



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo e implementación
de un sistema administrativo
para el manejo de inductores**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Dimitri Alejandro Covarrubias Ramírez

ASESOR DE INFORME

M. en C. Edgar Isaac Ramírez Díaz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Prólogo

En la empresa en la que actualmente laboro se fabrican flechas de velocidad constante, las cuales están compuestas por varios ensambles. Una pieza fundamental en el ensamble es el tulipán, el cual consiste a grandes rasgos de una barra cilíndrica sólida de acero con un acabado al final para que entre un trípode. Dentro de la producción de tulipanes, se tienen varias operaciones para dar el acabado final que solicita el cliente y dentro de éstas se encuentra la de tratamiento térmico, específicamente el templado, la cual se realiza mediante inducción. La herramienta utilizada para esta operación se le llama inductor.

Una de las tantas problemáticas del proceso a lo largo de los años es la falta de control en el uso de la herramienta dado que las máquinas que se utilizan para este proceso son todas diferentes lo que hace que cada herramienta deba adecuarse a su máquina. Por ello se plantea establecer un sistema de control de las herramientas, por lo que se requiere desarrollarlo e implementarlo, iniciando como prototipo, con la línea 7 de tulipán, con el fin de mejorar la disponibilidad y calidad en la herramienta.

Este sistema se construye con base en un diagrama de flujo, en el cual se revisa el estado actual del proceso, para después, entre un equipo multidisciplinario, establecer cómo debería funcionar el sistema. Cada opinión es analizada entre todo el equipo y se retroalimenta con la opinión de los demás, con esto se va conformando todo el sistema. Lo anterior tiene fundamento en el “Toyota Production System” el cual contiene metodologías de manufactura esbelta como lo es el “Business Process Improvement” (BPI) y el “Value Stream Mapping” (VSM).

La idea de este proyecto es hacer que el flujo de la herramienta tenga un orden, así como asegurar las responsabilidades entre las personas que intervienen en el proceso y delimitar hasta donde llegan sus actividades, la realización de acciones preventivas para asegurar la calidad de la herramienta y su correcto funcionamiento en la línea de producción. Mediante mi habilidad para realizar trabajo en equipo, planteamiento y solución de problemas y la investigación exhaustiva de información que no necesariamente se tenga que obtener de documentos escritos, sino directamente de la experiencia de mis compañeros de trabajo y con los conocimientos aprendidos en las materias de metalurgia, electricidad y magnetismo, análisis de circuitos, manufactura y la mecánica de materiales se pretende tener una mejor comprensión del problema.

Además de facilitar la comprensión de nuevos conocimientos más avanzados con las bases adquiridas y lograr llevar a cabo el proyecto.

En el capítulo 1, del presente trabajo, se orienta a describir la historia de la fábrica, desde sus inicios hasta lo que actualmente realiza como corporativo y sus divisiones. Más adelante se presenta una breve descripción del puesto que se ocupa y las actividades que se estuvieron realizando durante la estancia.

Posteriormente se presentan los antecedentes del proyecto donde se describe como se ha estado trabajando antes de mi estancia y los trabajos, investigación y evaluaciones comparativas “[benchmarking]” que se han estado realizando. Además se describen los antecedentes del problema y por último se muestra su definición y el contexto de la participación profesional, es decir, se describe el alcance que tiene el proyecto.

Lo que busca este capítulo es poner en contexto al lector sobre la empresa en donde se estuvo realizando el proyecto, describir la situación del problema, tanto en el pasado como lo que se tuvo cuando se empezó a desarrollar el proyecto.

El capítulo 2 en general trata sobre los temas ingenieriles involucrados en el problema, para no descuidar los aspectos importantes de la herramienta en la realización del sistema administrativo. Abordando los principios de inducción electromagnética, después se describen los aspectos fundamentales para diseñar bobinas inductoras para tratamientos térmicos, así como sistemas de enfriamiento que tienen las bobinas.

En el capítulo 3 se presenta la teoría sobre la manufactura esbelta, cómo nace y de donde viene. La definición de desperdicio y valor agregado, los ocho desperdicios y su definición. El mapeo de procesos y su beneficio.

En el capítulo 4 se presenta la metodología usada para realizar el sistema y los procesos previos y posteriores que se tienen al de tratamiento térmico, así también se aborda la variedad de productos y como es que se va a medir la eficiencia o la mejora con la implementación del sistema. Este capítulo es necesario para entender cómo es que se llegó a los resultados obtenidos y las consideraciones que se tomaron en cuenta.

Por último se tiene el capítulo 5 en el cual se muestran los resultados obtenidos con el trabajo desarrollado y estos constan de dos partes: la primera muestra el procedimiento obtenido con la metodología descrita en el capítulo 3, pero también se presenta lo obtenido con su implementación. Así también se incluyen las conclusiones y la bibliografía utilizada.

Índice

Capítulo 1: Introducción a la empresa y al proyecto desarrollado

| | |
|---|---|
| 1.1 Descripción de la empresa..... | 1 |
| 1.2 Ubicación y descripción del puesto..... | 2 |
| 1.3 Antecedentes del proyecto..... | 3 |
| 1.4 Definición del problema o contexto de la participación profesional..... | 5 |

Capítulo 2: Inducción electromagnética y bobinas para calentamiento de piezas

| | |
|--|----|
| 2.1 Introducción al proceso de calentamiento por inducción electromagnética..... | 6 |
| 2.2 Principios de inducción electromagnética..... | 6 |
| 2.3 Hornos de inducción..... | 8 |
| 2.4 Diseños de bobinas inductoras..... | 12 |
| 2.5 Sistemas de enfriamiento..... | 15 |

Capítulo 3: Manufactura esbelta

| | |
|--|----|
| 3.1 Introducción a la manufactura esbelta..... | 17 |
| 3.2 Los ocho desperdicios..... | 19 |
| 3.3 Mapeo de los procesos..... | 23 |

Capítulo 4: Metodología y resultados de la realización e implementación del sistema administrativo para el manejo de inductores

| | |
|---------------------------------|----|
| 4.1 Metodología..... | 28 |
| 4.2 Análisis de Resultados..... | 33 |

Capítulo 5: Conclusiones.....

| | |
|-------------------|----|
| Bibliografía..... | 43 |
|-------------------|----|

Capítulo 1: Introducción a la empresa y al proyecto desarrollado

1.1 Descripción de la empresa

La empresa fue fundada en 1759 en los inicios de la revolución industrial. Actualmente son casi 40,000 personas las que laboran en todas las divisiones, en más de 30 países. Se tienen entonces 4 divisiones o áreas de negocio: automotriz, aeroespacial, maquinaria pesada, sinterizado de metales.

En la división automotriz esta la sección “línea motriz” la cual es líder en producción de: sistemas CVJ (Constant Velocity Joint), sistemas AWD (All Wheel Drive), soluciones y sistemas “eDrive” y “Transaxle”. Todas ellas para suplir a los principales fabricantes de automóviles del mundo.

La misión consiste en diseñar y fabricar productos de tracción que se apoyen en el mejor servicio posible al cliente. Para llevarla a cabo se requiere:

- Crear una cartera de productos de tracción y soluciones de sistemas para los clientes.
- Conseguir importantes cuotas de mercado en todas las áreas comerciales.
- Cumplir o superar las expectativas de los clientes en cuanto a calidad, costo y suministro.
- Ser la organización preferida para empleados calificados y motivados.
- Comportarse de forma íntegra y respetuosa con todos aquellos que tengan algún interés en la empresa, incluyendo comunidades, clientes, empleados, el medio ambiente y accionistas.

Se tiene la visión de ser una organización de excelencia.

Las operaciones en México comenzaron en 1979, actualmente se fabrican flechas homocinéticas de velocidad constante contando con 6 cadenas de valor: forja, junta fija, junta deslizante, ensamble y semieje.

1.2 Ubicación y descripción del puesto

El puesto es especial para las personas de nuevo ingreso, ya que se pone a prueba mediante un proyecto que muestre su capacidad de entregar resultados positivos a la empresa.

En la siguiente imagen se aprecia un organigrama de la empresa donde se ve la posición del puesto de trabajo.

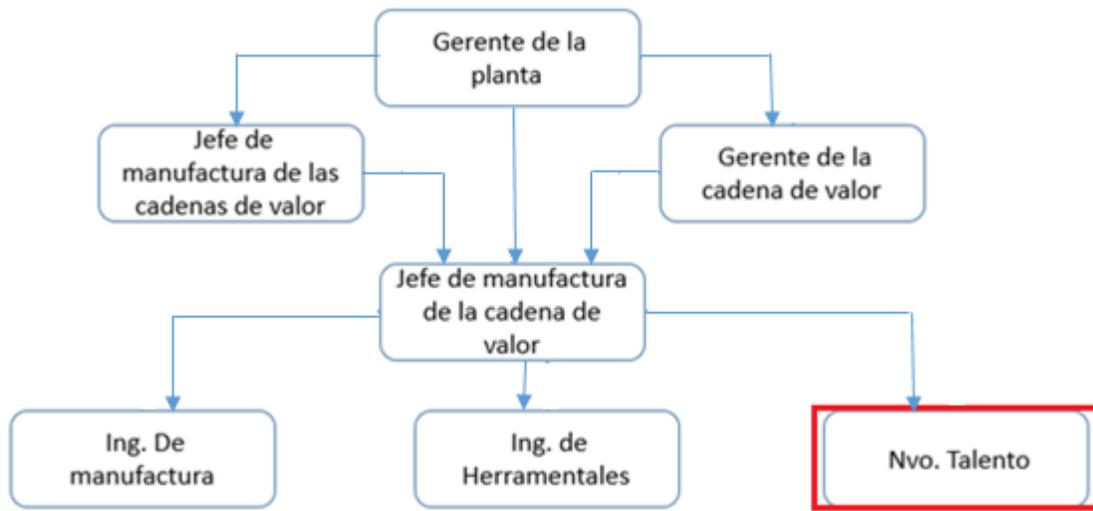


Figura 1.1. Organigrama de la empresa y el lugar del puesto “nuevo talento”.

Este puesto llamado nuevo talento, que en otras palabras es la persona que realiza un entrenamiento dentro de la empresa, sirve para capacitar a los nuevos ingresos en las diferentes operaciones que se realizan, estas pueden ir desde lo más técnico como aprender cómo funciona una máquina de torneado CNC hasta realizar códigos G. También abarca el desarrollo personal, con cursos para mejorar el desempeño laboral como el de realizar buenas presentaciones, trabajo en equipo y conocimiento de fortalezas y defectos siempre encausado al bien de la empresa.

Por lo tanto el puesto tiene la obligación de asistir a estas capacitaciones, la realización del proyecto y además ayuda y da apoyo a las actividades que realiza la gente del departamento al que se asigne que en este caso es el de manufactura.

Dentro de manufactura se tienen las siguientes actividades: apoyo para verificar en línea que el producto se está llevando a cabo conforme a los planes de control de producto y proceso, verificación de documentos de planes de control de producto y proceso en el ámbito administrativo, verificación de herramientas que se están usando actualmente en línea, conocimiento sobre ajustes y tolerancias, asistencia a juntas para control de avance de actividades, apoyo a las áreas de soporte de la cadena de valor como lo son taller de herramientas y “Presetting”, en la cual se apoya con actividades para agilizar el mantenimiento de herramientas, actualización de documentos para llevar el control de la vida del herramienta.

Con ello se tiene un aprendizaje de los parámetros físicos que afectan al herramienta, así como también conocimiento de cómo trabajan las máquinas que realizan las operaciones para entregar un producto final.

