar una caldera es complicado y costoso. Para evitar estos problemas se deben llevar a cabo dos tipos de controles, uno que acondicione el agua eliminando las sales incrustantes antes de entrar a la caldera y otro que prevenga la formación de incrustaciones por el remanente de sales que logren ingresar a la caldera.

El primer tratamiento para eliminar las sales de calcio y magnesio puede variar dependiendo de las necesidades del proceso. Dos de los métodos más comunes para reducir las concentraciones de calcio y magnesio en el agua son el ablandamiento o suavizado y la ósmosis inversa.

El ablandamiento es un proceso que consiste en hacer pasar el agua por tanques que contienen resinas capaces de hacer un intercambio iónico, capturando los iones de calcio y magnesio y liberando iones que forman sales solubles como las de sodio. Por otra parte, la ósmosis inversa utiliza membranas que retienen las concentraciones de sales y generan agua desmineralizada.

Para evitar que se formen incrustaciones, se utilizan tratamientos químicos que fundamentalmente se basan en mantener protegida la superficie metálica de la caldera para evitar que se depositen en ella y se forman lodos que se pueden ir eliminando del agua de la caldera mediante purgas de agua. Las purgas son parte de la operación de la caldera y sirven para bajar la concentración de sales en el agua de la caldera.

Por otra parte, la corrosión puede ocasionarse por ambientes de pH en los que se presentan fenómenos electroquímicos en el hierro del cuerpo de la caldera. El pH del agua dentro de la caldera depende de la concentración de compuestos como bicarbonatos o fosfatos, los cuales se descomponen gradualmente y liberan gases como el bióxido de carbono. La generación de gases puede ocasionar corrosión tanto dentro de la caldera como las líneas de distribución y puntos de aplicación, ya que se van mezclados con el vapor.

Otro elemento importante en un sistema de vapor es el tanque deareador, el cual es equipo que cumple con dos funciones para acondicionar el agua de una caldera:

1. Precalienta el agua de alimentación de la caldera para evitar choques térmicos cuando el agua ingrese a la caldera.
2. Reduce la concentración de oxígeno disuelto en el agua basándose en dos principios. Al elevar la temperatura del agua, el oxígeno y otros gases se vuelven menos solubles en el agua y genera una turbulencia de forma mecánica para promover y facilitar la liberación de los gases.

Actualmente las calderas son equipos industriales ampliamente utilizados desde aplicaciones para servicio en hoteles y hospitales hasta grandes plantas industriales.

3.1.3.3 Torres de enfriamiento y redes de agua de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son equipos industriales que sirven para disminuir la temperatura de fluidos como el agua para destinarlos a otras etapas de los procesos.

Las torres de enfriamiento utilizan ventiladores que inducen flujos de aire a contracorriente de los flujos calientes para provocar la pérdida de calor por

medio de un intercambio por convección. El aire con una velocidad normalmente mayor a la corriente caliente recibe el calor como vapores y sale de la torre, de tal forma que se origina una transferencia simultánea de calor, masa y momento. La corriente caliente al disminuir su temperatura es enviada a algún punto de almacenamiento o de forma continua al proceso.

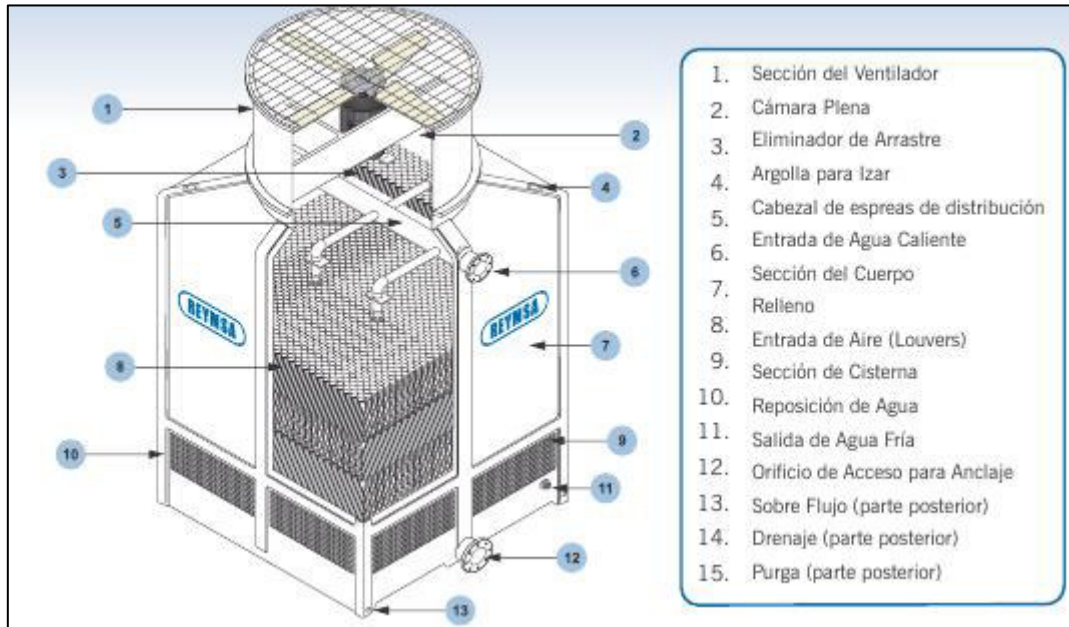


Figura 15. Unidad de una torre de enfriamiento (Fuente: www.reymosa.com)

Mantenimiento de Torres de Enfriamiento

Las torres de enfriamiento son equipos comunes en los procesos industriales. Su mantenimiento no es muy complejo, sólo requiere de cuidados preventivos. Por ejemplo, los motores de los ventiladores deben recibir mantenimiento preventivo para evitar que se dañen y baje la eficiencia de la torre por la pérdida de un ventilador.

Uno de los mantenimientos más comunes es la limpieza o cambio del relleno de la torre. Esto debido a que estos equipos normalmente se encuentran localizados a la intemperie para tener un buen flujo de aire para el enfriamiento y el relleno es susceptible a ensuciarse y saturarse. Al saturarse el relleno de suciedad, disminuye la eficiencia de la torre ya que actúa como una resistencia a la transferencia de calor y empobrece el efecto del diseño del relleno, el cual promueve la turbulencia para favorecer la transferencia de calor.



Figura 16. Relleno de torre de enfriamiento saturado de lodos e incrustaciones. (Fuente: fotografía de captura propia durante un mantenimiento a una torre de enfriamiento.)

Otro factor que puede ocasionar el ensuciamiento del relleno es la aparición de incrustaciones, algas y hongos. Estos tres factores se evitan aplicando un tratamiento químico que protege al equipo para que no se depositen incrustaciones y evitan la formación de colonia de microorganismos. Así mismo, el tratamiento en el agua de enfriamiento es utilizado para mantener rangos de pH y dureza que eviten la formación de incrustaciones y corrosión en los moldes de aluminio.

3.1.3.4 Compresores de aire y líneas de distribución de aire comprimido.

El aire comprimido es utilizado para algunos pasos del proceso de moldeo como el llenado y la expulsión, para el control neumático de la maquinaria y para el funcionamiento de otros equipos que utilizan dispositivos como pistones neumáticos.

Para generar aire comprimido se utilizan compresores de tornillo, los cuales consisten en un mecanismo que succiona aire y pasa a una unidad de compresión, en la cual dos piezas que giran a altas revoluciones y se encuentran unidas como dos engranes atrapan el aire en aceite y posteriormente es enviado a una secuencia de pasos para separar el aceite y la humedad del aire y enviarlo a la línea de distribución.

Mantenimiento de Compresores

Uno de los principales factores que se deben cuidar en el funcionamiento de un compresor es la unidad de secado, la cual funciona utilizando un refrigerante para controlar el punto de rocío en una temperatura adecuada para separar la humedad del aire. Cuando no se tiene aire seco, se pueden tener muchas

consecuencias en el aspecto del mantenimiento de una planta. La humedad en el aire provoca daños en dispositivos neumáticos y en las líneas de distribución, y por consiguiente fallas en los equipos que funcionan con sistemas neumáticos y esto implica averías o paros de maquinaria y equipos.



Figura 17. Compresor de aire enfriado por aire marca Atlas Copco (Fuente: www.atlascopco.com)

La calidad del aire se controla principalmente mediante las unidades separadoras integradas de los compresores, filtros en las líneas de distribución y purgas de condensados, así mismo se instalan en los equipos unidades de mantenimiento para el aire comprimido, las cuales constan de un filtro, un regulador de presión y un lubricador. El filtro separa la humedad y suciedad del aire, el regulador mantiene la entrada de aire a un equipo a la presión de trabajo que requiere el sistema de control neumático y el lubricador dosifica pequeñas cantidades de aceite neumático al aire que entra al sistema de control para lubricar ligeramente los mecanismos de dispositivos como válvulas neumáticas para evitar averías.

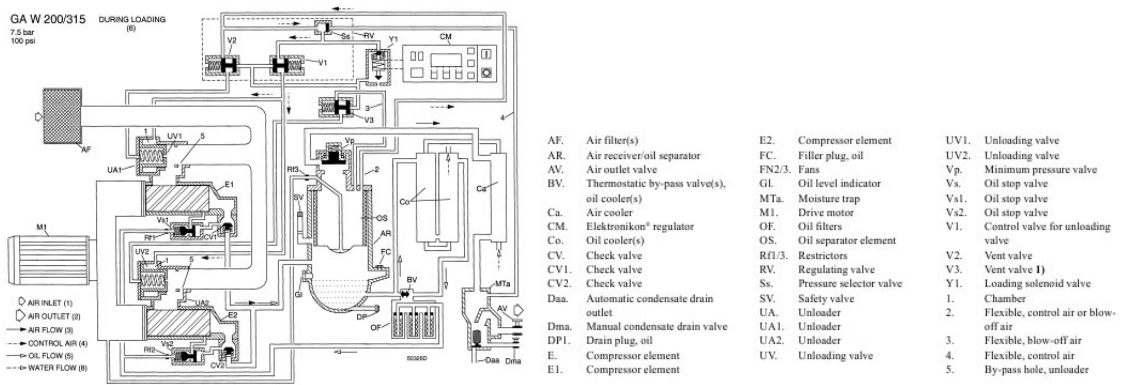


Figura 18. Partes de un compresor enfriado por agua (Fuente: www.atlascocpo.com)

3.1.3.5 Bombas de vacío.

Las bombas de vacío tienen un funcionamiento similar al de un compresor, ya que cuentan con una unidad de compresión, pero en este caso se usa para el transporte de volúmenes de aire y su expulsión de una línea en la que se logra generar vacío.



Figura 19. Bomba de vacío Quincy (Fuente: www.quincy.com)

La presión de vacío que se busca generar debe cumplir con ciertos rangos de presión para que las máquinas puedan llevar a cabo sus funciones correctamente, principalmente para el transporte de materia prima.

El mantenimiento de las bombas de vacío es sencillo si se lleva una rutina de conservación preventiva. Su cuidado es cambio de filtros, cambio de aceite, mantenimiento de los enfriadores y cambio preventivo de rodamientos al motor y la unidad de compresión.

A pesar de que su funcionamiento y mantenimiento son sencillos, este equipo debe recibir atención adecuada en la planta DuraLite FP debido a que

actualmente es un equipo único para suministrar vacío a toda la línea de producción, por lo cual una falla de este equipo puede ocasionar un paro de planta general.

