



## Proyecto Fin de Carrera



Ingeniería Industrial

# ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE HORNOS

Autor: Sergio Martínez Valtueña

PONENTE DEL PROYECTO:  
**D. José Antonio Yagüe Fabra**

DIRECTOR DEL PROYECTO:  
**Dña. Cristina Ibáñez Pardos**

Departamento de Ingeniería de la Calidad

Departamento de Procesos de Fabricación

Universidad de Zaragoza

BSH Electrodomésticos España S.A.

Zaragoza, Septiembre 2014



## **Agradecimientos**

*En primer lugar quería agradecer a mi directora de proyecto Cristina Ibáñez y a Diego Martínez la oportunidad que me dieron de realizar prácticas y este proyecto en BSH Electrodomésticos España, S.A. Gracias a ellos por su ayuda, por su trato y por todo lo aprendido.*

*Dar las gracias también muy especialmente a mi ponente de proyecto José Antonio Yagüe, por su tremenda ayuda y por su ánimo constante.*

*Por supuesto un agradecimiento especial a mis compañeros de la fábrica de Montañana, tanto a mis compañeros de departamento como al personal de producción por su disposición constante y ayuda invaluable.*

*A mis amigos por todo lo que hemos vivido y lo que me han apoyado durante estos duros años de carrera.*

*En último lugar y por ello el más importante, quisiera agradecer de corazón a mis padres, a mis hermanos, a mis abuelos, tíos y no me olvido de Yasmina por haberme soportado, apoyado y especialmente haber creído en mí siempre.*

*Muchas gracias a todos.*

*Sergio*



## **Resumen**

### **ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE HORNOS**

En el proyecto que se desarrolla a continuación se realiza un estudio de una línea de montaje real, estableciendo la defectuosidad y las acciones tomadas para reducirla.

Para el cuál se va a utilizar el indicador FPY, que significa First Pass Yield y expresa el número de hornos fabricados buenos a la primera, es decir, que no precisan de reparación. Partiendo de una situación inicial (85% FPY) se plantea un objetivo inicial de mejora (90% FPY) y no sólo se alcanzan sino que se obtienen valores superiores (94% FPY).

Este proyecto se realiza a través de la observación y trabajo en la propia línea de montaje y todos los problemas y acciones tomadas para solucionarlos son reales y se dieron durante la estancia en la empresa.

Todo esto se enmarca en una metodología de trabajo 6 Sigma, que establece las pautas a seguir y marca la hoja de ruta para cada uno de los procesos de línea analizados. A modo de resumen podemos decir que diferencia 5 etapas que repetiremos para cada defecto analizado: Definición, Medición, Análisis, Implementación, Control.

Inicialmente se establece un análisis mediante una fase de observación y aprendizaje, tanto de los tipos de hornos, como de los defectos y el puesto en el que suceden todos ellos. Gráficas de Pareto principalmente, pero también gráficos circulares reflejan este análisis, elaborado a partir de tablas dinámicas de Excel. Después de establecerse dicho análisis se evalúa el origen de dichos fallos, para tratar de implementar posteriormente una solución a cada uno. Tras estas dos fases se implementan las acciones correctoras.

Con objeto de evaluar el impacto de las medidas se hace un análisis económico. Para ello se utilizan los datos reales, pero no se detallan al ser de carácter confidencial. Se muestran los resultados y la base de las estimaciones no estableciendo el origen exacto de cada uno.