1.3 Antecedentes del proyecto

A partir de 2007 se ha tenido un crecimiento en la empresa y por ende ha incrementado el número de modelos y con ello el de inductores, lo que ha provocado un descontrol en su administración

Se comenzó con el desarrollo de una evaluación comparativa “[benchmarking]” con el cual se ha visto cómo es que otras compañías organizan a estos herramientas, meses antes de la realización del proyecto. Por lo que se propuso tener un sistema de supermercado prototipo en una de las líneas de producción. La idea de este supermercado tenía como objetivo tener inductores exclusivos por líneas, además de otorgarle la responsabilidad a una persona de su cuidado, resguardo y seguimiento en caso de estar en mantenimiento.

Esto ayudó a que la persona se volviera más experta en el tema, lo que permitió monitorear la vida útil de la herramienta, los cambios que se le tenían que hacer en caso de llegar a ese número de piezas producidas y conocimiento total de su historia lo que llevó a que la línea crítica se pudiera estabilizar e incluso tener números positivos.

Con el tiempo, se realizaron cambios del puesto de la persona responsable y esto provocó que el sistema se cayera dado que no hubo estandarización del proceso y capacitación a gente para que pudiera seguir llevando a cabo el control.

Así también empezaron a aparecer otras líneas críticas, el estante donde se guardaba la herramienta fue movido a otra línea para otro sistema prototipo, la cual tuvo sus modificaciones de responsabilidades, dejando a los operadores como responsables de llevar el control con el defecto de que es más difícil de controlar a más personas y entre ellas tienen que hacer equipo para no afectarse.

Aun cuando al no contar con todo el conocimiento de su herramienta, este sistema también logró su éxito ya que hizo que la línea subiera su rendimiento, pero al no estandarizarlo, hizo que en menos de un año se cayera.

El problema que se ha tenido en el proceso de tratamiento térmico es que cuando se realiza un cambio de modelo, se hace cambio de herramienta (siendo ésta la que modifica la pieza) y herramientas (siendo estos los que ayudan a la herramienta a realizar adecuadamente su trabajo).

Entonces cuando se quiere liberar ese cambio de modelo (que la pieza cumpla con los requerimientos del plan de control de producto o requerimientos de diseño), se tienen problemas y hay que volver a ajustar la herramienta (posición), variar parámetros de máquina (parámetros del proceso) y en caso extremo cambiar y/o modificar a la herramienta (inductor).

Dentro de cada clasificación se incluyen un sin número de variables que afectan al proceso y si además de eso se le agrega la mala organización que se tiene para tener las herramientas a tiempo, en buen estado (con un buen mantenimiento) y además sin el conocimiento profundo para el diseño y fabricación de las herramientas, hace que este proceso sea el más crítico de la planta.

Por ello el problema está repartido en varias partes y una parte es la organización y administración de la herramienta (inductor), la cual compete a este trabajo.

1.4 Definición del problema o contexto de la participación profesional

El proyecto consiste en desarrollar un sistema de control de la herramienta, es decir, el inductor. En otras palabras cuando producción va a usar un inductor, éste tiene que pasar por varias áreas de soporte antes de llegar a la máquina.

Este movimiento, que se tiene a través de las áreas de soporte, se le llama flujo y entonces lo que se pretende con el proyecto es hacer que el flujo del inductor sea continuo y mejorar las partes en donde se llega a bloquear o retardar.

La problemática está entonces en la parte donde el flujo se interrumpe o se vuelve lento, incluso hay partes en las que no se sabe con seguridad quien es el responsable de la herramienta y no haya un sentido de pertenencia causando que haya una falta de responsabilidad por el herramental. Esto ha llegado a afectar tanto, que muchas veces no se le alcanza a dar mantenimiento y con ello cuando se monta en línea ha llegado a fallar causando el paro.

Otro de los problemas que se tiene es que las máquinas utilizadas para realizar el tratamiento térmico por temple no son todas iguales, es decir, no están estandarizadas. Además, la herramienta es fabricada de una manera muy general y cuando llega a la máquina, se tiene que adaptar, muchas veces de una manera forzada y el problema es cuando se entrega a otra máquina. Por otro lado se le da un mantenimiento general a la herramienta que hace que vuelva a sus medidas originales por lo que el ajuste realizado previamente se pierde.

Hay que agregar además que no se tiene un conocimiento profundo en el diseño de la herramienta y que estos ajustes forzados son consecuencia en parte de esta falta de conocimiento. Lo que provoca que tenga una vida útil menor y que si se manda a otra máquina tiene otro ajuste forzado.

Como se observa el problema es muy grande pero una de las primeras medidas a tomar para su solución es la organización y orden de la herramienta. El darle organización y orden causará que haya disponibilidad y además que el inductor sea validado en máquina. Así mismo ahorrará tiempos muertos y hará que su mantenimiento se de en un tiempo estándar y con ello se asegure en la calidad del inductor.

Capítulo 2: Inducción electromagnética y bobinas inductoras para calentamiento de piezas

2.1 Introducción al proceso de calentamiento por inducción electromagnética

El calentamiento por inducción electromagnética se aplica a materiales conductores de energía eléctrica, esencialmente metálicos, en muchos procesos industriales. Si se hace atravesar un material conductor por un campo magnético variable se genera en el seno del mismo una fuerza electromotriz (diferencia de potencial), que crea una corriente cuyas características dependerán de las propiedades eléctricas de la pieza como también de la fuerza y frecuencia del campo magnético actuante.

Se trata de corrientes parásitas (Corrientes de Foucault) que, al fluir por el conductor en contra de la resistencia eléctrica de éste, disipan energía en forma de calor. Esta generación de calor es aprovechada en variadas operaciones de procesamiento de metales tales como: fusión, soldadura, soldadura con bronce, latón u otras aleaciones base cobre “[brazing]”, tratamientos térmicos, calentamiento previo al trabajado mecánico, etc., y en otras operaciones como secados o curados.

Entre todas estas aplicaciones, predomina el uso en el tratamiento térmico y especialmente en el temple de superficies de acero y fundición. Comparándolo con la utilización de hornos, el calentamiento por inducción ofrece ahorros de energía y mayores velocidades de trabajo.

2.2 Principios de inducción electromagnética

El campo magnético variable a que se aludió anteriormente es producido por una corriente eléctrica alterna de intensidad y frecuencia adecuadas para el trabajo a efectuar, que recorre una bobina de forma especialmente adaptada a la zona de la pieza a calentar.

Si una pieza se coloca dentro de una bobina de N vueltas por la que circula una corriente alterna de intensidad J , capaz de producir un campo de intensidad de flujo ϕ , se generará una fuerza electromotriz e que se expresa como:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \qquad \text{Ec. 2.1}$$

El sistema bobina inductora-pieza de trabajo funciona como un transformador en donde la bobina inductora es el primario y el secundario una bobina de una sola espira en cortocircuito que es la pieza de trabajo.

Las corrientes inducidas en la pieza de trabajo generan su propio campo magnético de sentido contrario al generado por el inductor, siendo éste el motivo por el cual las corrientes inducidas se debilitan hacia el interior provocando el llamado efecto de piel.

La disminución de la intensidad de corriente inducida desde la periferia hacia el interior está expresada por una ley exponencial:

$$i_x = i_s e^{-\frac{x}{d}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

En donde i_x indica la intensidad de corriente a la distancia x de la superficie calentada; i_s indica la intensidad de corriente en la superficie calentada y d es la profundidad de penetración, que determina la profundidad efectiva de las corrientes parásitas en su generación de calor. El valor de d está dado por la siguiente expresión:

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 \mu_T f}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío; μ_T es la permeabilidad magnética relativa de la pieza que se calienta (disminuye cuando aumenta la temperatura); ρ es la resistividad de la pieza de trabajo (aumenta con la temperatura); f es la frecuencia del campo magnético actuante producido por la corriente que recorre la bobina inductora.

En las figuras 2.1a y b se muestra, respectivamente, la variación de i_x/i_s y de la energía específica generadora de calor (elevando al cuadrado la intensidad de corriente), en función de la relación x/d .

Se deduce que, para idénticas condiciones de resistividad y permeabilidad relativa, la profundidad de penetración d , depende fundamentalmente de la frecuencia alimentadora de la bobina inductora. Además de la influencia de la frecuencia en la definición de d , la permeabilidad magnética relativa μ_T cumple un rol importante, la cual depende de la temperatura a la que se encuentra el material.

La frecuencia está ligada íntimamente a la profundidad de la capa que se desea temprar; cuanto mayor sea ésta, menor deberá ser la frecuencia.

En general, teniendo en cuenta la expresión de la ecuación 2.3 acerca del valor del espesor "d", se estima la frecuencia óptima del generador para el temple superficial del acero; la capa efectiva será alrededor de la mitad de la hallada al calcular la profundidad de penetración con una determinada frecuencia de corriente.

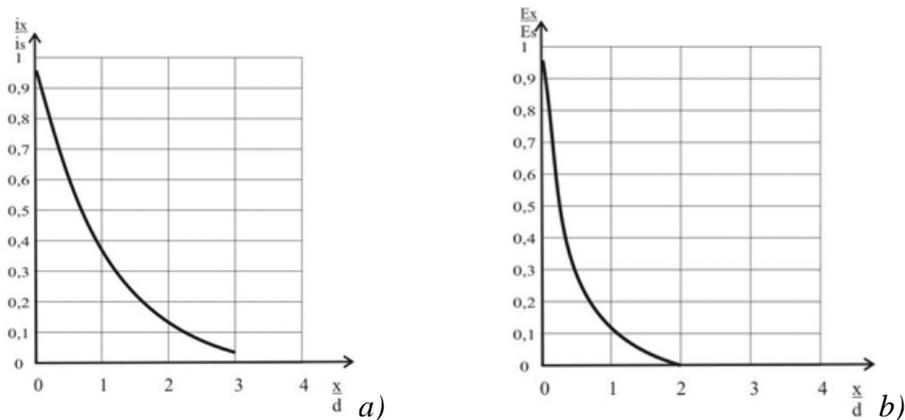


Figura 2.1 Variación de i_x/i_s en función de la relación x/d a), variación de la energía específica generadora de calor en función de la relación x/d b). [Zinn y Semiatin, 1988].

2.3 Hornos de inducción

Los hornos de inducción se componen de tres sistemas principales: la fuente de poder y el circuito que acopla al inductor con la fuente de poder, el sistema de enfriamiento y un sistema de control de los parámetros del proceso como pueden ser la temperatura, potencia, voltaje, frecuencia, tiempos de calentamiento y enfriamiento. A continuación se abordará a detalle la fuente de poder y los sistemas de enfriamiento.

Además de la bobina inductora y la pieza de trabajo, la fuente de corriente alterna (generador de inducción), es probablemente el componente más importante de todo el sistema de calentamiento por inducción en general. Dicho equipo es visto en términos de su frecuencia y de su máxima potencia de salida (kW). Básicamente hay seis tipos de fuentes de poder para aplicaciones de calentamiento por inducción, cada una está diseñada para proveer corriente alterna dentro de un rango de frecuencia.

Estos son: fuentes de frecuencia en línea (“line-frequency supplies”), multiplicadores de frecuencia (“frequency multipliers”), motogeneradores (“motor generators”), inversores de estado sólido (“solid-state static inverters”), convertidores de chispa (“spark-gap converters”) y fuentes de poder de radio-frecuencia.