3.1.4 Los sistemas de manufactura y calidad en la industria automotriz

Como se mencionó en el capítulo 2, en la industria automotriz se cuenta con una guía que nos indica el camino a seguir y las reglas a respetar y se encuentran plasmadas en la norma IATF-16949:2015. Esta norma nos habla de dos aspectos fundamentales; cómo estructurar un sistema de manufactura y cómo gestionar la calidad de las salidas del sistema de manufactura. Es decir:

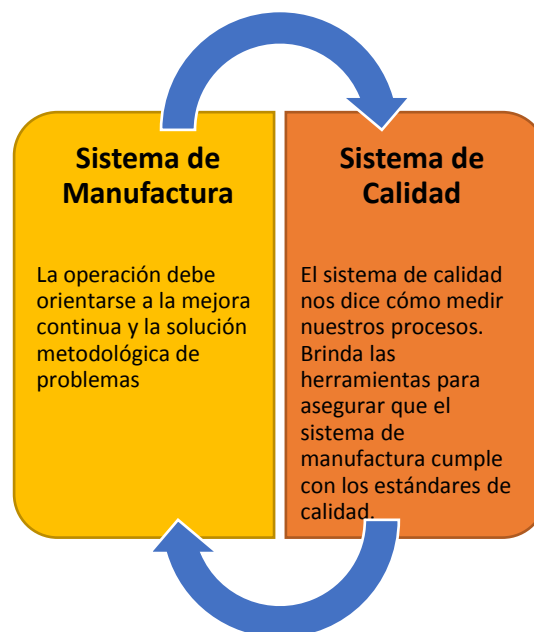


Figura 20. Relación del sistema de manufactura y su gestión con el sistema de calidad.

(Fuente: elaboración propia)

La industria automotriz vive bajo un ambiente de competencia constante. Bien lo dijo un gerente de planta: *“En esta industria no es posible hacer muchas cosas buenas y sentarse en sus laureles”*. La mejora debe ocurrir todos los días y de forma permanente. Los sistemas de manufactura deben estar orientados a educar a su gente para que sean capaces de solucionar problemas de una forma metódica. También debe fomentar la generación de ideas para mejorar los procesos en todos sus aspectos.

Por el lado del sistema de calidad, es el que determina las herramientas necesarias para medir, controlar y mejorar los procesos de manufactura, así como la documentación adecuada que asegure aspectos como la trazabilidad y seguimiento.

Para todo lo que nos pide la norma IAT 16949, existen dos grandes modelos que engloban a las metodologías y herramientas necesarias para implementar y gestionar los sistemas de manufactura y calidad. Para la parte de las metodologías de un sistema de manufactura tenemos al modelo de Lean Manufacturing y para la parte de las herramientas de calidad tenemos las Core Tools. Juntas se resumen a la operación de un sistema de manufactura gestionado bajo un sistema de calidad orientado a la mejora continua.

3.1.4.1 Lean manufacturing

Lean manufacturing es una filosofía de administración de las operaciones de una compañía, la cual está orientada a optimizar la productividad implementando métodos para reducir costos, mejorar los tiempos de entrega, producir con calidad a la primera vez y mejorar las condiciones de trabajo de sus colaboradores.

La filosofía de Lean tiene su corazón en colaboradores motivados y flexibles para la solución de problemas y la mejora continua. Es por esta razón que la capacitación será indispensable cuando se tenga la iniciativa de comenzar a implementar esta filosofía de trabajo.

Lean manufacturing busca orientarnos en las formas de reducir costos y tiempos en actividades o pasos del proceso que no agregan un valor al producto. Nos ayuda a identificar desperdicios para poder eliminarlos de nuestro proceso y así aumentar la productividad, la satisfacción del cliente, la calidad y el flujo del proceso.

La productividad es un proceso, por lo cual tiene entradas y salidas. Mientras mejor sea la calidad de las entradas, mejor será la calidad de las salidas. Así mismo, mientras mejor aprovechadas sean las entradas, mejor será el rendimiento de las salidas. Veámoslo de la siguiente forma:

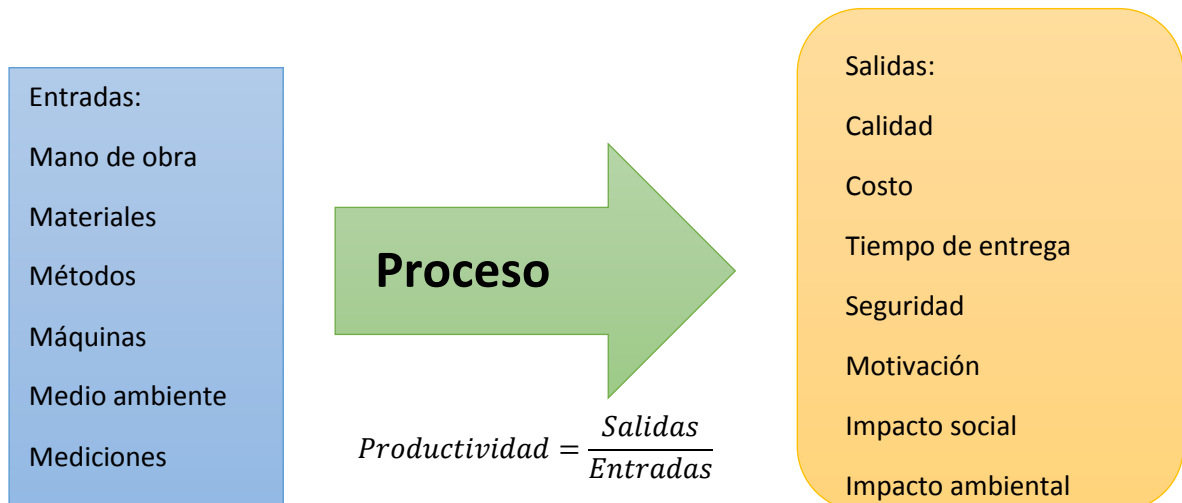


Figura 21. La productividad como un proceso. (Fuente: Soconini, L., “Certificación Lean Six Sigma Yellow Belt”)

Las limitantes de la productividad son tres:

- Sobrecarga: ocurre cuando a las personas o a las máquinas se les exige que produzcan más allá de sus límites naturales o de sus capacidades.
- Variabilidad: ocurre cuando un proceso no se encuentra controlado y sus variables ocasionan problemas de eficiencia.
- Desperdicios: son trabajos que no agregan valor al proceso ni al producto.

Precisamente estos tres factores son los que analiza Lean para eliminarlos y aumentar la productividad.

Lean está fundamentada en cuatro pilares para poder ser implementada:

- I. Filosofía a largo plazo
- II. Procesos continuos, nivelados, estandarizados, controlados, con la tecnología adecuada y con calidad a la primera.
- III. Desarrollo de la gente
- IV. Solución de problemas y aprendizaje.

A continuación, se describen las principales metodologías Lean que se pueden utilizar en los sistemas de manufactura.

Kaizen

Kaizen viene del japonés y significa mejora continua. Es una metodología que se lleva a cabo de forma gradual y ordenada para involucrar a las personas de una organización para hacer mejoras trabajando en equipo.

Se aplica para hacer mejoras cuando se tienen problemas de calidad, se requiere mejorar la distribución de las áreas, se requiere disminuir el tiempo de preparación de áreas y equipos, se requiere reducir el tiempo de entrega a los clientes internos y externos, se desea reducir costos, se quiere mejorar el orden y la limpieza, se requiere reducir la variabilidad de un proceso o una característica de calidad y se quiere mejorar la eficiencia de los equipos.

Estrategia Hoshin Kanri

Es una técnica de planificación estratégica que ayuda a las empresas a enfocar sus esfuerzos y analizar sus resultados. Es un guía de cómo traducir la misión y la visión de una empresa en objetivos estratégicos. Para esto define indicadores de desempeño y los transforma en un marco de trabajo basado en proyectos. Por esto, su nombre en japonés significa: dirección y control de la organización apuntando hacia un enfoque.

Esta técnica se utiliza cuando se desea realizar la planificación estratégica de la compañía a largo plazo y establecer actividades y proyectos a todos los niveles de la organización para cumplir con las metas previstas.

Estructura por cadenas de valor

Las cadenas de valor son unidades de negocio compuestas por todos los responsables directivos, por sus equipos, áreas, etc. Estas unidades toman decisiones y entregan resultados de principio a fin de su proceso y se encuentran constituidas por equipos multidisciplinarios.

Las cadenas de valor sirven para eliminar la burocracia que impide el desarrollo, mejorar la comunicación entre las personas, permitir que cada cual se enfoque mejor a lo que sabe, dar tiempo a la dirección para planificar y analizar el futuro del negocio, permitir que estrategias e iniciativas de mejora sean exitosas y manejar la empresa en relación con el valor creado para los clientes.

Las cadenas de valor tienen sus recursos asignados y todo el valor, costo y las utilidades se miden por la cadena de valor. Las cadenas de valor trabajan bajo el enfoque de aportar valor directo al cliente.

Los principales beneficios de estas estructuras son:

- Los clientes reciben a tiempo y con calidad sus servicios y productos.
- Cada nivel sabe perfectamente sus responsabilidades
- Los gerentes de cada cadena de valor tienen responsabilidades y autoridades para que los procesos fluyan al ritmo del cliente.
- Los directivos tienen tiempo de planificar
- La información fluye más rápido y todos están más motivados por tener retos y contribuir con ideas de mejora.

Desarrollo de talento

Gran parte de los problemas de calidad, comunicación y productividad no son por falta de alta tecnología o recursos complicados. En realidad, lo que falta es dedicar tiempo a enseñar, aprender y aplicar.

El desarrollo de talento es una metodología utilizada por Toyota para crear una cultura de aprendizaje. Toyota capacita a los empleados de todas las áreas y acompaña a cada persona para que pueda alcanzar su máximo potencial.

Al implementar el desarrollo de talento, se busca generar alta capacidad y calidad con un equipo de personas comprometidas, conocimiento muy valioso, sistema de entrega de aprendizaje, sistema de enseñanza y gerentes maestros.

Las 5 S

La cultura y los hábitos de las personas son el elemento más importante en la cultura del pensamiento Lean. Uno de los principios esenciales para iniciar un sistema de mejora es el orden y la limpieza y su seguimiento. La técnica para mejorar la limpieza, organización, utilización de las áreas de trabajo y el aprovechamiento del tiempo es la conocida como 5 S. Su nombre deriva de los cinco pasos a seguir para implementarla:

Seiri – Seleccionar

Seiton – Organizar

Seiso – Limpiar

Seiketsu – Estandarizar

Shitsuke – Seguimiento

Esta técnica logra mejoras mediante la adopción de hábitos de orden y limpieza, y éstas se traducen en una mejor productividad.

Andon y control visual

Andon es una palabra japonesa que se utilizaba en la antigüedad para denominar unas lámparas que funcionaban como señales visuales para transmitir un mensaje.

El principio de esta técnica se basa en que de todas las vías de recopilación de información con las que cuenta el ser humano, el 83% lo domina la vista y le sigue el oído con un 11%. Esta técnica usa señales visuales y sonoras para proporcionar información acerca de los procesos. Las señales que envía pueden servir para notificar problemas de cualquier índole referente al proceso en tiempo real.

Por ejemplo, el Andon puede consistir en pantallas en las áreas de producción que muestran en tiempo real si alguna línea de producción está en paro por alguna falla mecánica o por falta de algún componente para el producto, así mismo puede darnos información sobre el tiempo de ciclo o sobre problemas de calidad. También puede estar registrando parámetros del proceso que pueden afectar a la producción.