El proyecto finaliza con unas conclusiones, que recogen los resultados obtenidos para el mismo, las futuras líneas de mejora y las acciones infructuosas



# ÍNDICE

## **MEMORIA**

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Marco Histórico .....	1
1.2 Distribución de la factoría.....	2
1.3 Proceso productivo .....	4
1.3.1 Tipos de hornos.....	5
1.4 FPY & 6 SIGMA .....	8
2. OBJETIVOS Y ALCANCE .....	10
2.1 Objetivo principal .....	10
2.2 Alcance y objetivos parciales.....	11
2.2.1 Orden y limpieza.....	11
2.2.2 Estética del producto.....	12
2.2.3 Ayudas de montaje.....	12
2.2.4 Reducción de ‘sin defecto’ .....	14
3. DESARROLLO.....	15
3.1 Cambio de Layout.....	15
3.2 FPY .....	16
3.3 Línea de Montaje .....	17
3.4 Defectos .....	19
3.4.1 Isla de frontales.....	20
3.4.1.1 PF1, conexionado del comutador.....	21
3.4.1.2 PF2, suciedad visores.....	26
3.4.2 ISLA DE PUERTAS .....	30
3.4.2.1 PP1.....	31
3.4.3 PUESTOS 6, 7 y 8 .....	36
3.4.4 Puesto 11, ‘hornos sin defecto’ .....	41
3.4.5 Puesto 4 .....	45
4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	46
4.1 Ahorro por mejora del FPY .....	46
4.2 Análisis económico por los defectos de rayas a las manetas.....	47
4.3 Análisis económico de los defectos por suciedad en el visor.....	47

4.4 Análisis económico de los 'sin defecto' .....	47
4.5 Análisis económico de los defectos por rayas en el frontal.....	49
4.6 Ahorro total.....	49
5. CONCLUSIONES.....	50

GLOSARIO .....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56

## **ANEXOS**

Anexo I. Vista de los Módulos.....	59
Anexo II. Metodología 6-Sigma.....	61
Anexo III. First Pass Yield.....	76
Anexo IV. Poka-Yoke.....	81
Anexo V. Diagrama de Pareto.....	92
Anexo VI. Otras Tareas.....	96
Anexo VII. Método Shainin.....	101
Anexo VIII. Ishikawa.....	110

# *MEMORIA*



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Marco Histórico

El presente proyecto ha sido realizado durante la estancia del autor desde el mes de abril a diciembre en la factoría de BSH Electrodomésticos España, SA en Montaña, Zaragoza. Esta empresa se dedica a la producción de electrodomésticos, concretamente hornos, lavavajillas e inducciones.

Los orígenes de la filialidad entre la española Balay con BSH se remontan al año 1989 en el cual BSH adquirió el 50,3 % de Balay y Safel frente a la puja del otro competidor, Thompson.

Balay como marca regional original fue fundada en 1947 en Zaragoza por Esteban Bayona, José María Lairla (cuyas iniciales forman el nombre de la marca) y Alfredo Sartopina.



Vista de la zona de almacenes de la factoría  
Figura 1.1

En sus comienzos se dedicaba a la fabricación de reactancias para iluminación y transformadores para radios. En 1951 la empresa se transformó en sociedad anónima y

comenzó a fabricar aparatos eléctricos. A partir de 1956 Balay comienza a fabricar electrodomésticos convirtiéndose con el paso de los años en uno de los principales fabricantes nacionales y en una de las marcas más conocidas de España. Balay comenzó fabricando cocinas y lavadoras de turbina. En 1966 comenzó a fabricar lavadoras automáticas y a partir de 1970 lavavajillas, siendo la empresa española pionera en ambos productos. Balay destacó históricamente por tratar de desarrollar siempre tecnología propia.

Balay ha estado siempre ligado a la ciudad de Zaragoza, sus fábricas se ubican en el entorno rural de la ciudad de Zaragoza. En 1968 inauguró su planta de Montañana dedicada a la fabricación de electrodomésticos de cocción y lavavajillas y en 1977 la fábrica de La Cartuja donde se producen lavadoras.