Fuentes de frecuencia en línea

Los sistemas de frecuencia en línea proveen un proceso basado en inducción eficiente y de bajo costo, siempre y cuando sea una aplicación para cantidades muy pesadas como barras enteras.

El sistema básico consiste en un transformador primario, como se observa en la figura 2.2, el cual se encuentra dividido (para variar sus propiedades eléctricas) y un secundario, que unidos pueden proveer aproximadamente el voltaje requerido en el inductor. La llave que se utiliza para variar las propiedades del transformador primario la cual es operada manualmente por interruptores rotatorios, permiten el ajuste del voltaje del inductor según los requerimientos específicos de carga. También se usan capacitores con factor de corrección de potencia, los cuales son colocados a lo largo del devanado del transformador primario. Dado que las corrientes en el sistema son muy grandes, es deseable mantener el transformador y el banco de capacitores lo más cerca posible del inductor.

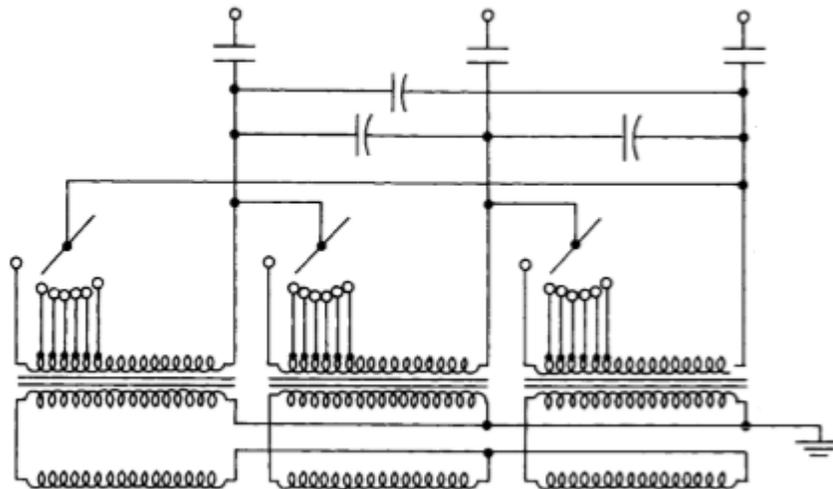


Figura 2.2 Inductores primarios los cuales están divididos para variar la inductancia.

Dependiendo de los requerimientos de potencia, los sistemas de este tipo pueden ser operados con líneas estándar de voltaje de 220 o 440 V. [Zinn y Semiatin, 1988].

Multiplicadores de frecuencia

Los multiplicadores de frecuencia son usados para obtener múltiplos de la fuente de frecuencia en línea, lo más común es obtener 180 o 540 Hz. Estos equipos también son usados para calentamientos largos y aplicaciones de fundición. [Zinn y Semiatin, 1988].

Motogeneradores

Los motogeneradores son sistemas rotatorios compuestos por un motor acoplado a un generador, estos sistemas, debido a su baja eficiencia, se encuentran prácticamente en desuso. El motor y el generador pueden ser unidades individuales acopladas con un mecanismo o pueden ser construidas en una sola pieza. Se usa un sistema de enfriamiento para disipar el calor generado en el devanado. Las frecuencias generadas usando motogeneradores están determinadas por la velocidad rotacional y por el número de polos en el generador. Aunque nominalmente se tienen frecuencias de 1, 3 y 10 kHz, las frecuencias estándar son de 960, 2880 y 9600 Hz. [Zinn y Semiatin, 1988].

Inversores en estado sólido

Hay dos tipos de inversores en estado sólido, el primero llamado inversor de frecuencia variable o de barrido, es un sistema donde la línea de voltaje es convertida a una corriente directa y luego es aplicada mediante un divisor de voltaje capacitivo, a un circuito inversor (cc a ca). Además un circuito de retroalimentación del tanque resonante junto con las señales de control de potencia (y voltaje), alimentan un oscilador local cuya señal de salida controla la velocidad de disparo del inversor.

El otro inversor sólido, llamado inversor de carga resonante o de alimentador de corriente, utiliza también una fuente de cc, sin embargo, este inversor tiene un rectificador para el control del voltaje. El inversor no usa un oscilador local pero su efecto conmutador deriva directamente del circuito del tanque resonante.

Las fuentes de poder en estado sólido no están limitadas en comparación con los motores generadores debido a que sus generadores son de carga resonante o controlados por un oscilador local, lo que lleva a que se pueda seleccionar la frecuencia, lo cual es lo deseado para este tipo de aplicaciones. Las frecuencias generadas por estos sistemas están en el rango de 80 a 200 kHz. [Zinn y Semiatin, 1988].

Fuentes de poder de radio frecuencia

El funcionamiento de las fuentes de poder de radio frecuencia funciona muy parecido a un circuito RLC (resistencia, capacitor, inductor) en paralelo a una fuente con un interruptor como se ve en la figura 2.3, solo que en vez de una fuente de fuerza electromotriz (fem) con interruptor se tiene tubos de vacío. La mayoría de los generadores de RF oscilan en un rango de 200kHz a 450kHz. [Zinn y Semiatin, 1988].

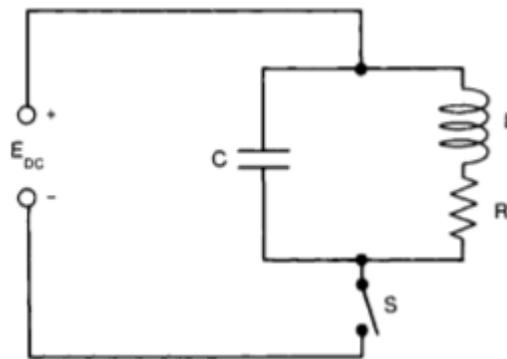


Figura 2.3 Circuito RLC con fem e interruptor en paralelo con capacitor

Sin embargo ya se encuentran equipos de estado sólido de radio frecuencia el cual tiene rangos de 50 a 450 kHz y un amplio rango de potencia de salida. [Zinn y Semiatin, 1988].

2.4 Diseños de bobinas inductoras

La forma de la bobina inductora tiene una importancia muy grande ya que concentra el flujo de líneas de fuerza sobre la zona a calentar. En la figura 2.4 se muestran diversos modelos de espiras.

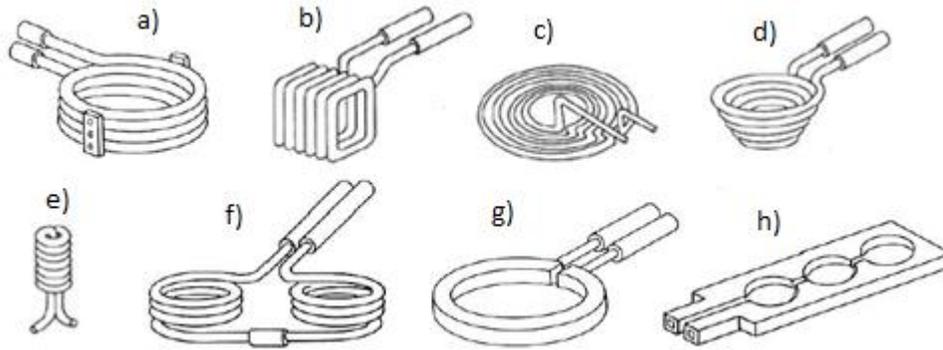


Figura 2.4 Configuraciones típicas de bobinas para inducción: a), b), c), d) y e) son de espiras múltiples, una sola posición, de distintas formas, f) espiras múltiples, posiciones múltiples, g) mono espira, una sola posición, h) mono espiras, posiciones múltiples. [Curtis, 1950].

Algunas de las condiciones necesarias para tener en cuenta en su diseño son las siguientes:

- Cuanto mayor acercamiento entre la zona a calentar y las espiras de la bobina, mayor concentración de líneas de fuerza del campo magnético, dando mayor intensidad a las corrientes parásitas y por lo tanto mayor temperatura por efecto Joule.
- La mayor concentración de líneas de fuerza se encuentra en el centro de la bobina, en forma longitudinal.
- La mínima concentración de líneas de fuerza se encuentra en el centro geométrico de la bobina (en el centro de la circunferencia si es circular o en la intersección de las diagonales si es rectangular o cuadrada); la figura 2.5 muestra la penetración de calentamiento producido en una barra redonda descentrada respecto a la bobina.
- Cuando por razones de la forma de la pieza no es practicable una luz pareja, es interesante -siempre que sea posible- hacer girar la pieza dentro de la bobina.
- Para calentamientos de baja frecuencia (grandes espesores o tratamientos del acero en toda la sección del mismo), se usan bobinas de gran número de espiras que forman, con su autoinducción y la del transformador utilizado, la impedancia total del sistema eléctrico.

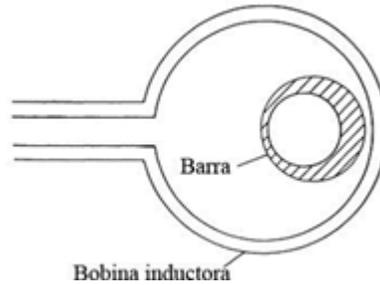


Figura 2.5 Penetración de calentamiento producido en una barra redonda descentrada respecto a la bobina. [Zinn y Semiatin, 1988].

En general, para ejes y/o tubos en donde se persiguen capas de poca profundidad de calentamiento para temple superficial y especialmente para materiales ferromagnéticos, se aconsejan inductores de una sola espira, teniendo en cuenta que debe guardarse una relación entre el diámetro interior de la bobina y el ancho de la espira. Así, para un diámetro de 50 mm, el ancho debería ser de 19 mm; en cambio si el diámetro es de 100 mm, el ancho debería ser de 25 mm. [Zinn y Semiatin, 1988].

Cuando se trata de calentamiento de capas grandes o calentamiento de la sección total de la pieza, se suelen usar bobinas de varias espiras las que, para obtener uniformidad en el calentamiento, se modifican los diámetros en las zonas demasiado cargadas de líneas de fuerza.

La distancia entre la bobina y el área de trabajo debe ser la mínima posible para evitar que el flujo de líneas se disperse fuera de la zona a trabajar. La frecuencia de la corriente inductora tiene gran influencia sobre el vacío entre la bobina y la zona de trabajo.

En efecto, a mayores frecuencias las corrientes en la bobina son más bajas y el acercamiento será, en general, mayor; con bajas y medias frecuencias, las corrientes de bobina son mayores y la distancia entre bobina y zona de trabajo podrán ser mayores.

Para materiales magnéticos que deben ser calentados en toda la sección, donde se usan bobinas de varias espiras, las separaciones suelen ser entre 6.5 mm y 9.5 mm. En materiales no ferrosos con las mismas condiciones de calentamiento, es aceptable una variación de la separación entre 1.5 y 3 mm. [Zinn y Semiatin, 1988].

Tratándose de calentamientos superficiales, se aconsejan acercamientos del orden de 1.5 a 2.5 mm, lo que también dependerá de que la pieza se mueva con respecto a la bobina. [Zinn y Semiatin, 1988]. Otro aspecto importante de la forma de la bobina es relativo a la forma de la pieza y las zonas que debe calentar, ya que puede haber más de una sola parte a calentar, en cuyo caso puede haber sobrecalentamientos en algunas zonas lo que obligaría a efectuar enrollamientos en sentido contrario al necesario en la zona a trabajar, como se muestra en la Figura 2.6.