Solución de problemas

Lean propone una forma sistemática de solucionar problemas, así como la documentación de su resolución. A la técnica que se ha logrado estandarizar en la industria automotriz se le conoce como las tres disciplinas (3D), debido a que consta de tres pasos indispensables para la solución a un problema:

1. Definir el problema
2. Identificar la causa raíz

3. Dar la solución

En la definición de los problemas se plantea cuál es en sí el problema que se suscitó, las acciones de contingencia que se han tomado, los integrantes que han formado parte del problema y la descripción detallada del problema usando datos.

Identificar la causa raíz es la etapa donde se hace uso de herramientas como el diagrama de Ishikawa, los 5 por qué, diagramas de árbol, etc. En esta etapa se prueban las teorías de las causas del problema para identificar aquella que fue la raíz y finalmente implementar acciones correctivas y preventivas contra la causa que originó el problema.

Análisis de Modo de Efecto de Falla (AMEF)

El AMEF fue utilizado por primera vez en 1960 por la industria aeroespacial durante el programa Apolo y posteriormente lo utilizó la Fuerza Naval de los Estados Unidos de América.

Aproximadamente diez años después, Ford Motor Company adoptó el método AMEF debido a los altos costos generados por demandas de responsabilidad civil en la manufactura de automóviles. Posteriormente otras compañías como Chrysler y General Motors se unieron con Ford para la creación de un documento estandarizado para poder aplicar el método AMEF. Finalmente el documento tomó parte en la norma QS9000, que ahora es la IATF 16949.

El método AMEF es utilizado para analizar los riesgos y los posibles problemas que pudieran causar, y de esta forma tener medidas de prevención.

Mapa de Cadena de Valor (VSM)

Cuando se han querido implementar metodologías y herramientas de productividad y calidad, es común que fracasen si se ha querido iniciar en todas las áreas al mismo tiempo sin establecer un enfoque preciso de las necesidades de los procesos y los productos.

Para evitar este alto riesgo de fracaso, se propone realizar un mapeo de la cadena de valor. En este mapeo se identifican los pasos del proceso y las actividades que realmente están agregando un valor y por lo tanto aquellas que

están generando un desperdicio. Si esto no se identifica antes de implementar alguna otra metodología o herramienta, no se tendrá un enfoque correcto.

Cuando se ha hecho un mapa de la cadena de valor de cualquier proceso, será más fácil tener objetivos precisos de lo que se quiere lograr y las metodologías y herramientas necesarias para mejorar.

Estas son solo algunas de las técnicas que ofrece Lean para poner en práctica la mejora de los procesos, existen una gama aún más amplia. Sin embargo quise mencionar las anteriores debido a que son técnicas que en mi experiencia he utilizado y nos han ayudado a tener mejores resultados.

3.1.4.2 Core tools

Las herramientas de la calidad, comúnmente conocidas como Core Tools en el ramo automotriz, nos ayudan a lograr la mejora en las organizaciones. En ocasiones puede ser confusa la diferencia entre las herramientas de calidad y las técnicas que propone Lean Manufacturing. No nos dejemos confundir, estamos hablando de técnicas que en conjunto nos llevarán a la mejora. Recordemos una frase de uno de los gurús de la calidad, la cual tomó parte de una original de Lord Kelvin para aplicarla a los sistemas de calidad: “Medir para controlar y controlar para mejorar” (E. Deming).

Lean Manufacturing nos ayuda a enfocarnos en mejorar los procesos, las herramientas de calidad nos ayudan a dar seguimiento a la mejora a través de mediciones. Van de la mano, no pueden estar separadas si queremos que el sistema funcione.

Gran parte de las herramientas de la calidad están basadas en principios estadísticos. Mencionaremos brevemente algunas de ellas, aunque más adelante veremos casos prácticos en los que se han utilizado y han estado en sinergia con metodologías de Lean Manufacturing.

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta muy útil para identificar las causas potenciales que están generando un problema, y de esta forma enfocar nuestros esfuerzos para atacar esas causas.

Esta herramienta se llama así en honor al economista italiano Vilfredo Pareto, quien estudió la distribución de la riqueza a finales del siglo XIX y observó que en su país 80% de las propiedades estaban en poder de sólo el 20% de la población, por esto también se le conoce como Principio de Pareto o Principio de la proporción 80-20. Más tarde, Max Otto Lorenz llegó a conclusiones muy parecidas en Estados Unidos. Este principio se comenzó a utilizar como herramienta de calidad por Joseph Juran y a partir de ahí se adoptó al comprobar su gran utilidad para la solución de problemas.

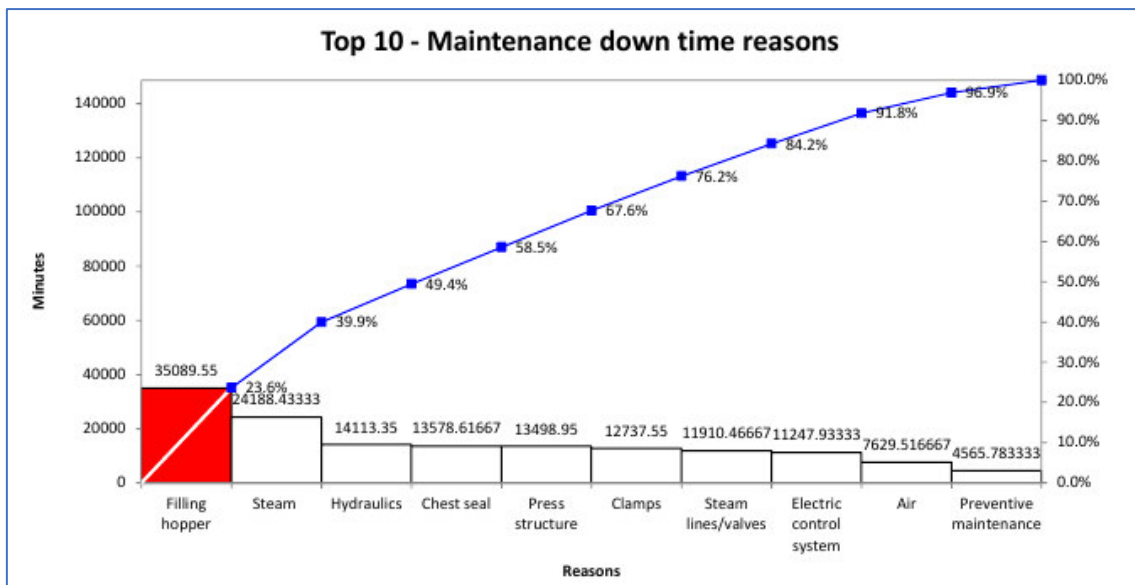


Figura 22. Diagrama de Pareto para identificar las diez causas principales de tiempo muerto por problemas de mantenimiento. (Fuente: elaboración propia para presentación de resultados del año 2017)

Histogramas

El histograma es una herramienta estadística de gran utilidad para encontrar la tendencia de un proceso o una distribución de probabilidad.

Una de las finalidades de analizar la tendencia y la distribución de datos de un proceso es determinar su capacidad. El análisis de la capacidad de un proceso es el que nos provee la información necesaria para saber si la variación natural del mismo nos va permitir estar dentro de especificaciones.

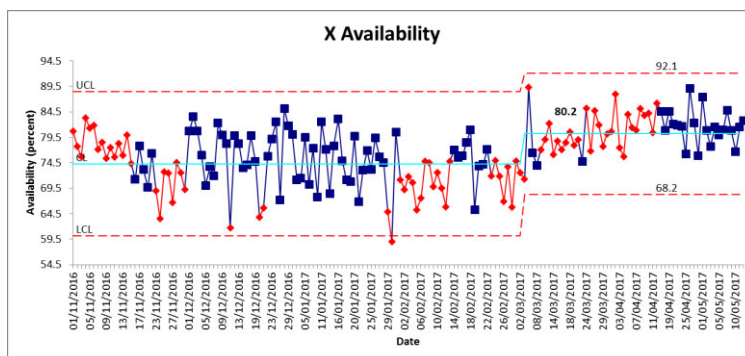
Gráficos de control

Los gráficos de control son la herramienta principal que se utiliza en la técnica de Control Estadístico de Procesos, comúnmente conocida como SPC por sus

siglas en inglés (Statistical Process Control), y sirve para observar el comportamiento y la variación de un proceso. El autor de esta técnica fue W. A. Shewhart, quien comenzó a utilizarlas cuando trabajó en Bell Telephone en la década de 1920.

Esta técnica nos permite identificar cuando un proceso se sale de control estadístico y se deben tomar acciones para corregir esa situación. Las gráficas de control consisten en una línea central que normalmente es un promedio estadístico, un límite superior y un límite inferior. Un proceso se ha salido de control cuando uno o más puntos están fuera del rango que establecen los límites de control superior e inferior. En estas gráficas también se pueden apreciar tendencia y recalcular los límites de control y el valor de la media para observar un cambio de comportamiento en el proceso. Las gráficas de control pueden ser de valores de variables o atributos y de rangos de variación.

a)



b)

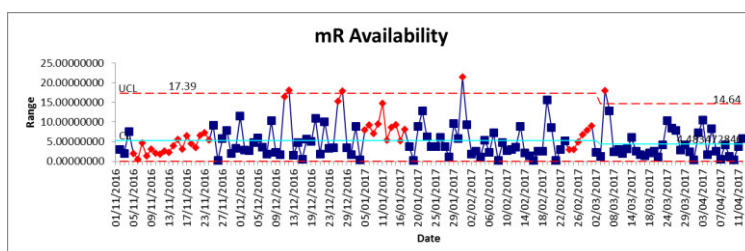


Figura 23. Cartas de control estadístico: a) Gráfica de comportamiento donde se observan los límites de control como líneas rojas punteadas y la media en línea continua azul. Se hizo un cambio de proceso en el que se observa una tendencia a aumentar sus valores y se recalcularon los límites de control y la media. b) Gráfica de que muestra el rango de variación del proceso que se observa en la gráfica a). (Fuente: elaboración propia para medir la disponibilidad de la planta Duralite FP durante el año fiscal 2017).

3.2 Las habilidades

Los conocimientos que vamos adquiriendo a través de nuestra experiencia profesional son un gran tesoro. Sin embargo, la cereza del pastel es el desarrollo de habilidades durante esa trayectoria. Es decir, lo que somos capaces de hacer con lo que sabemos.

Una de las habilidades que a nadie nos enseñan en la escuela es la del liderazgo. Esta habilidad es en mi opinión una de las importantes que tenemos que desarrollar.

En la vida se nos presentan muchas oportunidades para trabajar en equipo, aunque eso no significa que sepamos hacerlo. Saber trabajar en equipo es el primer paso para posteriormente posicionarse como un líder, ya que trabajando en equipo se comienzan a aprender cosas fundamentales como la comunicación efectiva, la solución de conflictos, la participación en la planeación, etc. Cuando somos buenos para trabajar en equipo, nos resultará un poco más fácil brincar al siguiente escalón y posicionarnos como nuevo líder.

El liderazgo es fundamental para cualquier persona que desea ir mejorando continuamente. La motivación será un factor importante para que se puedan desarrollar habilidades de liderazgo, ya que cuando una persona no se encuentra motivada, difícilmente tomará las riendas de todas las responsabilidades que implica ser un líder.

En los currículum vitae nos piden poner una lista de habilidades y aptitudes que los reclutadores ya desean ver, pero de toda esa lista que la competencia laboral nos exige quise comentar especialmente los que he podido aprender acerca de las habilidades de liderazgo porque en mi caso fue la que más me ha ayudado, la que más me ha costado trabajo ir perfeccionando y la que considero que en cualquier trabajo será la clave para poder aplicar conocimientos, implementar nuevas iniciativas, emprender nuevos proyectos y gestionar cualquier sistema exitosamente. De nada sirve tener una gran cantidad de conocimientos si no sabemos aplicarlos.