A comienzos de la década de 1980 Balay era una de las empresas líder del sector en España y empleaba a más de 2.000 trabajadores. Debido a la saturación del mercado nacional y al fin del proteccionismo el sector español de fabricantes de electrodomésticos sufría una grave crisis que trajo como consecuencias una reducción del empleo directo de entorno al 50%. Debido a esto entró a formar parte del plan de reconversión industrial del sector. Las administraciones públicas inyectaron una importante cantidad de dinero para reflotar la empresa y se realizó un importante reajuste laboral. Tras la formación de varios holdings con otras empresas del sector, finalmente Balay se unió con un grupo de empresas navarras (antiguo Grupo Orbaiceta) para formar el Grupo **Safel-Balay**.

## 1.2 Distribución de la factoría

Tras esta reseña histórica se va a explicar tanto la distribución de la planta de Montañana como el proceso productivo de fabricación del horno.

La nave principal se divide entre la zona de cocción y la de lavavajillas, si bien estas están conectadas con otras áreas comunes. La zona de cocción está conjunta con la de prensas, donde se producen todas las chapas que llevarán tanto hornos, inducciones y lavavajillas. La de lavavajillas presenta un espacio robotizado de premontaje además de la línea de montaje a la que continúa la zona de embalaje. Esta nave principal comunica

## ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE HORNOS

con otras dos naves. En la nave sur se dispone de un almacén y una zona de esmaltería y serigrafía. En la nave norte se cuenta exclusivamente con un almacén.



Vista en planta de la factoría  
Figura 1.2.1

Como se puede ver en la imagen está estructurada en colores en función del tipo de proceso que se desarrolle. En color naranja hay dos almacenes, norte y sur “warehouse”, en azul una zona de lavavajillas “dishwashers” y en rojo la zona de cocción, inducciones y hornos “cookers”. Además se indican las oficinas, zona de mantenimiento y zonas de parking.

Cada una de las áreas implicadas directamente en el montaje del horno se explicará a medida que vayan apareciendo componentes implicados de las mismas.

### **1.3 Proceso productivo**

En cuanto al proceso productivo se refiere para la fabricación de hornos se ha establecido que el óptimo de producción se obtiene trabajando con 4 módulos de montaje independientes, así como una zona de pegados en medio que separa a los módulos A y B de los módulos C y D.

- Módulos A y B:

Los módulos A y B fabrican hornos mecánicos comunes, de funcionamiento por conmutador y de carácter sencillo.

El trabajo del proyecto se centra principalmente en los módulos C y D, por su complejidad y por englobar así mismo a los otros módulos (en el módulo D se fabrican también hornos de los módulos A y B).

- Módulo C:

Fabrica hornos pirolíticos, que son hornos con sistema de autolimpieza por calor, tanto electrónicos como los de puerta extraíble.

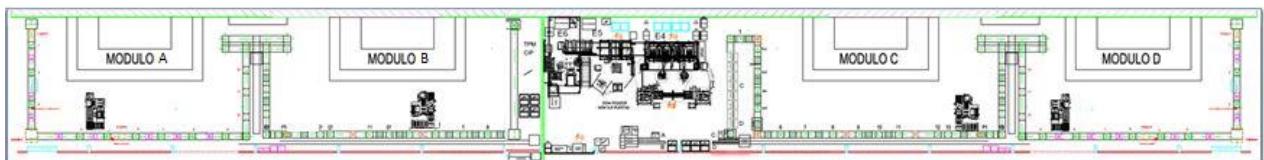
- Módulo D:

Por último en el módulo D es donde se fabrican los hornos exóticos, es decir, todos aquellos con características distintas y especiales (hornos de menor tamaño, con la cocina integrada en los mandos, etc...)

La disposición de todos los módulos es la misma, los puestos de trabajo se distribuyen junto a la cadena de montaje que tiene forma de U. Por un lado de la U se comienza la fabricación saliendo el horno completo por el otro extremo. El final de fabricación de los módulos A y B coincide, así como el de los módulos C y D.

Además de los operarios de línea hay en cada módulo un suministrador y un auxiliar de suministro que abastecen a los diferentes puestos del material necesario para el montaje. Para coordinar el trabajo y actuar como líder de equipo hay un capataz por módulo y para reparar los hornos con defectos producidos durante el montaje hay un reparador cada dos módulos.