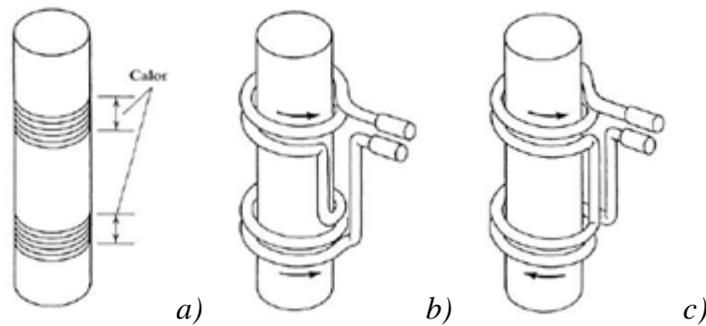


Figura 2.6 Cilindro las zonas a calentar a), configuración de bobina en el que puede haber sobrecalentamientos b), corrección al cilindro c). [Curtis, 1950].

En general existe una enorme variedad de bobinas de acuerdo al trabajo a realizar, enteras o partidas (Figura 2.7); en todas ellas se imponen las consideraciones ya mencionadas respecto a la concentración del flujo magnético.

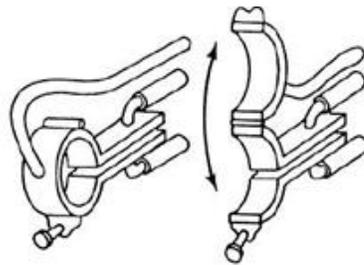


Fig. 2.7 Bobina partida. [Lozinskii, 1969].

Para reforzar el flujo magnético se utilizan a veces hojas de chapa hierro-silicio junto a las bobinas, que modifican la reluctancia del campo magnético con la ventaja de no absorber potencia eléctrica.

El material de las espiras es cobre exento de óxidos y la sección generalmente es circular, pero también tienen otras formas: rectangular, aplanada, etc, y, tomando en cuenta que, en caso que sean varias, las corrientes en el mismo sentido provocan fuerzas de acercamiento y las recorridas en sentido contrario, de alejamiento.

Las bobinas deben ser refrigeradas, para lo cual es ideal la utilización de tubos; es una forma de mantener baja la resistividad y la escasa formación de óxido; por otra parte es importante mantener el agua sin excesiva cantidad de sales que afecten su capacidad de enfriamiento.

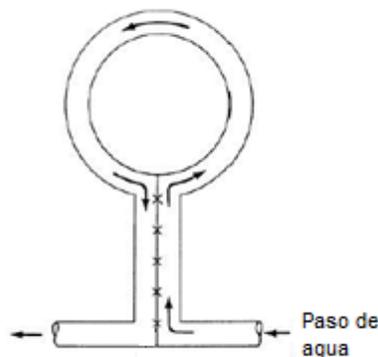


Figura 2.8 Recorrido del refrigerante dentro de la bobina. [Zinn y Semiatin, 1988].

2.5 Sistemas de enfriamiento

Estos sistemas tienen tanta importancia como los necesarios para el calentamiento. Fundamentalmente se basan en considerar si el temple es localizado o continuo; la templabilidad del acero a tratar indicará el tipo de líquido a emplear y la velocidad de enfriamiento.

Existen dos tipos de enfriamiento bien definidos: con anillos de enfriamiento por lluvia (spray) o sistemas por inmersión. Los anillos por lluvia se colocan debajo de la bobina de calentamiento, encima o a lo largo de la misma (adelante o atrás para bobinas horizontales).

O bien estar preparada la bobina de calentamiento con un sistema para el líquido enfriante en sí misma. En los casos de temple puntuales, se sumerge la pieza inmediatamente luego del calentamiento (figura 2.9).

Los fluidos para enfriamiento pueden ser: agua, aceite, aceite soluble, polímeros solubles en agua o aire comprimido, según la templabilidad del acero. Si se usa agua, debe ser "blanda" es decir con una escasa proporción de sólidos para que no tape las cañerías; su temperatura, debe ser controlada entre 15° y 35° C [Zinn y *Semiatin*, 1988]. Por esta razón, y para tener un enfriamiento eficiente, el sistema de bombeo debe tener una capacidad varias veces superior a la necesaria para dotar al sistema del flujo correcto para el temple.

Algunos detalles acerca del enfriamiento se refieren a la medida de los orificios, a la separación entre éstos, la separación entre las filas que los ordenan, el ángulo de ataque sobre la parte a enfriar, etc. La medida de los agujeros será la mínima posible, compatible con la limpieza que deberá efectuarse periódicamente; la distancia debe ser tal que, a veces conviene un solapamiento entre los filetes acuosos para asegurar el enfriamiento efectivo.

En cuanto a la inclinación: para enfriamientos puntuales, la dirección debe ser perpendicular a la superficie de trabajo; para enfriamientos en superficies desplazables (ejes, barras, etc.) la inclinación tiene un ángulo de unos 30° en la dirección del desplazamiento del trabajo. [Zinn y *Semiatin*, 1988]. La no uniformidad del enfriamiento, el excesivo enfriamiento (especialmente en aceros muy templables) y las superficies rugosas provocadas por las marcas de herramientas, son algunos de los factores que producen fisuras en la superficie templada por inducción.

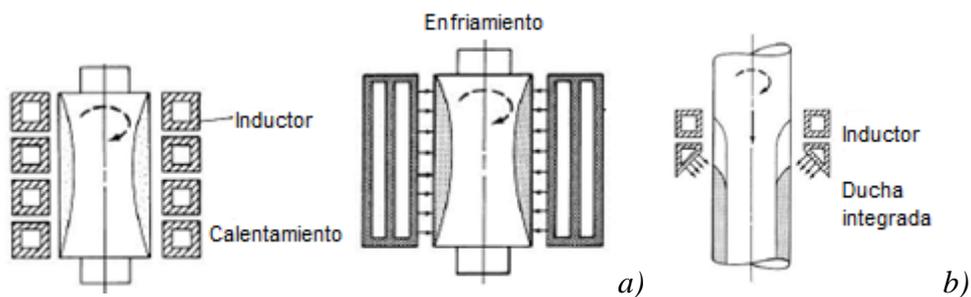


Figura 2.9 Diseños de sistemas de enfriamiento para inducción. Bobina y temple separados a) Bobina y duchas integrada b). [Reinke y Gowan, 1978].

Capítulo 3: Manufactura esbelta

3.1 Introducción a la manufactura esbelta

La manufactura esbelta tiene su origen en el sistema de producción “Just in Time” (JIT) desarrollado en los años 50 por la empresa automovilística Toyota®. La manufactura esbelta es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción concentrándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios.

La manufactura esbelta mira lo que no se debería estar haciendo porque no agrega valor al cliente y tiende a eliminarlo. Para alcanzar sus objetivos, despliega una aplicación sistemática y habitual de un conjunto extenso de técnicas que cubren la totalidad de las áreas operativas de fabricación: organización de puestos de trabajo, gestión de la calidad, flujo interno de producción, mantenimiento, gestión de la cadena de suministro.

La manufactura esbelta propugna un cambio radical cultural. Este consiste en analizar y medir la eficiencia y productividad de todos los procesos en términos de “valor añadido” y “desperdicio”. Un ejemplo de esto es la forma en que la manufactura esbelta mide la eficiencia y productividad de los sistemas de fabricación.

Las empresas usan los indicadores de productividad como medida clave del rendimiento de sus procesos, pero si las mediciones se realizan sobre lo que se hace, sin plantear si está o no bien hecho, si tiene o no “valor”, es muy probable que las cifras escondan todo el potencial de mejora de competitividad y costo del sistema.

El valor se añade cuando todas las actividades tienen el único objetivo de transformar las materias primas del estado en que se han recibido a otro de nivel superior que algún cliente esté dispuesto a comprar. Entender esta definición es muy importante a la hora de juzgar y catalogar los procesos. El valor añadido es lo que realmente mantiene vivo el negocio y su cuidado y la mejora debe ser la principal ocupación de todo el personal de la cadena productiva.

No se debe cometer el error de confundir desperdicio con lo necesario, es decir, cuando se identifica una operación o proceso como desperdicio, por no añadir valor, se asocia dicho pensamiento a la necesidad de su inmediata eliminación y crea confusión y rechazo.

Cabe señalar que existen actividades necesarias para el sistema o proceso, aunque no tengan un valor añadido.

En este caso estos desperdicios tendrán que ser asumidos. Si las empresas actúan en la línea de la eliminación de los desperdicios dispondrán de la herramienta más adecuada para mejorar sus costos. Precisamente la manufactura esbelta surgió cuando las empresas ya no podían vender productos a partir del cálculo de sus costos, fueran los que fueran, más un porcentaje de incremento por beneficios.

Con el pensamiento esbelto, la estructura de precios se fundamenta en la ecuación:

$$\text{Costo} = \text{Precio de mercado} - \text{Beneficio} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

En un planteamiento esbelto se parte del precio que el mercado está dispuesto a pagar y del beneficio que se desea obtener para afrontar la minimización de costos combinando, reduciendo o eliminando tantas actividades sin valor añadido como sea posible. Las organizaciones cuentan con un enorme potencial para reducir costos y ofrecer mejores productos a los clientes si simplifican o eliminan las actividades de valor reducido.

En el entorno esbelto la eliminación sistemática del desperdicio se realiza a través de tres pasos y recibe el nombre de Hoshin (Brújula):

- Reconocer el desperdicio y el valor añadido dentro de los procesos.
- Actuar para eliminar el desperdicio aplicando la técnica esbelta más adecuada.
- Estandarizar el trabajo con mayor carga de valor añadido para, posteriormente, volver a iniciar el ciclo de mejora.

La idea fundamental del Hoshin es buscar, por parte de todo el personal involucrado, soluciones de aplicación inmediata tanto en la mejora de la organización del puesto de trabajo como en las instalaciones o flujos de producción.

Uno de los puntos clave del éxito del sistema se encuentra en la implicación de todo el personal, empezando por la dirección y terminando en los operarios.

3.2 Los ocho desperdicios

La mejor forma de entender los conceptos descritos y evaluar su magnitud es identificar algunos de los tipos de despilfarros sobre los que se centra la manufactura esbelta y estos son almacenamiento, sobreproducción, tiempo de espera, transporte o movimientos innecesarios, defectos, rechazos, reprocesos y un octavo que es el desperdicio del potencial de la gente.

El reconocimiento de los desperdicios de cada empresa debe ser el primer paso para la selección de las técnicas más adecuadas. El firme convencimiento de la existencia de desperdicios en la empresa ayudará a la hora de diagnosticar el sistema y aplicar las medidas más eficientes.

3.2.1 Sobreproducción

El desperdicio por sobreproducción es el resultado de fabricar más cantidad de la requerida o de invertir o diseñar equipos con mayor capacidad de la necesaria. La sobreproducción es un desperdicio crítico porque no incita a la mejora ya que parece que todo funciona correctamente. Además, producir en exceso significa perder tiempo en fabricar un producto que no se necesita para nada, lo que representa claramente un consumo inútil de material que a su vez provoca un incremento de los transportes y del nivel de los almacenes.

La sobreproducción abre la puerta a otras clases de desperdicio. En muchas ocasiones la causa radica en el exceso de capacidad de las máquinas. Los operarios, preocupados por no disminuir las tasas de producción, emplean el exceso de capacidad fabricando materiales de más.

- Características: Gran cantidad de “stock”, ausencia de plan para eliminación sistemática de problemas de calidad, equipos sobredimensionados, tamaño grande de lotes de fabricación, falta de equilibrio en la producción, ausencia de plan para eliminación sistemática de problemas de calidad, equipamiento obsoleto, necesidad de mucho espacio para almacenaje.
- Causas posibles: Procesos no capaces y poco fiables, reducida aplicación de la automatización, tiempos de cambio y de preparación elevados, respuesta a las previsiones; no a las demandas, falta de comunicación.