El liderazgo no es sólo se una persona que guía con el ejemplo o aquel a quien otros siguen por ser un líder nato. El liderazgo es mucho más que eso, es una habilidad compleja que se compone de factores que en conjunto harán a una persona un buen líder, les menciono los componentes que en mi experiencia componen al liderazgo:

La comunicación: un proceso de interacción exitoso es aquel en el que aprendemos a identificar las necesidades personales y prácticas de las personas y la importancia de responder a esas necesidades para invitar a los demás a tomar acción. Con una buena comunicación se pueden lograr objetivos y se construyen relaciones fuertes con los miembros del equipo.

Coaching: es necesario reconocer oportunidades para dar coaching a fin de asegurar el éxito de los colaboradores y mejorar su desempeño. Con el coaching lograremos alentar a las personas a hacerse cargo de su propio desempeño en el trabajo y se sientan cómodas enfrentando los retos que se les presenten. Con el coaching debemos buscar elevar la moral, mejorar la productividad y maximizar el desempeño.

Planeación y administración de recursos: identificar actividades críticas y que agregan valor, usar el tiempo de forma efectiva, identificar los recursos necesarios para realizar el trabajo, determinar los requerimientos y dividirlos en tareas, asignar el tiempo para que todos los miembros del equipo podamos cumplir con nuestras tareas, determinar metas y planes bien establecidos.

Delegar con enfoque: a través de esta habilidad, podemos lograr los resultados clave aprovechando las habilidades de todos los integrantes del equipo. Las habilidades del equipo se van a ir desarrollando si delegamos con enfoque. Delegar nos ayuda a centrarnos en responsabilidades esenciales y a crear mayor confianza entre todo el equipo.

Maximizar el desempeño del equipo: esta habilidad nos ayuda a centrar los esfuerzos del equipo de manera efectiva y alcanzar los objetivos y seguir la estrategia planteada. Debemos aprender a abordar los factores que impiden el logro de resultados o la mejora del desempeño. Esta habilidad nos ayuda a fomentar un entorno de colaboración y responsabilidad compartida.

Solución de conflictos: esta es una de las situaciones para las que pocas veces estamos preparados, pero es sumamente importante desarrollar la habilidad para hacer frente a los conflictos en el lugar de trabajo. El desarrollo de esta habilidad consta de saber identificar causas comunes, señales e impactos de los conflictos, ayudar a los colaboradores a tomar responsabilidad en la solución de sus propios conflictos para evitar generar ambientes insanos, saber identificar cuando un líder tiene la responsabilidad de intervenir en la solución de un conflicto y la manera de abordarlo.

Dirección del cambio: en muchas ocasiones nos enfrentamos a cambio que no dependen de nosotros y como líderes somos responsables de incluir a nuestro equipo en la estrategia de cambio. Debemos estar preparados para comunicar la estrategia y las necesidades para las que se llevará a cabo un cambio, tener una estrategia para acelerar e impulsar la implementación de iniciativas, identificar las causas de las resistencias y saber manejarlas y transmitir apoyo para animar a los colaboradores a comprometerse al cambio y obtener los resultados esperados.

Retención de talento: con esta habilidad vamos a reconocer la importancia de tener colaboradores comprometidos, desarrollar sus habilidades, descubrir lo que necesitan las personas para sentirse satisfechas y comprometidas con su trabajo y reconocer el valor que las personas aportan.

Como podemos ver, cada una de estas habilidades que componen al liderazgo, están enfocadas a dirigir equipos para alcanzar objetivos como la productividad. El desarrollo de estas habilidades nos conducirá a ser líderes con la capacidad de gestionar.

La gestión es una habilidad que se complementará de todos los elementos del liderazgo y el trabajo en equipo con conocimientos técnicos como administración de operaciones, gestión de proyectos, finanzas, conocimientos técnicos del área, etc.

Estas habilidades sin duda nos ayudarán a ser profesionistas que tomarán un valioso lugar dentro de una organización, ya que nos posicionarán como personas con enfoque, dirección, compromiso, motivación y objetividad.

Capítulo 4

Las funciones

Ahora mostraré las funciones que desempeño o he desempeñado durante mi experiencia profesional y cómo aplico los conocimientos y habilidades expuestas anteriormente para el ejercicio de mis funciones dentro de la organización en la que laboro.

Para ubicarnos mejor en la jerarquía de mi puesto, podemos ver a continuación del organigrama de la organización a nivel planta:

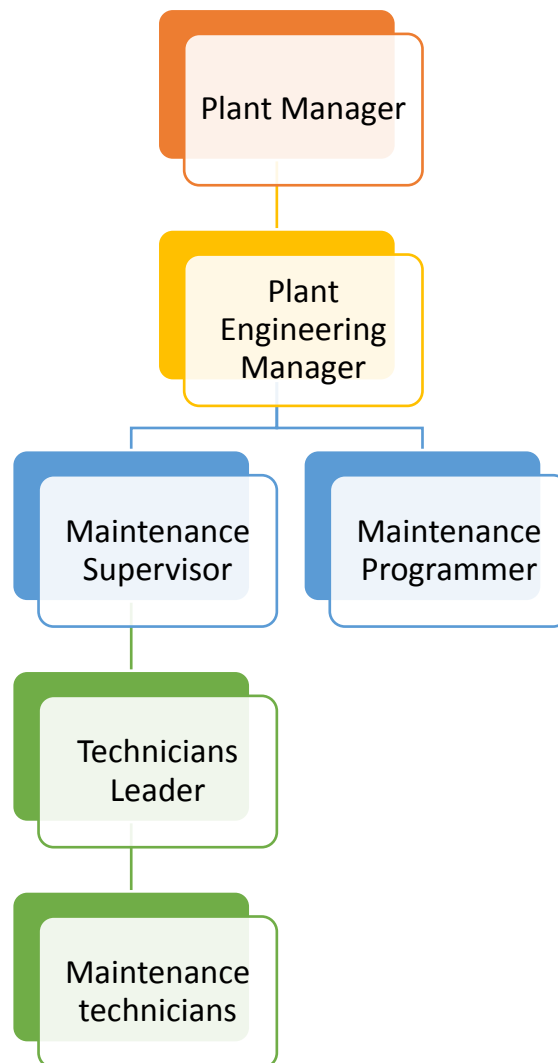


Figura 24. Organigrama a nivel planta del departamento de Mantenimiento en DuraLite FP
(Fuente: elaboración propia)

En mi actual posición reporto directamente al Gerente de Ingeniería de Planta, comparto nivel jerárquico con un programador de mantenimiento y me reportan directamente cuatro líderes de mantenimiento e indirectamente once técnicos.

4.1 Funciones como Supervisor de Mantenimiento

Mi posición es única en el sentido de que soy un supervisor general para atender y dar soporte a los tres turnos de producción, con ayuda de los líderes que son responsables en cada turno y los técnicos de mantenimiento.

Nuestras áreas de responsabilidad incluyen:

1. Mantenimiento de maquinaria de producción
2. Mantenimiento de equipos de servicios de planta
3. Mantenimiento de equipos periféricos
4. Mantenimiento de edificio
5. Ingeniería de Planta: instalaciones, ampliaciones, modificaciones y proyectos diversos.

Las funciones que he desempeñado a lo largo del tiempo que llevo laborando en DuraLite FP son:

- Diseño, implementación y gestión del sistema de mantenimiento: control de operaciones de mantenimiento, seguimiento de los indicadores, control de refacciones críticas, control de presupuesto y control de calidad de mantenimiento.
- Planeación y programación de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.
- Responsable y supervisor general del equipo de trabajo.
- Aplicación de metodologías lean manufacturing
- Reporte de indicadores, proyectos y acciones correctivas a Cooperativo de Ingeniería con sede en Canadá y Estados Unidos.
- Gestión de refacciones críticas extranjeras y contacto con proveedores (EUA y Alemania).

- Contacto con proveedores y contratistas para mantenimiento externo y proyectos.
- Instalación de nuevos equipos y ampliaciones.
- Proyectos de mejora del OEE, análisis con SPC, aplicación de core tools y metodologías de solución de problemas.
- Seguimiento de la disponibilidad y proyectos de mejora para disminuir el tiempo muerto en equipo con los técnicos de mantenimiento.
- Proyectos de mejora para el ahorro de recursos y energía en el área de servicios de planta.
- Contacto con proveedores y contratistas para mantenimiento externos, suministro de materiales y refacciones y proyectos especiales.

Estas actividades han sido desarrolladas en las dos posiciones que he ocupado dentro de la empresa. Inicié mi carrera en la organización como ingeniero de proyectos, puesto que pertenecía al departamento de ingeniería de planta y posteriormente tomé el cargo de supervisor de mantenimiento. La estructura del departamento cambió y las funciones fueron distribuidas de forma diferente cuando tuve la oportunidad de tomar la supervisión. Con el apoyo y soporte de mi entonces jefe, pude implementar el sistema de mantenimiento que proponía esa reestructura en el departamento.

Actualmente tuvimos una nueva reestructura en cuanto a funciones por parte del actual gerente de mantenimiento y mi posición se ha enfocado cada vez más a las actividades que están orientadas a la solución de problemas, seguimiento y mejora de los indicadores, supervisión en piso y seguimiento a los planes de acciones correctivas y preventivas, así como la supervisión del servicio y soporte por parte del departamento a otras áreas.

En base a lo comentado en los anteriores capítulos, explico en forma concreta cómo trabaja nuestro sistema de mantenimiento, para esto veamos cómo surge y qué lo compone. Recordemos que la norma IATF 16949 define los requisitos

fundamentales del sistema de gestión de la calidad en las organizaciones que fabrican piezas de producción y piezas de servicio en la industria automotriz.

El objetivo de esta Norma del SGC Automotriz es el desarrollo de un sistema de gestión de la calidad que tenga en cuenta la mejora continua, poniendo énfasis en la prevención de defectos y en la reducción de la variación y de los desperdicios en la cadena de suministro.

Esta norma habla sobre cómo debe operar un sistema de mantenimiento, para esto tomé el extracto original que menciona la norma sobre el sistema de mantenimiento:

El Mantenimiento Productivo Total es un sistema para mantener y mejorar la integridad de los sistemas de producción y calidad en todas las máquinas, equipos, procesos y empleados que añade valor a la organización. La organización debe desarrollar, implementar y mantener un sistema de mantenimiento productivo total documentado.

Como mínimo, el sistema debe incluir:

- a. La identificación de los equipos del proceso necesarios para producir producto conforme en el volumen requerido;*
- b. La disponibilidad de piezas de repuesto para los equipos identificados en el inciso a);*
- c. La provisión de recursos para el mantenimiento de las máquinas, equipos e instalaciones;*
- d. El embalaje y preservación de los equipos, herramientas y calibres;*
- e. Los requisitos específicos de los clientes aplicables;*
- f. Los objetivos de mantenimiento documentados, por ejemplo, OEE (en español, Eficiencia Global del Equipo), MTBF (en español, Tiempo Medio Entre Fallas), MTTR (en español, Tiempo Medio para Reparación) y métricas de cumplimiento del mantenimiento preventivo. El desempeño de los objetivos de mantenimiento debe ser parte de las entradas para la revisión por la dirección (véase el apartado 9.3 de ISO 9001);*
- g. La revisión regular del plan y los objetivos de mantenimiento y un plan de acción documentado para implementar acciones correctivas cuando los objetivos no se logren;*

- h. La utilización de métodos de mantenimiento preventivo;*
- i. La utilización de métodos de mantenimiento predictivo, cuando sea aplicable;*
- j. El mantenimiento mayor periódico.*

Los incisos f y g de los requerimientos del sistema de mantenimiento nos hablan de medición de indicadores de desempeño. La norma en el capítulo 9 nos especifica la forma en la que se debe llevar a cabo esta medición:

La organización debe realizar estudios de proceso para verificar la habilidad y el control del proceso, incluidos aquellos para las características especiales.