Esta descripción del módulo se ilustra en la siguiente imagen en planta de los módulos. La vista ampliada de los mismos está en los anexos (*Anexo I*).



Vista de los módulos de montaje

Figura 1.3.1

Una vez se ha dado el visto bueno al horno desde el último puesto de montaje de línea, estos suben por un ascensor situado en la zona de reparación común pasando a la zona de verificación donde se revisa visualmente el horno. Así mismo un porcentaje del lote de fabricación es bajado a la zona de calidad donde se auditará buscando un posible fallo. De encontrarse éste y en función de la gravedad se avisará al capataz del módulo y al encargado de producción. De ser grave el fallo detectado puede retenerse el lote en la zona de embalaje para corregirlo antes de que salga a mercado con consecuencias peores.

### 1.3.1 Tipos de hornos

Anteriormente se han nombrado los hornos que se fabrican ya que, como se ha mencionado, cada módulo está especializado en la fabricación de determinados hornos. Como una primera aproximación hay que diferenciar dos grandes tipos de hornos:

- Hornos pirolíticos: Son aquellos que tienen la función de autolimpieza del horno mediante un incremento de temperatura en la cavidad del horno durante un tiempo determinado.
- Hornos no pirolíticos: son los hornos tradicionales que no poseen dicha propiedad.

Además se realiza otra subdivisión en función del sistema de accionamiento del horno:

- Mecánicos: las distintas funciones del horno se accionan al variar la posición del conmutador mediante el movimiento del mando del horno.

## ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE HORNOS

- Electrónicos: como su nombre indica el funcionamiento es mediante pantalla táctil y sistema electrónico.

Dentro de los hornos mecánicos hay a su vez modelos con determinadas características específicas como son:

- Nostalgia: hornos de estética antigua con diferente puerta y panel de mandos.



Horno nostalgia  
Figura 1.3.1.1

- Polivalentes: son aquellos hornos que tienen los mandos de la cocina integrados con los del propio horno.



Horno polivalente  
Figura 1.3.1.2

## ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE HORNOS

- Compactos: estos son los que tienen unas medidas de altura menores a las de los hornos convencionales.



Horno compacto  
Figura 1.3.1.3

- Puerta-carro: en este grupo se engloban aquellos hornos con la propiedad de puerta extraíble.



Horno puerta carro  
Figura 1.3.1.4

Una vez explicada una primera aproximación del funcionamiento de la fábrica se va a continuar con el contenido del proyecto.

## 1.4 FPY & 6 SIGMA

El proyecto se centra en el seguimiento y control del FPY (*Anexo II*) que definimos como *First Pass Yield*, siendo este el principal indicador de calidad de producto terminado en fábrica. El FPY se define como el indicador utilizado en producción para medir la calidad y la efectividad de un proceso. Muchas otras medidas de productividad y eficiencia fallan al contar el coste de la reoperación y en muchas ocasiones supone una parte importante del tiempo y valor añadido del producto final.

First Pass Yield también es un buen indicador del éxito de las medidas de mejora continua y se encuentra enmarcado dentro de la metodología 6 SIGMA (explicado en detalle en *Anexo II*), la cual puede definirse de la siguiente manera:

6 SIGMA es un estudio metódico de un proceso, para conseguir resolver un problema cuyas causas se desconocen, obteniendo con ello una mejora significativa. Permite además reducir la variación del proceso.

6 SIGMA establece una pauta de 5 pasos para todo proyecto, definir, medir, analizar, implementar, corregir. Estas son las fases a las que someteremos todos los sub proyectos realizados.



Proceso 6 Sigma: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar  
Figura 1.4.1

### ***Definición***

En esta primera etapa se establecen los principales problemas a analizar. Por ello la fase inicial de la estancia consiste en la observación del proceso de montaje en el módulo de ensamblaje del horno. Se analizaron las diferentes operaciones que se realizan en cada puesto estableciendo los puestos críticos en función de su complejidad de montaje.