- Acción esbelta: Flujo pieza a pieza (lote unitario de producción), implementación del sistema “pull” mediante “kanban”, acciones de reducción de tiempos en los cambios de modelo SMED (“Single Minute Exchange of Die”), nivelación de la producción, estandarización de las operaciones.

3.2.2 Tiempo de espera

El desperdicio por tiempo de espera es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o un proceso ineficiente. Los procesos mal diseñados provocan que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Por ello, es preciso estudiar a conciencia cómo reducir o eliminar el tiempo perdido durante el proceso de fabricación.

- Características: El operario espera a que la máquina termine, exceso de filas de material dentro del proceso, paradas no planificadas, tiempo para ejecutar otras tareas indirectas, tiempo para ejecutar reproceso, la máquina espera a que el operario acabe una tarea pendiente, un operario espera a otro operario.
- Causas posibles: Métodos de trabajo no estandarizados, “layout” deficiente por acumulación o dispersión de procesos, desequilibrios de capacidad, falta de maquinaria apropiada, operaciones retrasadas por omisión de materiales o piezas, producción en grandes lotes, baja coordinación entre operarios, tiempos de preparación de máquina /cambios de herramientas elevados.
- Acción esbelta: Nivelación de la producción y equilibrado de la línea, “layout” específico de producto y fabricación en células en “U”, automatización con un toque humano (Jidoka), cambio rápido de herramientas (SMED), adiestramiento polivalente de operarios, sistema de entregas de proveedores, mejorar en mantenimiento de la línea de acuerdo a secuencia de montaje.

3.2.3 Transporte

El desperdicio por transporte es el resultado de un movimiento o manipulación de material innecesario. Las máquinas y las líneas de producción deberían estar lo más cerca posible y los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin esperar en el inventario.

En este sentido, es importante optimizar la disposición de las máquinas y los trayectos de los suministradores. Además, cuantas más veces se mueven los artículos de un lado para otro, mayores son las probabilidades de que resulten dañados.

- Características: Los contenedores son demasiado grandes o pesados y difíciles de manipular, exceso de operaciones de movimiento y manipulación de materiales, los equipos de manutención circulan vacíos por la planta.
- Causas posibles: “layout” obsoleto, gran tamaño de los lotes, procesos deficientes y poco flexibles, programas de producción no uniforme, tiempos de preparación elevados, excesivos almacenes intermedios, baja eficiencia de los operarios y las máquinas, reprocesos frecuentes.
- Acción esbelta: “layout” del equipo basado en células de fabricación flexibles, cambio gradual a la producción en flujo según tiempo de ciclo fijado, trabajadores polivalentes o multifuncionales, reordenación y reajuste de las instalaciones para facilitar los movimientos de los empleados.

3.2.4 Almacenamiento

El desperdicio por almacenamiento es el resultado de tener una mayor cantidad de existencias de las necesarias para satisfacer las necesidades más inmediatas. El hecho de que se acumule material, antes y después del proceso, indica que el flujo de producción no es continuo. El mantenimiento de almacenes permite mantener los problemas ocultos, pero nunca los resuelve.

- Características: Excesivo espacio del almacén, contenedores o cajas demasiado grandes, rotación baja de existencias, costos de almacén elevados, excesivos medios de manipulación (carretillas elevadoras, etc.).
- Causas posibles: Procesos con poca capacidad, cuellos de botella no identificados o fuera de control, tiempos de cambio de máquina o de preparación de trabajos excesivamente largos, previsiones de ventas erróneas, sobreproducción, reprocesos por defectos de calidad del producto, problemas e ineficiencias ocultas.

- Acción esbelta: Nivelación de la producción, distribución del producto en una sección específica y fabricación en células, sistema “JIT” de entregas de proveedores, monitorización de tareas intermedias, cambio de mentalidad en la organización y gestión de la producción.

3.2.5 Defectos, rechazos y reprocesos

El desperdicio derivado de los errores es uno de los más aceptados en la industria, aunque significa una gran pérdida de productividad porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez. Los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores, para conseguir productos acabados con la calidad exigida, eliminando así cualquier necesidad de retrabajo o de inspecciones adicionales. También debería haber un control de calidad en tiempo real, de modo que los defectos en el proceso productivo se detecten justo cuando suceden, minimizando así el número de piezas que requieren inspección adicional y/o repetición de trabajos.

- Características: Pérdida de tiempo, recursos materiales y dinero, planificación inconsistente, calidad cuestionable, flujo de proceso complejo, recursos humanos adicionales necesarios para inspección y reprocesos, espacio y técnicas extra para el reproceso, maquinaria poco fiable, baja motivación de los operarios.
- Causas posibles: Movimientos innecesarios, proveedores o procesos no capaces, errores de los operarios, formación o experiencia de los operarios inadecuada, técnicas o herramientas inapropiadas, proceso productivo deficiente o mal diseñado.
- Acción esbelta: Automatización con toque humano (Jidoka), estandarización de las operaciones, implantación de elementos de aviso o señales de alarma (andon), mecanismos o sistemas anti-error (Poka-Yoke), incremento de la fiabilidad de las máquinas, implantación del mantenimiento preventivo, aseguramiento de la calidad en puesto, producción en flujo continuo para eliminar manipulaciones de las piezas de trabajo, control visual como “Kanban”, “5S” y “andon”, mejora del entorno de proceso.

3.2.6 Potencial del personal sin usarse

Este octavo desperdicio se refiere a la capacidad, habilidades y potencial de la gente que no se está ocupando ya sea por causa de otros desperdicios que los está obligando a realizar otro tipo de actividades que no están destinadas a su puesto laboral sin embargo para que se puedan ver resultados es necesario realizar éstas y que además quitan tiempo valioso para poder utilizarse en otras actividades para mejorar.

- Características: pérdidas de tiempo, retrabajos, realización actividades que no están asignadas a su puesto de trabajo, las actividades que si están asignadas se posponen e incluso se pueden llegar a olvidar, las tareas extra son de urgencia y después todo se vuelve una urgencia.
- Causas posibles: falta de estandarización del trabajo, falta de personal para realizar esas actividades extra, asignación de tareas que no están en el alcance del personal
- Acción esbelta: estandarización del trabajo, 5's.

3.3 Mapeo de los procesos

Mejorar procesos de manera aislada parece ser que se da de una manera más natural que mejorar el flujo a través de toda la cadena de valor. Un experto en manufactura esbelta comenzaría a analizar el flujo desde la parte en donde se entrega el producto final, de ahí hacia atrás, esto para entender el flujo del material desde la perspectiva del cliente, ellos no quieren saber hacia dónde va el material, sino de donde viene, ya sea si el material es jalado o es empujado por un proceso.

Los expertos de la manufactura esbelta ven a la operación desde la perspectiva de toda la cadena de valor. Entonces lo que se buscaba era una herramienta que representará el flujo del material y la información y pudiera evitar que la gente se quedará solo con la visión de los procesos individuales y entonces eso lo llevo a lo que ahora se conoce como mapeo de la cadena de valor.

Desarrollar el mapa del estado actual parece ser una tarea simple, salir y documentar lo que se ve, mostrar los procesos y el flujo de material de un proceso a otro, la falta de estandarización en el área de trabajo hará que el proceso de capturar la realidad sea difícil. Pero el objetivo del mapa del estado actual es entender la naturaleza del proceso para que pueda ser creado un estado futuro efectivo.

Durante el ciclo inicial a través de la espiral de la mejora continua (figura 3.3a), se junta información del proceso y puede que ésta no sea del todo correcta. De hecho, este es el típico caso de lograr una base para la estandarización. Se gastan muchas horas en intentos inútiles para juntar toda la información en un nivel detallado.

Entonces para un mapeo del estado actual, es recomendable mantener la información en un nivel promedio para el proceso. Se recomienda también usar estimados aproximados de parámetros clave. La información detallada de algún proceso en específico es reunida después, una vez que ha iniciado la actividad en un área en particular.

El objetivo principal del primer mapeo del estado actual es entender la condición del flujo de material en la cadena de valor y los inhibidores del flujo, así como entender el flujo de información del proceso y el nivel de actividad necesaria para sostenerlo. Entonces el estado futuro da a conocer una perspectiva del flujo del material y de la información.

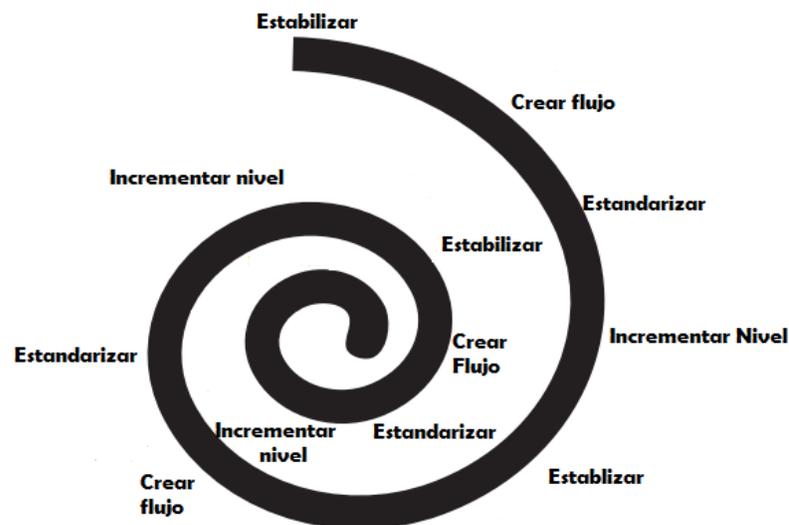


Figura 3.1 Espiral de la mejora continua. [Liker y Meier, 2006]

Así también cuando se mapea se desarrolla una comprensión de las capacidades del proceso actual. Uno de los objetivos para el futuro es crear flujo continuo en la cadena de valor.

Se requiere observar cada proceso y determinar si es un flujo a través del proceso y entonces es capaz de producir cualquier producto en cualquier tiempo sin consideraciones o limitaciones.

Estos procesos no deben estar restringidos a tiempos largos de ajustes o condiciones específicas que hacen difícil la habilidad de procesar varios modelos, tamaños u órdenes. Los indicadores del flujo a través de procesos indican la habilidad de tomarlo como viene y juntarlo en grupos similares para procesarlo.

Así también se tienen siete elementos a considerar que deben existir dentro de la cadena de valor.

- Flexibilidad: por ejemplo, tener un supermercado de bienes terminados, le da flexibilidad al proceso debido a que se acorta el tiempo de entrega del producto, una vez que se pide y así producir después para reemplazar ese producto que se usó.
- Tiempos cortos de entrega: es decir, que la entrega de piezas a los clientes sea en un plazo lo más corto posible.
- Procesos conectados: el flujo de material de operación a operación debe estar en la misma secuencia, es decir, la primera pieza que sale de un proceso debe ser la primera pieza que entre al otro proceso.
- Ciclos de flujo: indican el tiempo que se tarda en resurtir material a un almacén.
- Flujo de información simplificada: solo se destacan dos puntos, la información externa que viene del cliente y entra a la cadena de valor en un solo punto y la información interna es la que se utiliza para completar el trabajo.
- Estar alerta en el requerimiento del cliente: estas advertencias significan realmente una advertencia física en el área de trabajo como las conexiones físicas definidas entre operaciones.
- Marcapasos: este dictaminará el momento preciso donde debe terminar una operación y empezar otra.