Para las características que estadísticamente pierden su habilidad o son inestables, la organización debe iniciar un plan de reacción a partir del plan de control y evaluar su impacto en el cumplimiento de las especificaciones. La organización debe desarrollar e implementar un plan de acción correctiva, indicando las acciones específicas, los plazos y las responsabilidades asignadas, para asegurar que el proceso de nuevo sea estable y estadísticamente hábil. Los planes deben ser revisados con el cliente y aprobados por el cliente, cuando sea requerido.

La organización debe determinar la utilización apropiada de técnicas estadísticas. La organización debe verificar que las técnicas estadísticas apropiadas estén incluidas como parte del proceso de planificación avanzada de la calidad del producto (o equivalente) y estén incluidas en el análisis de riesgos del diseño (tal como el DFMEA, cuando sea aplicable), el análisis de riesgos del proceso (tal como el PFMEA) y en el plan de control.

Los conceptos estadísticos, tales como la variación, control (estabilidad), habilidad del proceso y las consecuencias del sobre-ajuste, deben ser entendidos y utilizados por los empleados involucrados en la obtención, análisis y gestión de los datos estadísticos.

Como podemos ver aquí se plasma lo comentado en secciones anteriores, principalmente cuando se desarrolló el tema de herramientas de calidad.

De igual forma, el inciso g hace mención sobre la documentación de acciones correctivas para mejorar los indicadores que no lograron el objetivo. Este tema se detalla en el capítulo 10 de la norma:

La organización debe tener uno o más procesos documentados para la solución de problemas que incluyan:

- a) los enfoques definidos para los diferentes tipos de problemas y su escalamiento (por ejemplo, desarrollo de nuevos productos, problemas actuales en la fabricación, fallas en el mercado, hallazgos de la auditoría);*
- b) la contención, las acciones interinas y las actividades relacionadas que son necesarias para controlar las salidas no conformes*
- c) el análisis de causa raíz, la metodología utilizada, el análisis y los resultados;*
- d) la implementación de acciones correctivas sistemáticas, incluida la consideración de su impacto en procesos y productos similares;*
- e) la verificación de la eficiencia de las acciones correctivas implementadas;*
- f) la revisión y, cuando sea necesario, la actualización de la información documentada apropiada (por ejemplo, PFMEA, plan de control).*

Finalmente, en la sección 10.3 de la norma nos habla del enfoque a la mejora continua. Es muy importante entender esta parte, ya que reuniendo todos los conceptos que hemos manejado podemos decir que la mejora es cuando solucionamos problemas, lo cual estadísticamente es cuando tenemos un proceso en control. La mejora continua es cuando aquello que ya logramos controlar lo queremos mejorar y reducimos aún más su rango de variación. Veamos lo que nos dice esta sección de la norma:

La organización debe tener un proceso documentado para la mejora continua. La organización debe incluirse en este proceso:

- a) la identificación de la metodología utilizada, los objetivos, la medición, la eficiencia y la información documentada;*
- b) un plan de acción de mejora de los procesos de fabricación con énfasis en la reducción de la variación del proceso y del desperdicio;*

c) el análisis de riesgos (tal como el FMEA y plan de control)

En base a esto, les presento en lo que consiste nuestro sistema de mantenimiento:



Figura 25. El sistema de mantenimiento de DuraLite FP. (Fuente: elaboración propia).

¿Cómo llevamos a cabo el sistema?

La operación incluye la planeación, programación y ejecución del mantenimiento preventivo, correctivo y predictivos. El programa de mantenimiento preventivo se encuentra en una herramienta informática que tiene documentados todos los equipos en la planta y los mantenimientos que les corresponden. Semanalmente se emiten órdenes de trabajo y se entregan a los técnicos para que las lleven a cabo. Si la actividad requiere que la máquina o equipo se encuentre fuera de operación, se programa para el fin de semana que no hay producción.

Otros departamentos pueden enviar órdenes de trabajo para solicitar alguna reparación o la revisión de alguna condición de los equipos que esté provocando problemas en la producción. De igual forma, internamente podemos generar órdenes de trabajo para documentar hallazgos que detectan los técnicos durante sus inspecciones y que requieren programar una reparación o revisión más detallada de una condición de riesgo.

En la planta, el cliente directo de mantenimiento es el departamento de Procesos, ya que ellos monitorean los tiempos de ciclo y los problemas que pudieran estar generando problemas de pobre calidad.

La planeación del mantenimiento correctivo se basa en cinco fuentes de información:

- La bitácora de turno: reporte de problemas que se tuvieron durante el turno y que ocasionaron tiempo muerto.
- Los check list de los técnicos: reporte de inspecciones realizadas por los técnicos.
- Los resultados de tiempo muerto: se analiza el indicador para priorizar las tareas que se deben realizar para atacar los problemas que nos impidieron llegar al objetivo.
- Órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo de otras áreas.
- Plan de acciones correctivas de equipos naturales de trabajo: esta es una de las metodologías Lean que se aplican y se explicará cómo funciona más adelante.

La planeación del mantenimiento también toma en cuenta prioridades:

1. Aspectos de seguridad
2. Problemas que nos sacan de objetivo al generar tiempo muerto
3. Problemas que ocasionan disminución del OEE por problemas de aumento en el tiempo de ciclo o generación de scrap.
4. Se analiza si un mantenimiento preventivo se puede reprogramar o es de alta importancia que se lleve a cabo estrictamente en el tiempo definido.

La otra parte de la operación es la gestión de los recursos materiales. Esta parte es medular para que todo lo demás funcione y consta básicamente de los siguientes puntos:

- Administración del almacén de refacciones
- Compra de refacciones y materiales
- Administración del presupuesto

Cuando no se tienen los recursos para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, se generan atrasos que terminan por convertirse en problemas en los momentos menos esperados y todas las condiciones vuelven críticas. Si no se compra una refacción crítica a tiempo para realizar un mantenimiento preventivo, la máquina puede fallar y quedar en paro hasta que se consiga la refacción. Esto ocasionará atrasos en la producción y en la entrega del material al cliente. En la industria automotriz un paro de línea ocasionado por una entrega fuera de tiempo por parte de un proveedor a una armadora tiene costos en miles de dólares el minuto. Esto es un problema recordando que la industria automotriz trabaja bajo un esquema Justo a Tiempo y los proveedores no cuentan con altas cantidades de inventario que pudieran proteger de un paro demasiado prolongado.

La administración del almacén de refacciones se basa en la clasificación de su contenido como refacciones críticas, no-críticas, consumibles y herramientas. A su vez, se tiene un listado de refacciones en donde se especifica un mínimo de stock y un máximo, el equipo para el que son utilizadas, números de parte, marca, etc.

Periódicamente se realizan inventarios para confirmar las cantidades actuales de cada refacción. También se cuenta con una lista de registro para entradas y salidas del almacén, la cual ayuda a tener un control del stock en tiempo real y la necesidad de compra de nuevas piezas para reposición en el almacén.

En la administración del presupuesto es conveniente tener conceptos como los costos fijos y costos variables para tomar buenas decisiones a la hora de solicitar la compra de material, debido a que normalmente el presupuesto aprobado nunca es suficiente para atender a todas las necesidades del departamento de mantenimiento.

La medición del desempeño se hace calculando el porcentaje de tiempo muerto por turno, por día y por semana. Esto debido a que el corporativo de Woodbridge le pide a los departamentos de mantenimiento tener como máximo un 1.5% de tiempo muerto en total a la semana. Para documentar el resultado se generan gráficas de control, de tal forma que nos ayuden a visualizar la

tendencia que se lleva, los puntos fuera de control para generar un plan de acciones correctivas y la efectividad de las mismas.

Por ejemplo en la siguiente gráfica de control se estuvo evaluando el tiempo muerto diario por problemas de mantenimiento durante el año 2017:

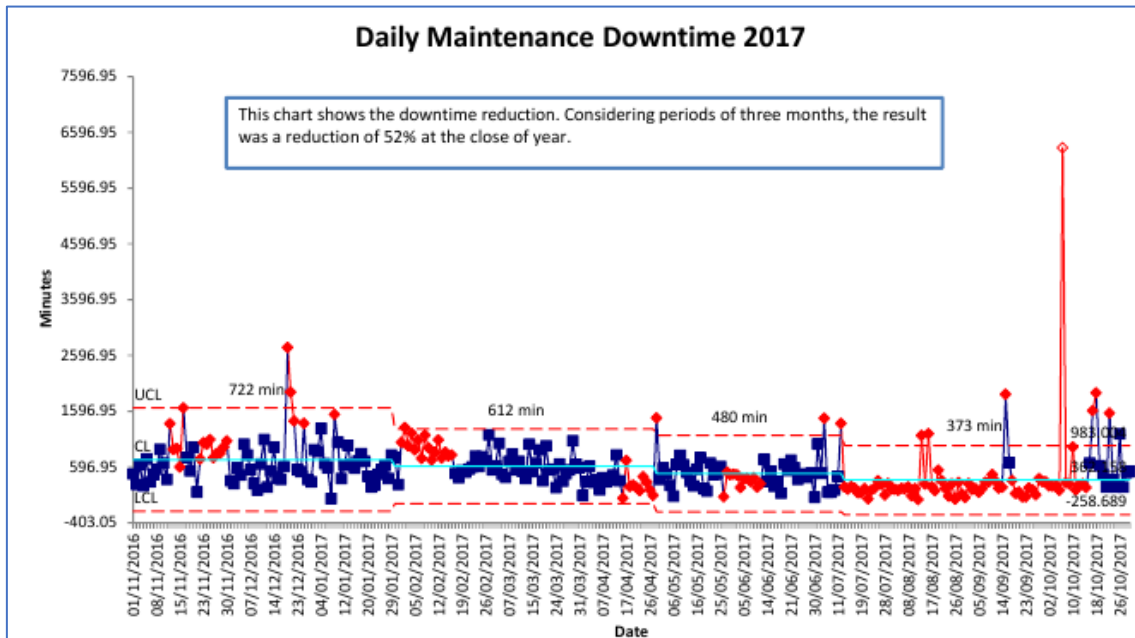


Figura 26. Gráfica de control de tiempo muerto de mantenimiento (Fuente: elaboración propia)

En esta gráfica se estuvo evaluando el tiempo muerto diario, su tendencia y el efecto de las acciones correctivas que se estuvieron generando. Se puede ver que en el primer cuatrimestre de tenía un promedio de 722 minutos de tiempo muerto al día, mientras que en el último cuatrimestre se logró reducir a la cifra de 373 minutos diarios en promedio. La última cifra puede ser mucho menor de no ser por los puntos tan altos de tiempo muerto que sacaron al proceso de control. En la gráfica también se puede ver que se estuvieron recalculando los límites de control y la media para impulsarnos a estar dentro del nuevo objetivo.

La mejora en los indicadores se logró mediante diversos factores que son parte de lo ya comentado anteriormente. Por esa razón me enfocaré en este momento a la aplicación de metodología Lean y herramientas de calidad que nos han funcionado para la mejora.