### ***Medición***

Utilizando los datos almacenados en SAP (soporte informático utilizado por BSH) se dispone de los registros realizados por los reparadores donde se puede cuantificar el número de hornos que se han reparado así como el defecto que presentaba cada uno de ellos.

### ***Análisis***

Se clasifican los defectos según su origen, es decir, eléctrico, estético... Distinguiremos entre las distintas familias de hornos, los distintos puestos de trabajo y los distintos turnos de personal. Una vez evaluados estos datos se determinan donde se concentran los fallos en función de la familia de horno que se fabrica y del puesto de montaje en cuestión.

### ***Implementación***

La fase de implementación consiste en la introducción de las medidas destinadas a reducir el impacto de alguno de los defectos que hemos cuantificado anteriormente. Una vez realizado el estudio del problema en la fase anterior se plantean las alternativas y se lleva a cabo aquella que mayores beneficios se espera que reporte con los menores costes posibles.

### ***Control***

Por último tenemos la fase de Control. Tras haber introducido las posibles soluciones a los principales problemas se realiza un seguimiento del mismo para ver si la medida adoptada es acertada o no. Sin embargo hay que señalar que no todas las acciones tomadas pueden tener la misma evaluación ni seguimiento por el carácter de las mismas.

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE

### 2.1 Objetivo principal

El objetivo en el que se centra el proyecto es en la mejora del FPY del módulo D, ampliándose después al módulo C. Inicialmente el valor de medio de este indicador en el módulo D rondaba el 86%, siendo el del módulo C un 90%.

El objetivo es alcanzar un 92% de FPY en el cómputo global de los 4 módulos, donde los módulos A y B son los de mayor índice porcentual para alcanzar esta cifra.

Una vez establecidos los cimientos del sistema a utilizar el valor que se estimó como objetivo anual fue del 90% para el módulo D y de un 92% para el módulo C.

Destacar también que el valor objetivo para los módulos A y B era de un 93% debido a la mayor simplicidad de los hornos fabricados.

Para poder medir ese índice y obtener un reflejo de lo que realmente sucede en fábrica una de las primeras medidas tomadas fue la de estandarizar la denominación de los defectos.



Evolución del FPY en el proyecto  
Figura 2.1.1

El problema que existía era que el texto registrado por el reparador no tenía por qué coincidir con el del otro módulo aunque el defecto fuese el mismo por lo que el trabajo de control y anotación de fallos resultaba farragoso, haciendo más difícil la identificación de los focos de problemas. Por ello se establecieron catálogos con denominaciones comunes para los defectos de tal manera que quedasen agrupados en la medida de lo posible.

Unido a la mejora del indicador va la mejora del proceso productivo por lo que el objetivo real es la realización de todas las acciones posibles encaminadas a solucionar los defectos, es decir, todos aquellos subproyectos que finalmente tengan como resultado una mejora traducida en una subida porcentual del First Pass Yield.

Una vez realizado el proceso de definición de los principales problemas dentro de la metodología 6 Sigma se vieron potenciales áreas de mejora y como consecuencia a medida que el proyecto avanzaba el objetivo final daba paso a objetivos parciales.

Estos objetivos parciales se traducen en solucionar problemas enquistados de la línea de montaje que, debido a la consolidada forma de trabajar, originan fallos en un número que se considera aceptable.

## **2.2 Alcance y objetivos parciales**

Podemos destacar las siguientes líneas de trabajo desarrolladas:

### **2.2.1 Orden y limpieza**

En cuanto al orden se refiere se estudiaron los diferentes puestos de trabajo para mejorar la disposición de los materiales en el puesto, tratando de mejorar la ergonomía como optimizar la cantidad de materiales en el módulo, reduciendo la cantidad de estos en la medida de lo posible.