Es importante resaltar que el inventario es comúnmente usado para compensar la inflexibilidad de los procesos considerando que es un indicador de debilidad y además es un recordatorio constante de que el proceso necesita ser reforzado.

Mucha gente malinterpreta este concepto al entender que no debe haber inventario. Idealmente este sería el caso, pero la realidad es que algunos procesos no son capaces de operar sin un poco de inventario.

Entonces la filosofía es utilizar inventario de una manera estratégica para optimizar resultados. Esta estrategia incluye reglas específicas y control, así como de una ubicación dentro del flujo.

El mapeo de la cadena de valor da una imagen de cómo poner las piezas del rompecabezas juntas para tener una cadena de valor conectada. Cuando se hacen eventos kaizen específicos, se pueden reducir tiempos de cambios, instalar células, poner poka-yokes y terminar con islas de mejoras, pero la gran mejora viene cuando se instala un sistema donde el material fluya suavemente a través de los procesos basado en la tasa de demanda del cliente. Las operaciones deberían ser sincronizadas.

La creación de un proceso esbelto requiere de una aproximación metódica, que sea paso a paso. El primer paso entonces para crear flujo es crear un proceso estable capaz de alcanzar los requerimientos del cliente. La creación de flujo y las operaciones conectadas subsecuentes, obliga a surgir a los problemas.

Es imperativo que todas las operaciones alcancen un nivel básico de capacidad consistente, en vez de primero lograr el establecimiento del flujo. No hay que tener por objetivo la perfección, dado que la mejora debe ser continua una vez que se ha establecido un buen flujo.

Una vez que una operación ha alcanzado este nivel, el segundo proceso debe ser estabilizado y así los dos procesos se conectan, haciendo que cada uno sea dependiente del otro. Esto continúa una y otra vez hasta que todas las operaciones de la cadena de valor están conectadas y el flujo con paradas mínimas es continuo desde la primera operación hasta la última. En resumen, para cada proceso u operación primero se estabiliza, luego se crea flujo, se estandariza y por último se incrementa el nivel, esto para volver a estabilizar y así continuamente.

El mapeo de la cadena de valor es más que una herramienta ordenada para hacer dibujos que expongan el desperdicio, también ayuda a unir cadenas de procesos y de imaginar futuras cadenas de valor esbeltas. Además, los mapas proveen un lenguaje común y entendimiento para que todo el equipo tenga la misma visión.

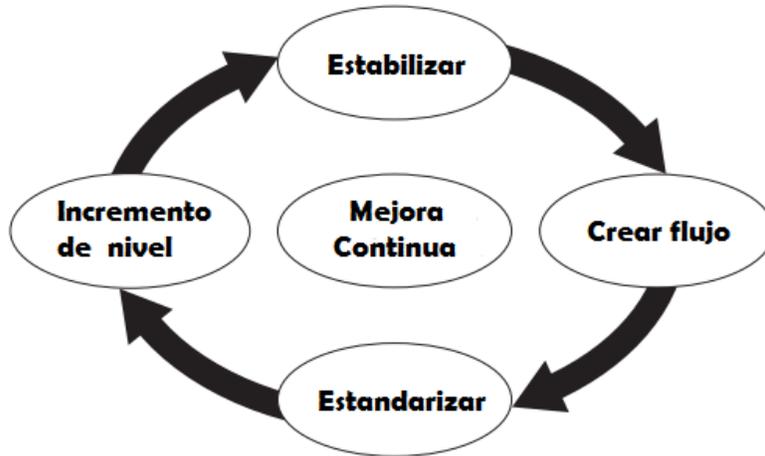


Figura 3.2 Ciclo de la mejora continua. [Liker y Meier, 2006].

Se describen las siguientes recomendaciones para cuando se va a realizar un mapeo:

- Usa el mapa del estado actual solo como fundamento o base para el mapa del estado futuro.
- El mapa del estado futuro representa el concepto de lo que se está tratando de alcanzar.
- El mapeo del estado futuro necesita ser facilitado por alguien experto en manufactura esbelta
- El propósito del mapeo es la acción, esto es, que muchas veces se puede caer en solo tener un diagrama escrito, pero cuando se va a piso, no se encuentra nada del diagrama aplicado.
- No desarrollar ningún mapa antes de su tiempo. El momento llega cuando se planea usarlo para aplicar las mejoras.
- La persona a liderar el mapeo debe ser el responsable de la cadena de valor.
- No solo se planean y realizan acciones, también se revisan y corrigen.

Capítulo 4: Metodología y resultados de la realización e implementación del sistema administrativo para el manejo de inductores

4.1 Metodología

Para poder explicar cómo se usó la metodología para implementar las mejoras a la administración de los inductores se describirá primero el proceso de producción de las piezas que son sometidas a dicha herramienta.

Para el proceso de producción de las piezas, primero entran a la línea por el proceso de torneado para empezar a llegar a los requerimientos finales de las piezas, después por el proceso de rolado para otorgarle un estriado a la parte tubular o cilíndrica de la pieza y la cual tiene la función de ensamblar con la caja de transmisión para hacer girar a la flecha.

Se sigue con un lavado, el cual lo prepara para el tratamiento térmico dado que debe ir lo más limpia posible para que el tratamiento sea efectivo. Por lo general el tratamiento térmico consta de dos estaciones: templado de guías y templado de vástago. Por último, viene el rectificado de ciertas secciones de la pieza en donde se asientan rodamientos.

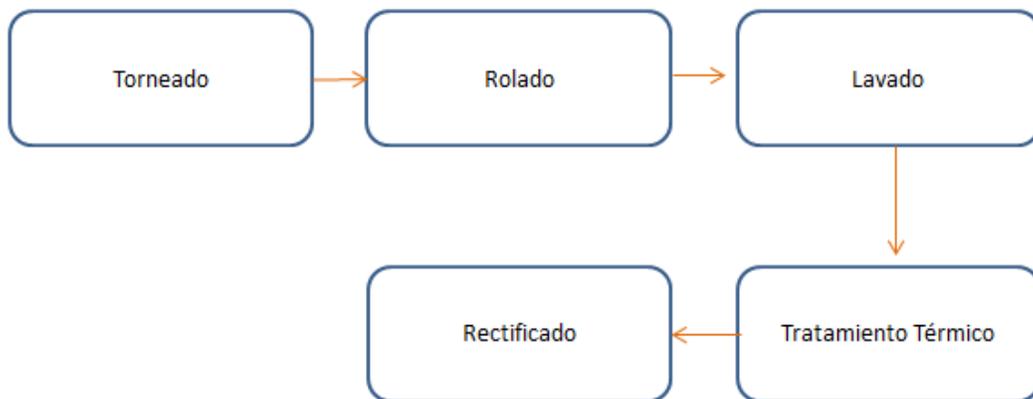


Figura 4.1 Diagrama de operaciones por donde pasa la pieza (la operación donde está involucrado el inductor es en la de tratamiento térmico).

Una vez conocido el proceso se describirá la gama de productos que hay solo en esa cadena de valor, de ahí viene que los tulipanes están clasificados de la siguiente forma: largos y cortos.

Dentro de los largos se incluye un proceso extra que es el de soldadura por fricción y de aquí mismo hay una variedad pues dentro de los largos puede haber con vástago tubular o sólido y a otros se les suelda una parte llamada espiga para dar forma al tubo-espiga que después irá soldada a la cabeza para formar una parte de la flecha.

Por parte de los cortos se dividen en macho o hembra, para las hembras en vez de tener un proceso de rolado tienen un proceso parecido llamado brochado el cual crea un estriado interior además de un maquinado interior mientras que el resto de las piezas no lo lleva. Por parte de los machos cortos no hay algo extra que agregar, se podría decir que son los más sencillos de fabricar. Las cabezas se pueden clasificar en una forma curva (GI) y de forma recta (AAR), como se aprecia en la Figura 4.2.



Figura. 4.2 Se aprecian los distintos tipos de cabeza GI (a) y AAR (b).

Ya conociendo todo esto se pasó al análisis de los datos de producción y afectaciones. Se revisaron lecturas en los sistemas de registro de datos mediante un indicador llamado OEE (un indicador de la eficiencia de la línea).

Con ello se determinó con que línea se empezaría a trabajar una vez teniendo definido el flujo del herramental para apreciar resultados. Ya definido el problema se empezó a estudiar sobre teoría de la manufactura esbelta como lo es el Sistema de Producción de Toyota mejor conocido como TPS (Toyota Production System).

Como se vio en el capítulo anterior una de las herramientas para mejorar el flujo en la líneas de producción es el VSM (Value Stream Mapping) pero como su nombre lo dice, esta herramienta es usada para mapear toda la cadena de valor y para lo que se requiere, la metodología queda sobrada, sin embargo hay una metodología que adopta toda la esencia del VSM pero se utiliza para procesos más administrativos llamada BPI (Business Process Improvement), la cual consiste en estudiar el flujo de algún proceso como lo es el del inductor.

Con la observación realizada se tiene que ir armando el estado actual o flujo actual de la herramienta y consiste en preguntar a personas por información la cual muchas veces puede ser equivocada o idealizada a lo que hacen y por ello el punto clave es la observación.

Mediante la siguiente imagen se puede ver el flujo principal de la herramienta y las áreas que de modo indirecto intervienen en su flujo.

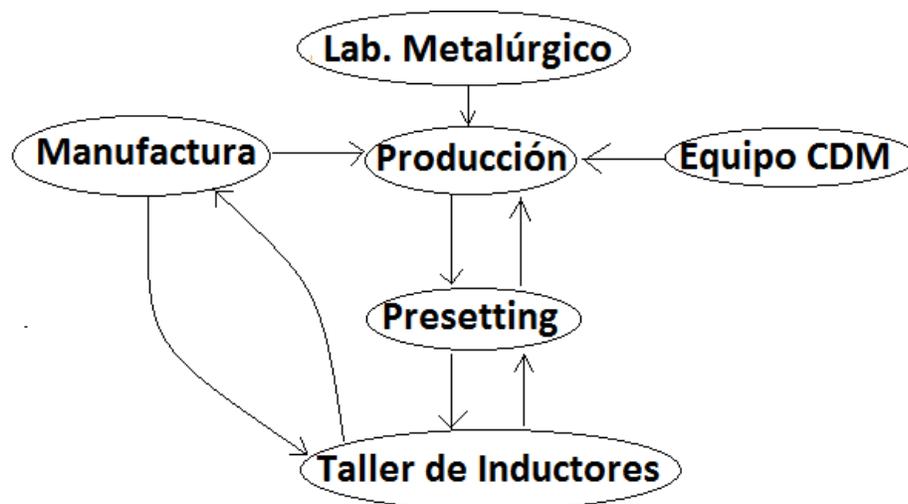


Figura 4.3 Diagrama de flujo de la herramienta.

Este proceso puede llegar a ser muy tardado, tedioso e incluso muchas veces insuficiente para resaltar las dificultades que se tienen. Por ello cabe destacar que esta parte es necesaria pero no es la solución del problema y por ende no se vuelve una parte fundamental de la solución.

Con toda esta información se realiza un evento “kaizen” que consiste en juntar a las personas líderes de cada área de soporte que interviene en el flujo. Dentro de la junta se explica que es lo que se realiza en el flujo de la herramienta y ahí es cuando llegan críticas y opiniones de que algunas cosas que no son del todo ciertas o que están incompletas. Por lo que primero se observa del flujo actual, cuales son las áreas de oportunidad para cambiar y después se lleva a cabo la construcción del estado futuro.