Todos los días los técnicos de mantenimiento se reúnen para la entrega de turno y se comunican los principales problemas que tuvieron. Generan un reporte de tiempo muerto y lo registran tanto en una bitácora como en una

gráfica que por medio de un control visual les indica si estuvieron dentro, al límite o fuera de objetivo, ya que la gráfica está dividida en tres secciones. En un rango de minutos de tiempo muerto donde alcanzan a tener menor del 1% la región es de color verde, cuando caen entre el 1.1% y 1.5% la región es amarilla y cuando pasan del 1.5% la región de la gráfica es roja.

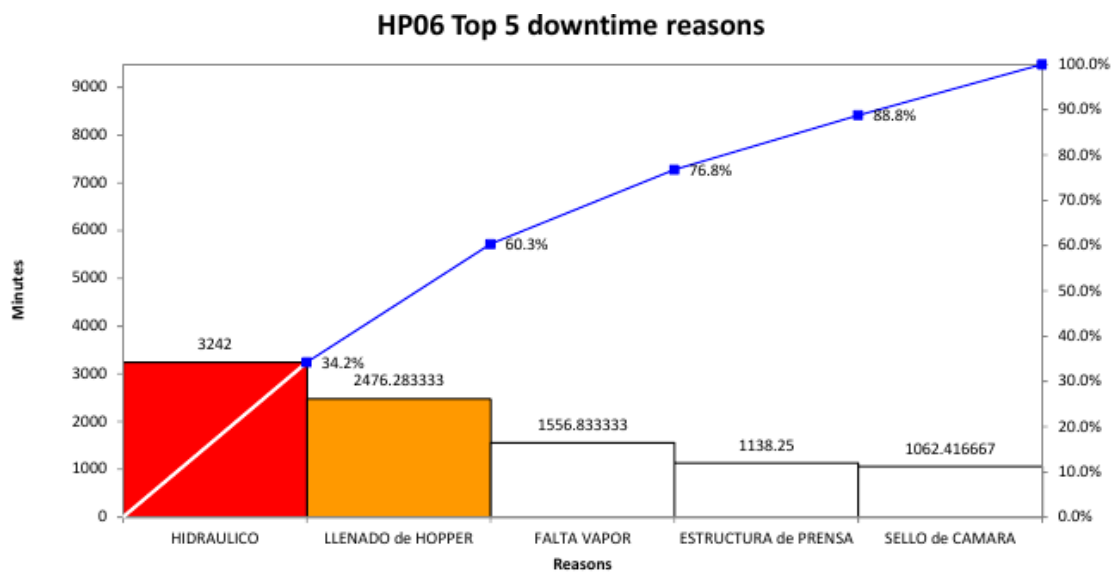
Los problemas que nos sacan de objetivo se reportan en una junta que se lleva a cabo diariamente a las 2:00 pm y se registran en un documento donde se van generando planes de acciones correctivas y preventivas, dicho documento lleva un formato propuesto por Shewhart llamado PDCA (por sus siglas en inglés Plan, Do, Check, Act). Se analiza el problema y se proponen soluciones. Si no se conoce la causa raíz del problema, se sigue un procedimiento para identificarla con alguna de las metodologías Lean que se expusieron anteriormente.

En esta práctica se están manifestando diversas metodologías Lean:

- ✓ Al tener equipos naturales de trabajo en niveles, se tiene una estructura de cadenas de valor.
- ✓ Control visual para tener conciencia del resultado de nuestro proceso.
- ✓ Solución de problemas y técnicas para identificar causa raíz.
- ✓ Las propuestas para acciones correctivas y la mejora son los principios de Kaizen, la gente está comprometida con los objetivos y con la mejora.

Por ejemplo, en el 2017 teníamos una prensa de moldeo con graves problemas de disponibilidad por constantes fallas en el sistema hidráulico. Las fallas eran complejas y diferentes en cada ocasión. Para darle solución al problema se elaboró un reporte 3D's en donde se definió el problema, se recolectaron los datos, se construyó un diagrama de Pareto para identificar que realmente las fallas por hidráulico fueran el principal problema de tiempo muerto y se identificó la causa razón utilizando el diagrama de Ishikawa. En base a esto se propuso la acción correctiva y se midió la efectividad de la actividad.

a)



b)

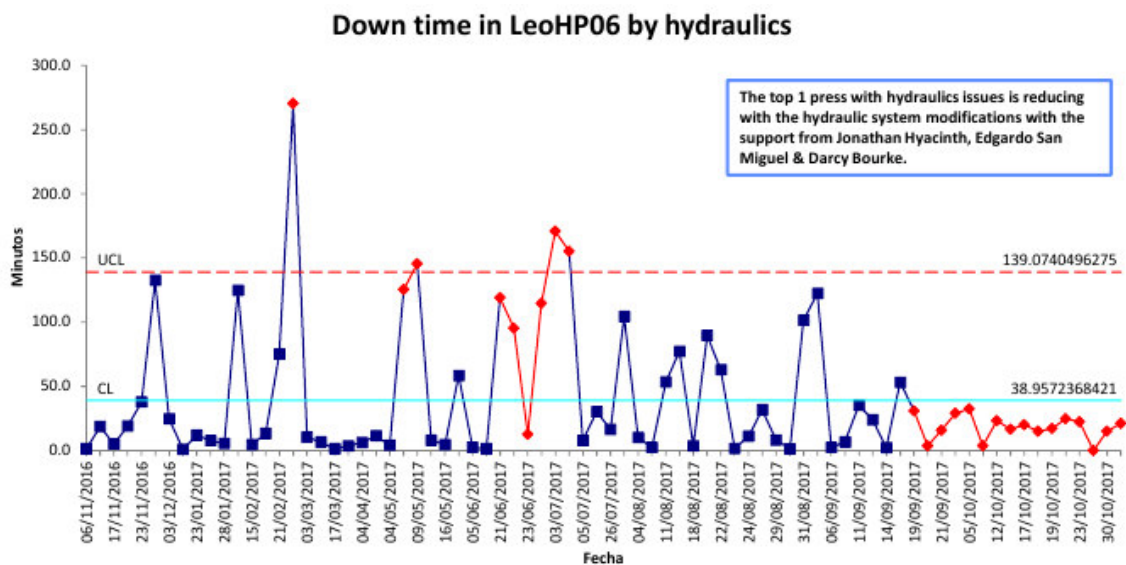
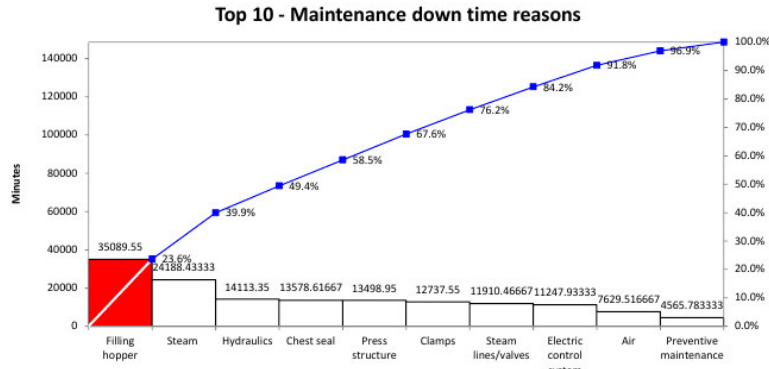


Figura 27. a) Diagrama de Pareto para identificar el 80-20 de los problemas de tiempo muerto en la prensa HP06. b) Gráfica de control que muestra la mejora de disponibilidad de la prensa HP06 después de hacer las modificaciones al sistema hidráulico que surgieron en el plan de acciones correctivas y el análisis del problema. (Fuente: elaboración propia).

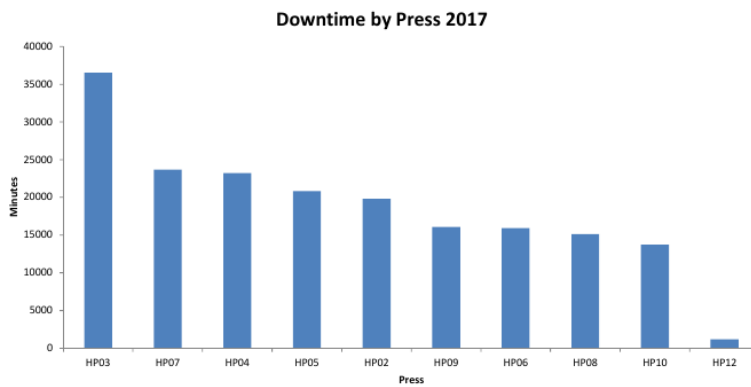
Otro caso muy claro, es cuando se buscó identificar la principal razón de tiempo muerto por problemas de mantenimiento. En este caso se realizó un diagrama de Pareto para identificar primer la razón de tiempo muerto, seguido se analizó las principales prensas con ese problema y posteriormente se

estructuró el plan de acción. En las gráficas de la figura 28 se muestra la secuencia que se siguió.

a) Se analizaron las principales causas de tiempo muerto



b) Se identificaron los equipos más afectados por el problema y que impactaban en el resultado.



c) Se realizaron acciones correctivas y se comenzó a ver la mejora

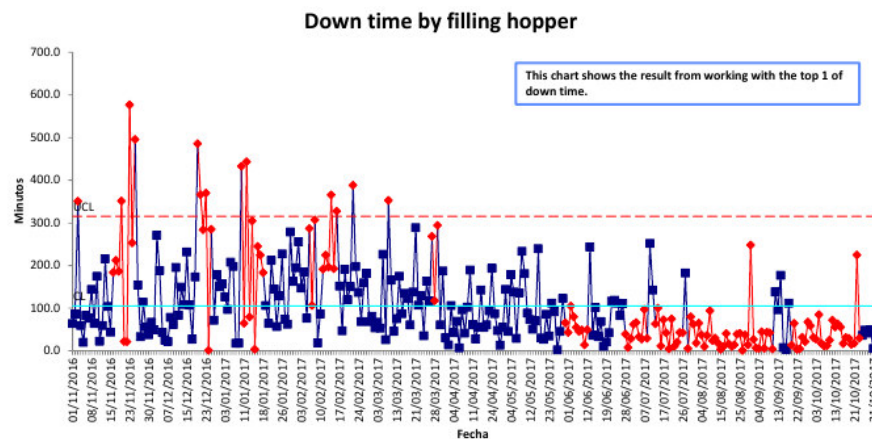


Figura 28. Proceso de análisis de datos para la solución de problemas (Fuente: Elaboración propia para la presentación de resultados del año 2017 en la Junta Nodal de Ingeniería en Chattanooga, Tennessee, EUA.)

4.2. Aplicaciones de la ingeniería química en el mantenimiento de planta

Finalmente quisiera comentar algunos proyectos que los que tuve la oportunidad de aplicar conocimientos de la carrera de ingeniería química y algunas otras actividades en las que he podido aprender la aplicación de diferentes temas de ingeniería.

Química del agua de sistemas de generación de vapor y enfriamiento

En los sistemas de vapor y enfriamiento la química del agua es sumamente importante ya que, como se comentó anteriormente, se deben evitar principalmente dos problemas en los equipos de transferencia de calor: la corrosión y la incrustación.

En la planta DuraLite FP comenzamos a tener un grave problema de incrustaciones que no eran muy evidentes a la hora de destapar las calderas o en la torre de enfriamiento. Sin embargo, lo que sí se estaba convirtiendo en un grave problema era la incrustación en los moldes. Ya que tanto el agua de enfriamiento como el vapor tienen contacto directo con los moldes los efectos de su química en el aluminio son inmediatos.