Se observaron disposiciones duplicadas de materiales, así como materiales fuera de sitio o estanterías sobredimensionadas que requieren de un estudio de las operaciones y de los puestos.

La limpieza trata no solo de los elementos que se ensamblan formando el horno sino también de los embalajes en los que se llevan las piezas al módulo. Entre las medidas adoptadas están las siguientes:

- Se plantea un sistema para evitar la suciedad que se produce al almacenar los relojes.
- Reducir la suciedad que se produce en la propia línea de montaje durante el proceso de ensamblaje, que obliga a la reparación del horno.

- Revisión del proceso de montaje de las puertas, se da una suciedad debida al propio montaje así como una limpieza insuficiente.

Para realizar el seguimiento de las medidas tomadas se realizan evaluaciones semanales de los defectos encontrados por los motivos citados, para ver si la evolución es hacia una reducción de la misma o son necesarias otras medidas.

Tras realizar el análisis del número y tipo de defectos se estableció el objetivo de reducir la suciedad en un 50%.

### **2.2.2 Estética del producto**

Se realizó un seguimiento del proceso de montaje del horno con objeto de ver por qué y donde se producen rayas tanto en la parte visible del horno como en el cristal que obligan a su reparación.

En cuanto al rayado de elementos del horno se vieron dos fuentes principalmente:

- *Rayas en la maneta:* Este defecto se producía durante la colocación y montaje de la maneta en el útil.
- *Rayas en el frontal:* Realizando el seguimiento se puso en evidencia que estas rayas se producen en puntos específicos de la línea d montaje, al ensamblar la pieza por descuidos del operario o porque el método era incorrecto.

El objetivo en este campo se estableció por familias, actuando sobre aquellos hornos cuyos tiradores son más delicados y tienen un índice de defectos mayor.

Especialmente críticos resultan los hornos de la familia Nostalgia así como los hornos Siemens con maneta larga. El objetivo para ambos es ambicioso debido al coste de las manetas, por lo que se estableció en reducir la el índice de defectos en un 50 %.

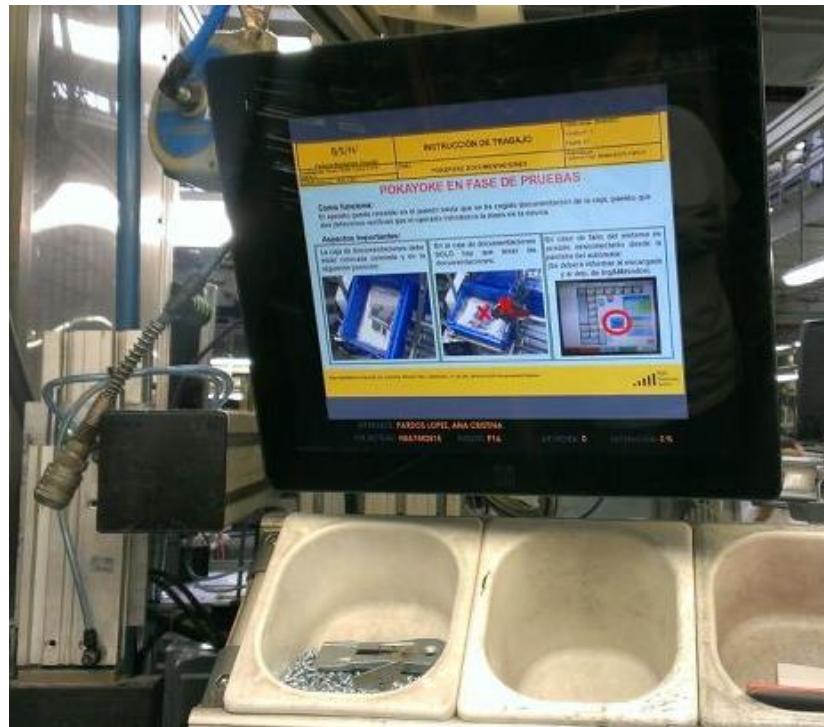
### **2.2.3 Ayudas de montaje.**

A través de la instalación en el módulo del ***Info Work Place*** se pretende prestar una ayuda al montaje en dos líneas:

## ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE HORNOS

- Mostrar la hoja de trabajo para evitar olvidos y confusiones.
- Mostrar ayudas de montaje de las operaciones más críticas.