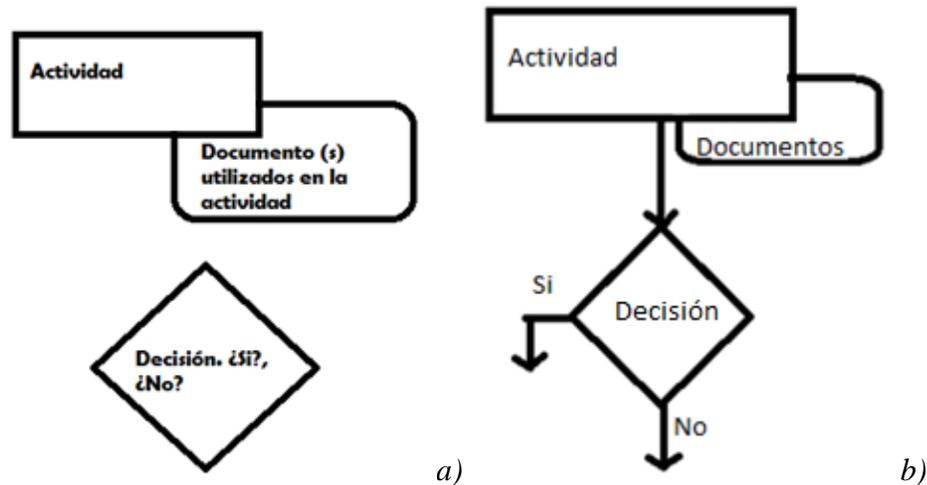


Figura 4.4 Elementos para la construcción de diagramas (a) y como pueden ir acomodados los elementos del diagrama (b).

Al mismo tiempo se construye un plan de acciones de las actividades que se llevarán a cabo para llegar a ese estado futuro y además quien será el responsable y el plazo que tendrá para entregar estas actividades.

Sin embargo, lo realmente importante de estas reuniones, es en conjunto con el equipo tomar las actividades que realmente le agregan valor al proceso y descartar las que no lo generan, así mismo se incluyen las que no agregan valor pero que son necesarias para garantizar el flujo.

Después de realizar este evento se lleva a cabo el plan de acciones para mejorar y a la par evaluando las mejorías que van habiendo y determinar si el proyecto realmente está funcionando. Estas mediciones de mejora tienen que estar basadas en un indicador como lo puede ser una mejora en el tiempo, que a la vez se puede traducir en un ahorro de dinero, así también puede ser un indicador como el ya mencionado OEE en cuestión de mejora en la producción u otro tipo de indicadores que al final se puedan traducir a ganancias monetarias.

El indicador seleccionado para el proyecto fue el tiempo, dado que al final lo que se busca es tener disponibilidad de herramientas listas y con calidad, sin embargo, poner un indicador de calidad como tipo de medición es salirse del contexto, ya que la calidad en la herramienta involucra además otros factores que se salen del alcance y a la vez lo vuelve muy complejo.

Como los modelos fabricados en la línea prototipo son largos, es decir, son tulipanes que se fabrican de dos piezas, el vástago, que como ya se dijo puede ser una barra sólida o tubular que va soldada a la cabeza que puede ser AAR o GI, esta cabeza se temple por la parte interna, la cual está hueca. En el caso de la línea prototipo solo se sueldan cabezas AAR. Por lo tanto, los inductores utilizados son los siguientes:



Figura 4.5 Inductor de vástago largo.

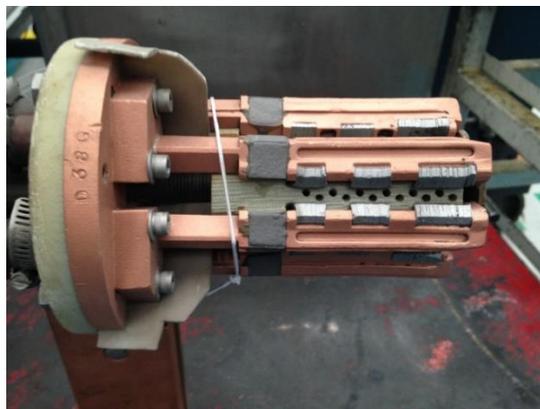


Figura 4.6 Inductor de guías para templel cabezas AAR.

Estos varían de tamaño dependiendo del modelo que se trate. Para el inductor de vástago este puede ser más largo dependiendo del largo de la barra y dependiendo del tamaño de capa que se pida puede variar el acomodo y numero de laminillas, para el de guías también puede variar el largo y el ancho dependiendo del tamaño de la cabeza

4.2 Análisis de resultados

Después de haber realizado los mapeos de los procesos y realizar los eventos káizen para decidir el estado futuro del proceso, se pasó del estado actual al estado futuro mediante un plan de acciones propuesto por el equipo. Este plan de acciones fue el primer resultado de los mapeos.

El plan de acciones para llegar al estado futuro fue el siguiente:

- Procedimiento a seguir para que el sistema se lleve a cabo y se cumpla el objetivo principal que es mejorar la disponibilidad de la herramienta para tratamiento térmico por inducción.
- Lugar de almacenaje de la herramienta adecuado a la necesidad de ser visual y flexible, para llegar a ser la semejanza a un supermercado.
- Difusión del procedimiento a la gente involucrada.
- Creación de ayudas visuales tanto para localización de la herramienta, como para rechazar herramientas con defectos.
- Inventario completo para la línea.

4.2.1 Procedimiento y su difusión

El principal resultado obtenido fue el procedimiento para el manejo y control de la herramienta, este procedimiento es el estado futuro que salió del BPI, para la administración de la herramienta.

Este contiene un diagrama de flujo, que describe el conjunto de actividades y decisiones ordenadas que debe seguir el personal para cumplir con el objetivo. Y de esta forma estandarizar y a partir de éste tener una guía para empezar el ciclo o la espiral de la mejora continua en el proceso del manejo de la herramienta.

Una vez que se definió el procedimiento en papel, lo que se hizo después fue reunir al personal involucrado que estaba involucrada, primeramente se explicó a los líderes en qué consistía y una vez que comprendieron el sistema, se hizo la difusión a todos los involucrados ocupando puestos inferiores, esto con ayuda de los líderes.

A continuación, se presentan las actividades principales del procedimiento obtenido (figura 4.7):

Listado de actividades del procedimiento:

1. *Levantamiento*: mediante ayudas visuales, ver los inductores faltantes en la gaveta y en donde se encuentran, con la ayuda del tablero de CDM (Calendario del día que toca cambio de modelo a la línea) ver que inductores tienen prioridad de conseguirse.
2. *Recoger inductores*: Recoger inductores del taller de herramental para almacenaje en gaveta.
3. *Verificación*: Realizar una inspección visual del aspecto del inductor.
4. *Seguimiento*: Dar seguimiento del proceso de mantenimiento en el taller de herramental y cuando ya estarían listos los inductores faltantes. (Junta los martes con taller de inductores).
5. *Almacén*: Almacenaje de inductores en gaveta.
6. *Entregar inductor*: Entregar inductor en condiciones adecuadas (caja), al miembro del equipo de trabajo (MET) de la línea correspondiente.
7. *Probar inductores nuevos*: En caso de haber espacio antes de montar inductor de producción, montar inductores nuevos para probar.
8. *Entregar inductores*: Una vez terminada la producción, los inductores, plato ducha y localizador son entregados de la misma manera en que fueron recibidos (caja). Así también llena la documentación correspondiente (vida de herramental percedero).
9. *Llenar bitácoras*: Llenar bitácoras de cambio de medio de temple. Llevar la bitácora de vida de herramental percedero en un archivo electrónico además de la hoja. Llenar la bitácora de comunicación en la que se informa al otro turno que se hizo y que faltó por realizar.
10. Llevar inductores a mantenimiento
11. Realizar lo solicitado en orden de trabajo.

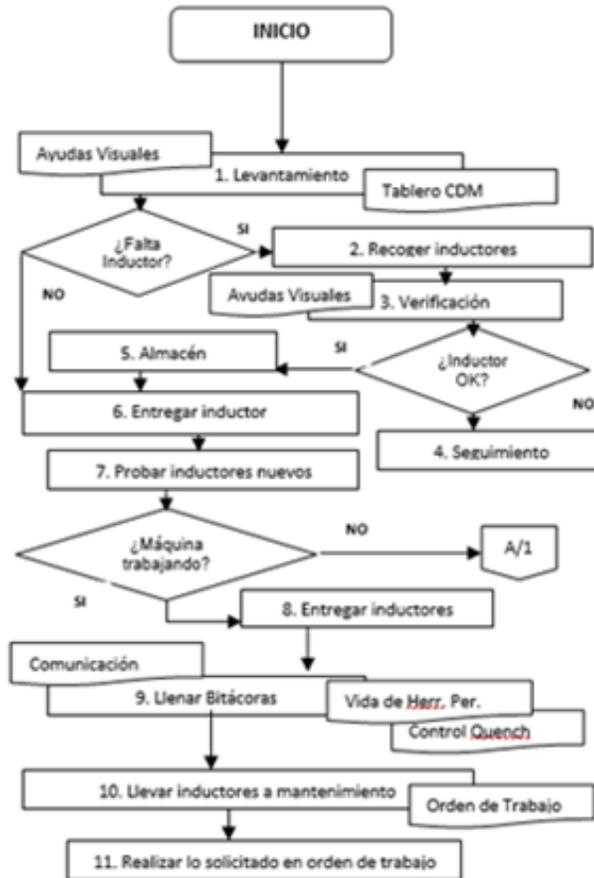


Figura 4.7 Estado futuro formalizado en un procedimiento

4.2.2 Lugar de almacenaje

Las necesidades que se requerían del lugar de almacenaje fueron las siguientes:

- Alta visibilidad para que cualquier persona que viera el inventario pueda predecir la falta de alguna herramienta.
- Flexibilidad de adecuarse al número de herramientas necesarias para la línea (puede crecer debido a la entrada de nuevos proyectos) y adaptarse a la variedad de tamaños que tiene la herramienta.
- Seguridad, de tal forma que solo tenga acceso la persona autorizada y que fuera lo más rígida posible para evitar que se pudiera caer con cualquier golpe.



Figura 4.8 Gaveta utilizada para almacenar a los inductores

Dado el lugar para almacenaje de la herramienta (gaveta). Se tuvieron las siguientes necesidades para la colocación de la herramienta dentro del estante:

- Debe contener a la herramienta de una manera segura y confiable
- La herramienta debe ser fácil de quitar del lugar que la retiene
- Debe ser de fácil instalación
- Debe ser lo más flexible para en caso de crecer el número de herramientas, se tenga un mejor aprovechamiento del espacio.

Dadas las necesidades de colocación (visibilidad y flexibilidad), la base que se adecuó mejor para la colocación de las herramientas dentro de la gaveta fue la de la figura siguiente:

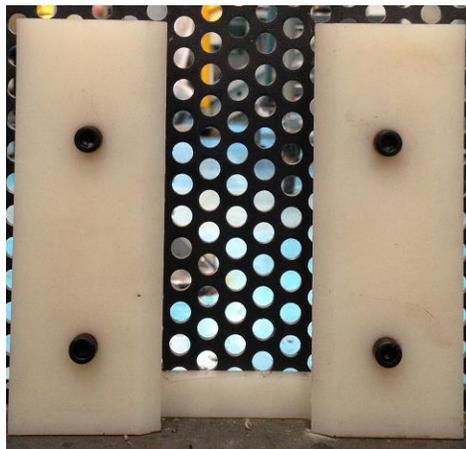


Figura 4.9 Base diseñada para adecuarse a las necesidades de espacio y almacenaje

4.2.3 Ayudas visuales

Se crearon dos tipos de ayudas visuales, la primera para identificar defectos en la herramienta, la segunda para su localización.