En este caso un grave problema era la alta concentración de dureza en el agua de enfriamiento. Esta situación se presentó debido a que los suavizadores utilizados para reducir la concentración de dureza del agua debían abastecer tanto a las calderas como a la torre de enfriamiento. El problema es que los suavizadores no contaban con la capacidad para dar la demanda. En la figura 29 se puede ver cómo la concentración de dureza del agua que suministraban los suavizadores comenzaba a aumentar de forma logarítmica y únicamente generaba agua suavizada durante aproximadamente 40 minutos, después de eso la concentración de dureza iba aumentando hasta llegar nuevamente a su dureza original debido a que el suavizador ya tenía saturada la resina para el intercambio iónico en tan sólo cuatro horas. Los sistemas de suavizadores trabajan en sincronía, es decir están formados por dos o más tanques de resina que suministran agua suave mientras el tanque que se saturó entra a un proceso de regeneración en el que la resina es lavada con salmuera de cloruro de sodio para remover los iones de calcio y magnesio que fueron capturados por la resina. Un proceso de regeneración tarda aproximadamente una hora. El

sistema de suavizadores con el que se contaba era dúplex, es decir tanques gemelos. Entonces, todavía no terminaba de regenerarse un suavizador cuando el que estaba en servicio ya estaba comenzando a saturarse y elevar la concentración de dureza en el agua suministrada.

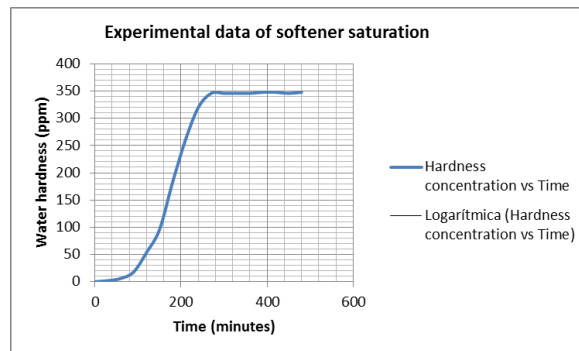


Figura 29. Cambio de concentración de dureza en el agua de salida de suavizadores (Fuente: muestreo de agua de alimentación a calderas y torre de enfriamiento, elaboración propia)

Este problema ocasionaba que tuviéramos altas concentraciones de dureza en el agua de enfriamiento y en el agua de alimentación a las calderas. Para esto se analizó el problema y se calculó un equipo de suavizadores que tuvieran la capacidad adecuada para suministrar la demanda con la calidad del agua necesaria para evitar problemas de incrustaciones. A continuación, se muestran los cálculos que se realizaron para determinar la capacidad requerida:

Se tienen instalados tanques suavizadores con 20 ft³ de resina cada uno.

Para calcular de forma rápida la cantidad de agua producida por cada ft³ de resina decimos lo siguiente:

Dureza total del agua 350 ppm como CaCO₃

20 ft³ de resina instalada

350 ppm /17.1 ppm/gr= 20.46 gr/gal.

gr=grano

17.1 factor de conversión de ppm a granos

Cada ft³ de resina nos puede dar un rendimiento de 20000 a 25000 granos si se regenera con 10 lb de sal (4.54 kg de sal), para 20 ft³ son 200 lb de sal (90.8 Kg)

20 ft³ de resina x 20000 gr/ ft³= 400000 gr

$400000 \text{ gr}/20.46 \text{ gr/gal} = 19\,550 \text{ gal} = 73.99 \text{ m}^3$ de agua suave Teórico, con un factor de servicio de 0.8

Si se utiliza el factor de servicio de 1 que serían 25000 granos se tienen 500000 granos, nos dará un rendimiento de $24437 \text{ gal} = 92.49 \text{ m}^3$ agua suave.

Si estimamos el consumo de agua diario de 440 m^3 , nos da 5.9 regeneraciones al día para proveer agua suave, lo cual significa 4 horas de operación cada tanque en las cuales ya están enviando agua con concentraciones no aceptables de dureza y tampoco permiten que la sal del tanque en servicio se disuelva correctamente para llegar a una saturación y tener calidad de salmuera.

Considerando las necesidades reales de suavizar hasta 450 m^3 de agua, se determinaron las capacidades del sistema de suavizadores adecuada para la demanda de agua suave.

$$450 \text{ m}^3 = 118178 \text{ galones}$$

Si tenemos que el agua cruda tiene una concentración de 350 ppm, la concentración en granos por galón es de 18.71 gr/gal.

Por lo tanto, los granos que se requieren remover por intercambio iónico son:

$$118178 \text{ gal} \times 18.71 \text{ gr/gal} = 2211110.38 \text{ granos.}$$

Si 1 ft^3 de resina tiene la capacidad de retener aproximadamente 25,000 granos, entonces se requieren 88.4 ft^3 para suavizar los 450 m^3 de agua diarios manteniendo concentraciones de dureza menores a 5 ppm.

Comercialmente existen tanques de 40 ft^3 de resina, los cuales serían los ideales considerando que en los cálculos se está exagerando la cantidad de agua requerida por el sistema. Se adquirió un sistema triplex (tres tanques) que ha optimizado el suministro de agua suave y tiene la capacidad de suministrar agua suave aún si se agregara otra caldera de 300 CC al sistema.

Para el proyecto se hizo el levantamiento la instalación de tubería, ya que anteriormente se tenían líneas de 2 pulgadas de diámetro y se tuvo que subir a 3 pulgadas y se mejoró el arreglo de entradas y salidas de los suavizadores para poder aislar un suavizador en caso de ocuparse un mantenimiento y se garantiza el suministro de agua suave. La figura 30 muestra el sistema que se instaló.

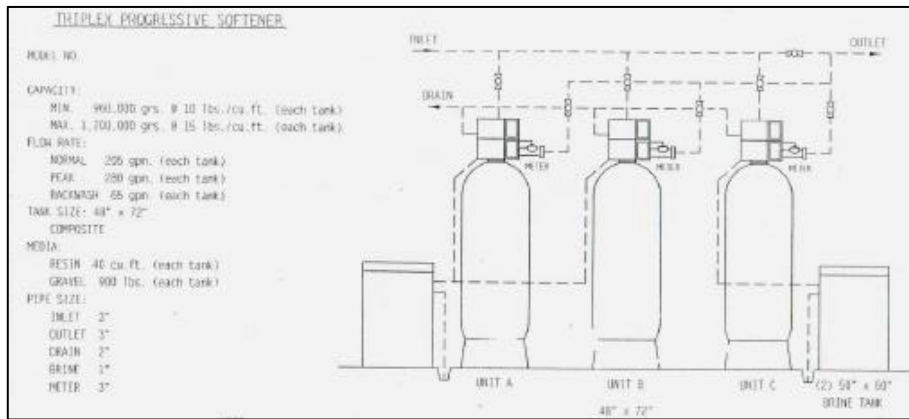


Figura 30. Sistema triplex de suavizadores de agua. (Fuente: manual proporcionado por fabricante del equipo)

Los resultados en el cambio de la concentración del agua de enfriamiento se dejó notar inmediatamente y se eliminó totalmente la aparición de incrustaciones en los moldes.

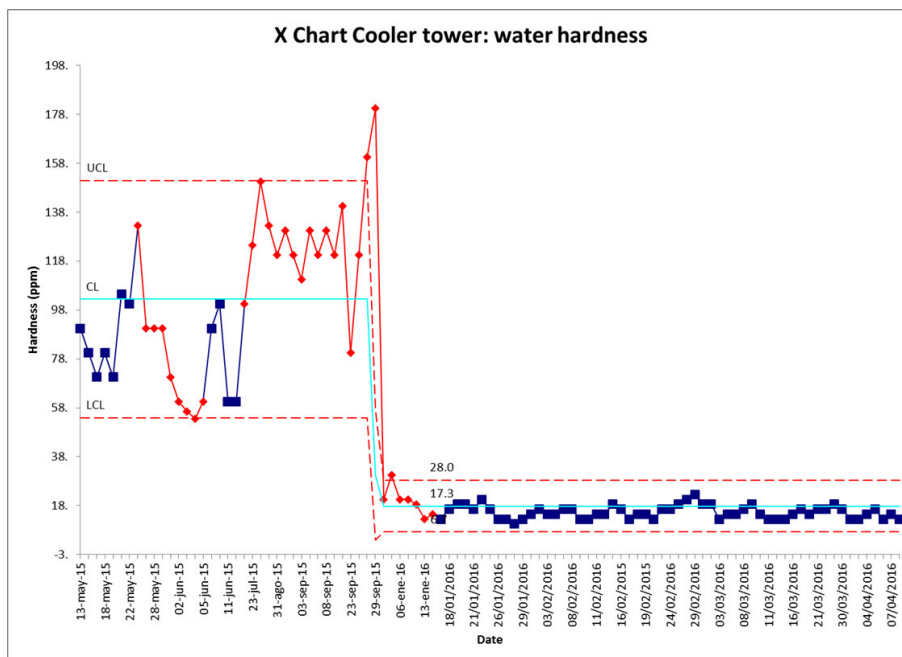


Figura 31. Cambio en las concentraciones de dureza del agua de enfriamiento antes y después de instalar un sistema de suavizadores con la capacidad adecuada. (Fuente: elaboración propia)

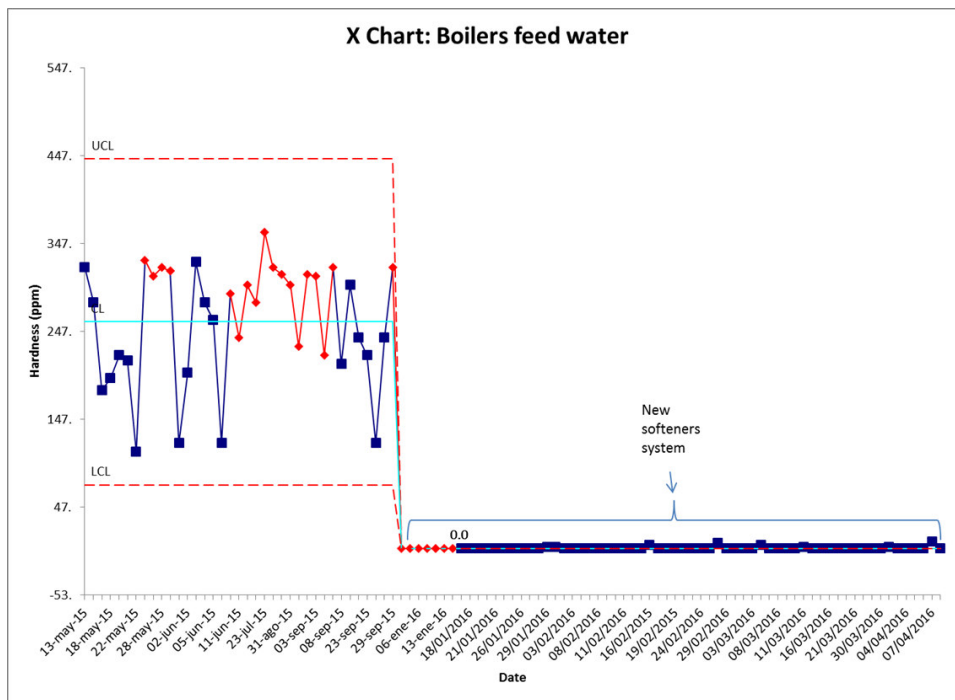


Figura 32. Mejora en la calidad del agua de alimentación a calderas después de instalar un sistema de suavizadores con la capacidad adecuada. (Fuente: elaboración propia).

Métodos de optimización de procesos

Otro proyecto en el que se aplicaron conocimientos adquiridos en la licenciatura fue la aplicación de un método de optimización. Se aplicó el método de la sección dorada para optimizar el cambio de una refacción que sufre desgaste con el tiempo, enseguida se explica el desarrollo del método de optimización y uno de los casos en los que se aplicó.