Esta herramienta está personalizada en función del puesto de montaje, por lo que la utilidad es realmente alta.



Monitor Info Work Place.

Figura 2.2.3.1

Cuantificar porcentualmente la mejora del FPY a través de esta herramienta no es sencillo, por lo que se verá su efecto en los modelos más críticos, donde se hizo especial hincapié en determinados procesos que se realizaban mal siempre que entraban a fabricarse.

Otro tipo de ayuda de montaje son los “Poka Yokes”, o sistemas pasa no pasa, que ayudan al operario en el montaje estableciendo una única opción de montaje del elemento en cuestión (*Anexo IV*).

La problemática con el error en el conexionado del conmutador del horno es el problema latente más severo de la sección de hornos. Para poder solucionarlo se diseña

un “poka-yoke” cuyo objetivo es poder reducir el 100% de los errores debidos al conexionado incorrecto de las fichas.

#### **2.2.4 Reducción de ‘sin defecto’**

Hay que explicar en primer lugar que los hornos reparados ‘sin defecto’ son aquellos que entran a la zona de reparación por alguno de los siguientes motivos:

- Prueba eléctrica mal realizada por el operario.
- Botón Ok/ Nok mal pulsado, accionando Nok siendo el horno bueno.
- Error del lector de la plataforma en la que se desplaza el horno que lo mete a reparación sin que sea malo.

Sobre el primer caso actúan las pantallas instaladas con el sistema de Info Work Place mencionado para recordar cómo han de realizarse las pruebas pertinentes. No es una solución completa ya que el error humano sigue existiendo

En el segundo caso se estudia la posibilidad de cambiar el sistema de un pulsador de botones a uno accionado por llave que haya que girarla en caso de que el horno presente algún defecto. De nuevo está en la mano del operario la decisión de mandar el horno a reparación o no si bien con esta manera de accionamiento se reduce la posibilidad de error.

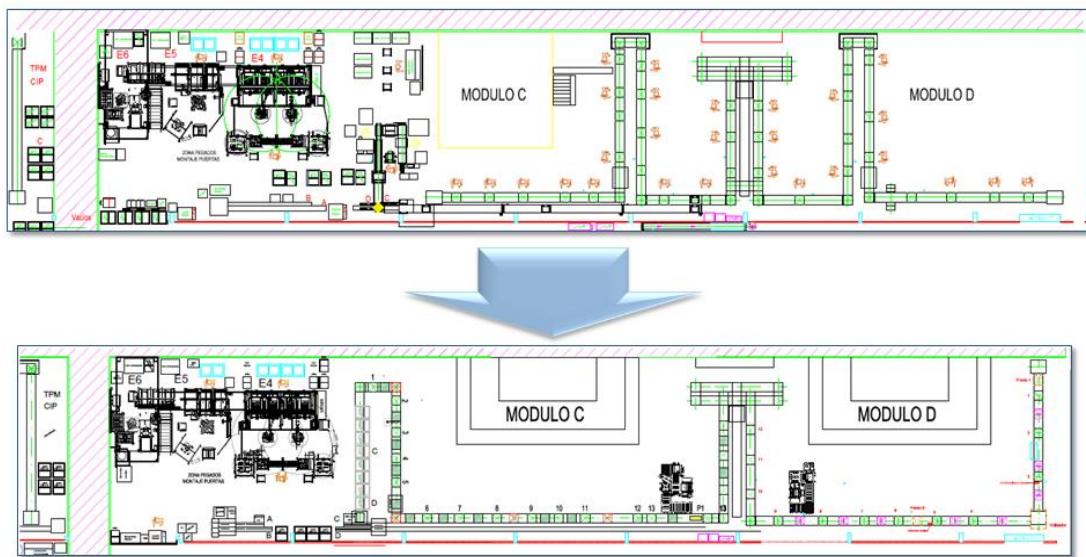
Por último en cuanto al lector de plataforma se estudia cambiar el sistema de alimentación eléctrica del horno. El coste es muy elevado ya que se dispone de 200 plataformas en circulación simultáneamente y no se plantea su sustitución hasta el nuevo proyecto. Descartada esta opción se revisa la programación de los módulos para ver si hay algún tipo de error informático.