Con el fin de evitar que la herramienta llegue con algún defecto, a pesar de que pasa por un proceso de mantenimiento, se crearon ayudas visuales para detectar si algún herramental va con un concentrador o laminillas (los concentradores y laminillas sirven para hacer que el campo magnético se concentren en donde se tiene planeado calentar) en mal estado.

Estas ayudas sirven para identificar en el momento, sin estar midiendo alguna propiedad o característica geométrica, algún defecto que la herramienta pueda tener.

Las otras ayudas visuales sirven para la localización de las herramientas con ayuda de unas tarjetas en donde se muestran las únicas posibilidades de donde se encuentra el inductor, como lo puede ser en mantenimiento, que esté produciendo piezas o que simplemente no exista y entonces pueda mandar una alerta sobre la falta de herramienta.

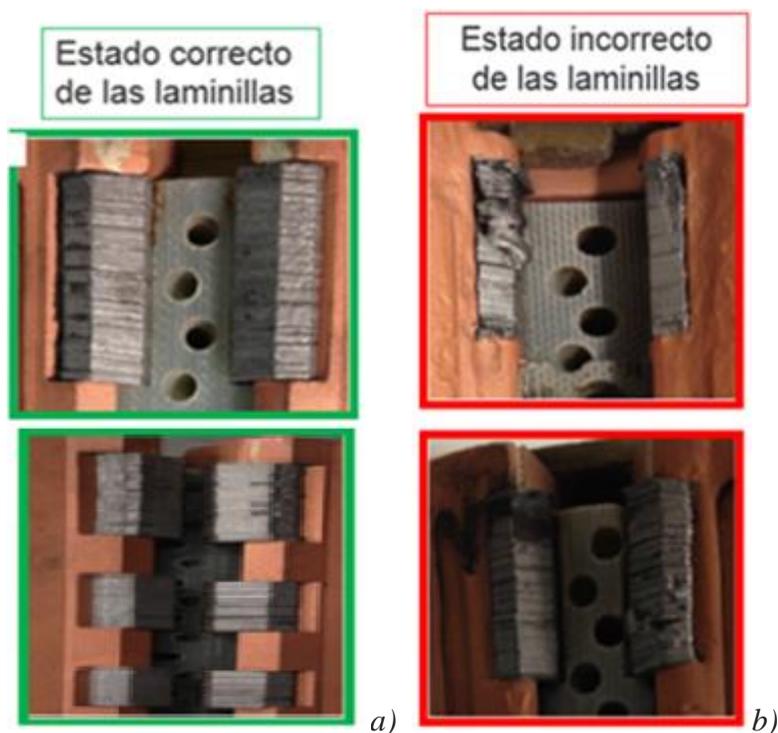


Figura 4.10 Estado correcto de laminillas (a), laminillas en malas condiciones (b)



Figura 4.9 Tarjetas de Localización de la herramienta.

4.2.4 Inventario

Se deja concluido el inventario de inductores para la línea modelo, es decir, una vez que se buscaran cuáles eran las herramientas con las que se trabajaba mejor, se dejaron establecidas con sus debidas necesidades de refacciones, dado que para ciertos modelos solo había una herramienta titular.

Ya teniendo la gaveta en la línea de producción y que la gente involucrada en el proceso supiera de sus responsabilidades, entonces comenzó la implementación del sistema.

Para observar y verificar que el sistema tuviera efecto positivo se midió el sistema con base en una codificación de distintos tipos de paros que pueda tener la línea, dentro de los cuales entran tres opciones a tomar en cuenta: inductor falta/falla, ajustes de producción, cambio de modelo.

Por lo tanto se tiene una comparación entre los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre en cuestión de minutos perdidos registrados por el tipo de paro. Para proteger los datos de la empresa se presentan los minutos en términos de porcentajes.

Tabla 4.1 Porcentajes de afectación por mes.

| | |
|------------|--------|
| septiembre | 28.64% |
| octubre | 39.10% |
| noviembre | 37.52% |
| diciembre | 7.00% |

Estos porcentajes indican que tanto afecto el paro Falta/Falla Inductor a la línea, por ejemplo, para el mes de septiembre se tuvo una afectación del 28.64%, es decir, se tuvo parada a la línea con ese porcentaje de tiempo debido a la falta/falla del inductor.

Se puede observar que de septiembre a octubre hubo un incremento en la afectación, de octubre a noviembre tuvo un muy pequeño decremento, que en otras palabras se podría decir que se mantuvo esta afectación, 1.58% de diferencia, pero en diciembre, cuando se empezó a implementar el sistema, tuvo un decremento de 30.52%.

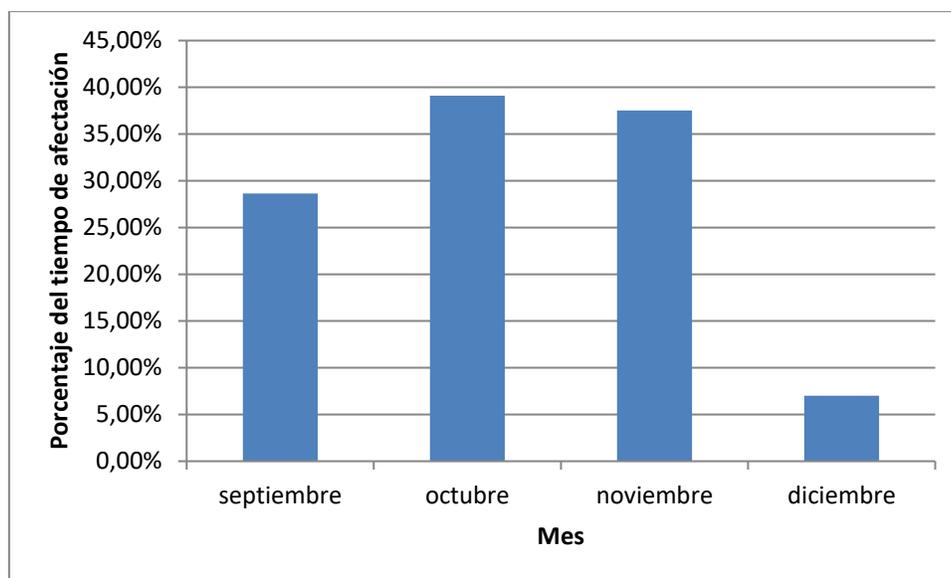


Figura 4.11 Gráfica de comparación de los porcentajes de afectación por mes.

Capítulo 5: Conclusiones

El objetivo principal del proyecto fue obtener la disponibilidad de la herramienta cuando ésta fuera requerida, y de acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que fue cumplido. Para la medición de la disponibilidad, se utilizó un tipo de paro que se carga en línea de producción como inductor falta/falla y de acuerdo con los cargos consultados en septiembre, octubre, noviembre y diciembre, mostrados en la parte de resultados, se aprecia mejoría para el mes de diciembre de 30% aproximadamente. Lo que muestra que el sistema ha ayudado a disminuir ese paro de línea.

La estandarización del proceso hará resaltar problemas puntuales. Esto conlleva entonces al comienzo de la mejora continua. A continuación, se describen algunos de los problemas puntuales que se hicieron resaltar

Uno de los problemas puntuales es con los cambios de modelo ya que no solo se están viendo afectados por la falta/falla del inductor, también se ha visto afectado por la falta de pericia para ajustar las máquinas y por lo tanto se propone realizar capacitaciones a la gente que realiza los cambios de modelo (CDM). Otro es que en un modelo en específico se ha detectado que el inductor fuga (los inductores, como se vio en capítulo 2, tienen ductos internos para controlar su temperatura) y se hizo consciente al personal que los diseña de que se debe hacer un análisis para ver qué es lo que está pasando con este modelo.

También se detectó que ciertos inductores dadas las modificaciones que se le hacen, no están actualizados contra el diseño y entonces corregir esta situación haciendo que el diseño se actualice. Por lo tanto, el sistema ha hecho brotar otros problemas que en un futuro pueden llegar a causar un problema más grave.

Debido a la creación del procedimiento, el proceso del manejo de la herramienta ha quedado estandarizado y con ello ha quedado en claro cuáles son las actividades a realizar y quien las debe hacer. También se vio como el proceso se tuvo que estabilizar incluso aunque ya estuviera hecho.

La misma estabilidad por consecuencia le dio flujo refiriéndose a la estabilidad como un cierto control del proceso, teniendo en cuenta donde estaban los puntos débiles y teniendo especial cuidado en ellos. Esta estabilidad se incrementó más cuando se puso el lugar de almacenaje con su inventario, pues se sabía que inductores pertenecían a la línea y se sabía cuáles eran los que faltaban, lo que llevaba a la tarea de saber dónde se encontraban, pero con las ayudas visuales incluso se mejoró esa situación.

Por lo tanto se ve que todos estos detalles hicieron mejora en el proceso y que ayudaron a su estabilidad. La estandarización permitió que se siguiera llevando el proceso, involucrando ahora si al personal designado en el documento (estándar).

La forma en la que se acomodó la gaveta permitió también a que el proceso fuera más rápido y sencillo pues con ayuda de las tarjetas y el acomodo de la herramienta, resultó muy sencillo observar la presencia o ausencia de la herramienta, situación que permite poner en alerta a todo el personal involucrado, sobretodo cuando se acercaba el cambio de modelo que requería esa herramienta.

Parte del resultado ha sido que la herramienta esté asegurada de que va a trabajar bien y no tendrá falla, algo de esto se debe a las ayudas visuales que muestran cual es la condición correcta de los componentes que lleva el inductor.

Por último cabe mencionar que gracias a las habilidades y conocimientos adquiridos en la facultad como lo es el trabajo en equipo, planteamiento y solución de problemas, búsqueda exhaustiva de información tanto en documentos como de la experiencia de la gente y con los conocimientos adquiridos en materias como metalurgia, circuitos, electricidad y magnetismo, manufactura y mecánica de materiales, fue posible comprender nuevos conceptos, que en conjunto ayudaron a la realización de este proyecto.

Bibliografía

1. Curtis F., *High Frequency Induction Heating*, McGraw-Hill, New York, 1950.
2. Hamel M., *Kaizen Event Fieldbook, foundation, framework, and standard work for effective events*, Society of Manufacturing Engineers, Michigan, 2010.
3. Liker J., Meier D., *The Toyota Way Fieldbook*, McGraw-Hill, 2006.
4. Lozinskii M., *Industrial Application of Induction Heating*, Pergamon Press, London, 1969.
5. Reinke F., Gowan W., *Heat Treatment of Metals*, Vol 5, No. 2, 1978.
6. Rother M., *Toyota Kata*, McGraw-Hill, 2010.
7. Rother M., Shook J., *Learning to See*, Lean Enterprise Institute, Massachusetts, 1999.
8. Tudbury C., *Basics of Induction Heating*, John F.Rider,Inc., New York,1960.
9. Womack J., Jones D., *Lean Thinking*, Free Press, New York, 2003.
10. Womack J., Jones D., Roos D., *The Machine That Changed The World*, Rawson Associates, Collier Macmillan Canada, Maxwell Macmillan International, New York, Toronto, 1990.
11. Zinn S., Semiatin S., *Elements of Induction Heating Design, Control and Applications*, ASM International, EPRI, 1988.