Método de optimización de la sección dorada.

Se ha establecido un modelo que nos ayudará a tomar decisiones de reemplazo de refacciones en un tiempo óptimo. El modelo está orientado a la reducción de costos por mantenimiento correctivo, disminución de paros por fallas o averías y la minimización del costo total esperado del mantenimiento preventivo por unidad de tiempo.

De esta manera, la función objetivo a minimizar será nuestro costo total de mantenimiento preventivo y correctivo, definiendo nuestra función como:

$$UEC(tp) = \text{Costo total esperado por ciclo} / \text{longitud esperada del ciclo}$$

El costo total esperado por ciclo consiste en el costo de mantenimiento preventivo más el costo del mantenimiento correctivo (falla):

$$EC(t_p) = C_p R t_p + C_f [1 - R(t_p)]$$

Donde $R(t_p)$ es la probabilidad de que el equipo funcione correctamente hasta el t_p . Esto se puede representar mediante la gráfica de distribución de probabilidad:

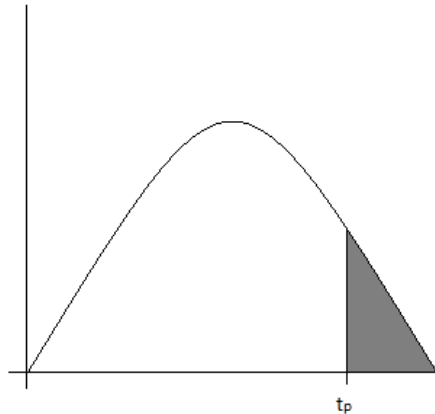


Figura 33. Área bajo la distribución que representa la probabilidad de que el equipo no falle antes del tiempo t_p . (Fuente: S. Duffuaa, "Sistemas de mantenimiento")

También definimos la longitud esperada de ciclo, el cual se compone de:

$$t_p R(t_p) + M(t_p) [1 - R(t_p)]$$

Donde $M(t_p)$ es la media de distribución truncada y está definida como:

$$M(t_p) = \int_{-\infty}^{t_p} \frac{t f(t)}{1 - R(t_p)} dt$$

Para obtener el valor óptimo de t_p que minimice a UEC podemos resolver mediante el método de la sección dorada o mediante el método de Newton.

Enseguida mostraremos un ejemplo mediante el cual optimizaremos el tiempo de cambio de rodamientos de una prensa EHV200 utilizando el método de la sección dorada.

Caso: Los rodamientos de una prensa EHV200 tienen una función de densidad de probabilidad de tiempo hasta la falla por desgaste $f(t)$ que sigue una distribución uniforme entre 0 y 5 semanas. El costo de reemplazo preventivo

corresponde sólo al costo de las refacciones, \$100.00 usd y el costo de reemplazo por falla es de \$500 usd. Determinemos t_p , el tiempo óptimo de reemplazo preventivo que minimice el costo total de mantenimiento.

La función de densidad de probabilidad uniforme para el tiempo hasta la falla es:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{5} \\ 0 \end{cases}$$

La función de distribución para la falla en el tiempo t es:

$$F(t) = \begin{cases} \int_0^t f(t)dt = \frac{t}{5} \\ 1 \end{cases}$$

La confiabilidad del equipo en el tiempo t está definida como:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \frac{t}{5}$$

La función de falla está dada por:

$$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{5 - t}$$

La función $r(t)$ es creciente en el rango $(0,5)$. Para aplicar el modelo debemos determinar la expresión de $M(t_p)$, la cual sustituyendo nos queda:

$$M(t_p) = \frac{t_p}{2}$$

Ahora podemos establecer nuestra expresión de la función objetivo que deseamos minimizar, la cual corresponde al costo esperado por unidad de tiempo:

$$UEC(t_p) = \frac{100 + 80t_p}{t_p \left(1 - \frac{t_p}{10}\right)}$$

Ahora mediante el método de la sección dorada podemos evaluar la función objetivo y obtener el valor óptimo de tiempo de reemplazo que minimiza el costo de mantenimiento.

Entonces:

Función objetivo:

$$\text{mín } UEC(t_p) = \frac{100+80t_p}{t_p\left(1-\frac{t_p}{10}\right)}$$

Rango de evaluación $[a_1, b_1] = [0,5]$

Proporción dorada: $\alpha = 0.618$

$$\lambda_1 = a_1 + (1 - \alpha)(b_1 - a_1)$$

$$\mu_1 = a_1 + \alpha(b_1 - a_1)$$

Con ayuda del Mathcad® se realizaron las iteraciones para encontrar el valor de t_p que optimiza en costo total.

ITERACIÓN 1

$$a_1 := 0$$

$$b_1 := 5$$

$$\lambda_1 := a_1 + (1 - \alpha)(b_1 - a_1) = 1.91$$

$$\mu_1 := a_1 + \alpha(b_1 - a_1) = 3.09$$

$$UEC := \frac{[100 + (80\lambda_1)]}{\lambda_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{\lambda_1}{10}\right)\right]} = 163.604$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80\mu_1)]}{\mu_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{\mu_1}{10}\right)\right]} = 162.608$$

ITERACIÓN 2

$$a_2 := 1.91$$

$$b_2 := 5$$

$$\lambda_2 := a_2 + (1 - \alpha)(b_2 - a_2) = 3.09$$

$$\mu_2 := a_2 + \alpha(b_2 - a_2) = 3.82$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80\lambda_2)]}{\lambda_2 \cdot \left[1 - \left(\frac{\lambda_2}{10}\right)\right]} = 162.612$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80\mu_2)]}{\mu_2 \cdot \left[1 - \left(\frac{\mu_2}{10}\right)\right]} = 171.803$$

ITERACIÓN 3

$$a_3 := 1.91$$

$$b_3 := 3.82$$

$$\lambda_3 := a_3 + (1 - \alpha)(b_3 - a_3) = 2.64$$

$$\mu_3 := a_3 + \alpha \cdot (b_3 - a_3) = 3.09$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80\lambda_3)]}{\lambda_3 \cdot \left[1 - \left(\frac{\lambda_3}{10}\right)\right]} = 160.161$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80\mu_3)]}{\mu_3 \cdot \left[1 - \left(\frac{\mu_3}{10}\right)\right]} = 162.612$$

ITERACIÓN 4

$$a_4 := 1.91$$

$$b_4 := 3.09$$

$$\lambda_4 := a_4 + (1 - \alpha)(b_4 - a_4) = 2.361$$

$$\mu_4 := a_4 + \alpha \cdot (b_4 - a_4) = 2.639$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80\lambda_4)]}{\lambda_4 \cdot \left[1 - \left(\frac{\lambda_4}{10}\right)\right]} = 160.172$$

$$\text{UEC} := \frac{[100 + (80 \cdot \mu_4)]}{\mu_4 \cdot \left[1 - \left(\frac{\mu_4}{10}\right)\right]} = 160.16$$

De acuerdo a los resultados obtenidos, el valor de tp^* que minimiza el costo de reemplazo por MP hasta \$160.16 USD es de 3 semanas.

Capítulo 5

RECOMENDACIONES AL PLAN DE ESTUDIOS

Al preguntarme lo que yo mejoraría en el plan de estudios que cursé para ser más competente en la industria en la que ingresé a trabajar, resaltaría lo siguiente:

- Dominio del idioma inglés.
- Fundamentos de liderazgo y trabajo en equipo.
- Habilidades de comunicación oral y escrita.
- Fundamentos de gestión de proyectos.
- Fundamentos de administración financiera.
- Manejo de personal
- Aspectos básicos de legalidad laboral.
- Toma de decisiones
- Temas socioeconómicos de la actualidad
- Técnicas de calidad, mejora continua y productividad de sistemas de manufactura.

La industria automotriz se está volviendo dominante en la región y cada vez se va extendiendo más. Los ingenieros químicos tenemos los conocimientos necesarios para tomar lugar en cualquier área de esta industria y yo recomendaría fortalecer la competitividad de las siguientes generaciones en los aspectos que mencioné anteriormente. Esto debido también a que en muchas industrias está adoptando los sistemas de trabajo que llevan en la industria automotriz como un modelo a seguir, de forma que esos conocimientos servirán independientemente de la industria en la que se labore.

Conclusiones

He tenido la oportunidad de participar en muchas experiencias como instalaciones de equipos y sus arranques, ampliaciones de líneas, modificaciones de instalaciones, mantenimientos mayores, proyectos de automatización, modificación de maquinaria tanto en su arreglo físico como en la lógica de su funcionamiento. En todo esto se logran conocer y aplicar una gran cantidad de fundamentos de ingeniería como la mecánica, eléctrica, electrónica, civil o ambiental. La suma de todos estos conocimientos multidisciplinarios nos proporcionan una visión más amplia sobre la industria y los alcances de la ingeniería química.

La intención de transmitir algunas de las experiencias adquiridas es demostrar que el ingeniero químico egresado de la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato es capaz de desenvolverse en áreas muy diversas de la industria. El mantenimiento industrial no es un área en la que comúnmente se visualice a un ingeniero químico y sin embargo aquí se plasma un caso concreto en el que nuestra preparación académica nos posiciona como profesionistas competentes.

La Licenciatura en Ingeniería Química de la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato cumple su misión al formar profesionistas con conocimientos y habilidades, así como una visión global, para desempeñarse y contribuir al desarrollo socioeconómico regional, nacional y global.

El Ingeniero Químico cuenta con diferentes habilidades y conocimientos que lo posicionan como un profesionista competitivo en las diferentes áreas y sectores de la industria. Nuestra formación nos permite tener una visión que apunta siempre hacia las fronteras en búsqueda de nuevos retos profesionales.

Bibliografía

1. Socconini, L. (2016). "Certificación Lean Six Sigma Yellow Belt para la excelencia en los negocios", 2ª edición. Alfaomega Grupo Editor, México.
2. Izar Landeta, J.M. (2017) "Manufactura de clase mundial", primera edición. Alfaomega grupo editor, México.
3. Cuatrecasas, L. (2003) "TPM: Total Productive Maintenance, hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción", primera edición. Ediciones Gestión 2000, Barcelona, España.
4. Duffuaa, S., Raouf, A. y Campbell, J. (2012) "Sistemas de mantenimiento: planeación y control", primera edición. Editorial Limusa Wiley, México.
5. Torres, L. (2015) "Gestión integral de activos físicos y mantenimiento", primera edición. Alfaomega Grupo Editor, Argentina.
6. Calderón, A. (2017) "La reorganización de la industria automotriz mundial", Naciones Unidas CEPAL, Ciudad de México.
7. Carbajal, M. y Carbajal, Y. (2014) "El sector automotriz en el Mundo y en México, una revisión a los datos de producción y ventas 2013 a junio del 2014". Cuantitativa Revista Económica, Año 7, núm. 3.
8. Cluster industrial, "Desarrollo de la industria automotriz en México: 2017", Publicado el 25 de Diciembre del 2017.
9. "Norma del sistema de gestión de la calidad automotriz IATF 16949". Primera edición, 2016.
10. "Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2011 Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas-funcionamiento y condiciones de seguridad". Secretaría del Trabajo y Previsión Social. México, diciembre, 2011
11. "Caldera tipo paquete Modelo CB. Manual de operación, servicio y repuestos de 15 a 800 caballos caldera de gas, aceite o combinación". Cleaver Brooks. México, 2005.
12. "Atlas Copco Stationary Air Compressors Instruction Book". Atlas Copco Airpower. Belgium, 2000.
13. www.reymrsa.com
14. www.quincycompressor.com
15. www.kurtzsa.com