Se espera poder reducir en un 10% los defectos de esta categoría.

### 3. DESARROLLO

#### 3.1 Cambio de Layout

El acontecimiento al que se hace referencia desde principio del proyecto es la modificación de la disposición de los módulos C y D. Este cambio es previo a la estancia del autor y por tanto no participó en el mismo. Las modificaciones se ilustran en la Figura siguiente:



Cambio de Layout, módulos C y D  
Figura 3.1.1

Como se puede ver en las imágenes se cambia el modelo de cadena de montaje, pasando de una variante del modelo en L a un modelo en U.

Las ventajas derivadas de este cambio son las siguientes:

- Aumento de la capacidad productiva
- Aumento del espacio disponible en el módulo
- Mejora de la organización de cada puesto

Es por tanto a partir de este importante cambio cuando se va a realizar todo el estudio concerniente a este proyecto.

### 3.2 FPY

Se ha explicado en que consiste el indicador First Pass Yield, pero no como calcularlo. Utilizando la siguiente fórmula podemos calcular el FPY como:

$$\text{First Pass Yield} = \frac{\text{Unidades del proceso completadas sin reparación}}{\text{Unidades totales del proceso}}$$

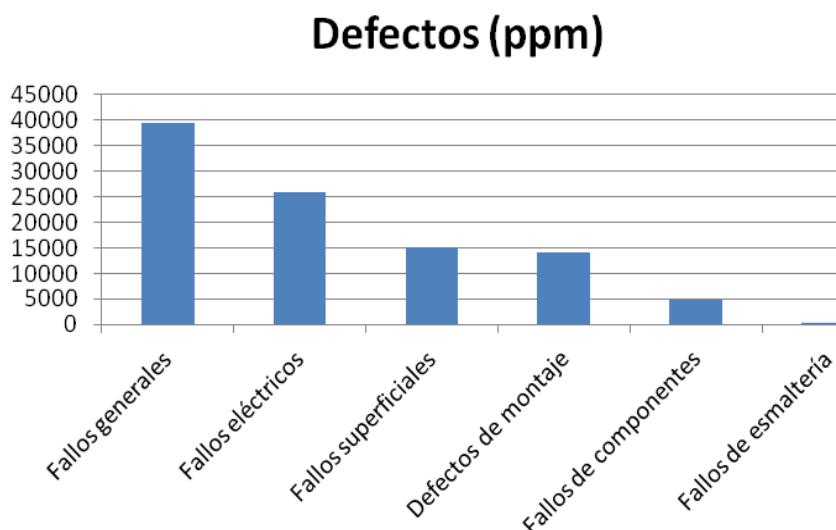
Donde las unidades de proceso sin reparación son:

$$\text{Unidades sin reparación} = \text{Unidades totales} - \text{Unidades reparadas}$$

Por tanto podemos expresar la fórmula como:

$$FPY = 1 - \frac{\text{Unidades reparadas}}{\text{Unidades totales del proceso}}$$

A través de los resultados de la medición del FPY vamos a realizar un análisis de los defectos durante la fase de cambio de layout en el módulo, con objeto de tener una visión general de la situación de partida. Para ello vamos a utilizar los datos de los meses de marzo y abril, ya que este cambio en el módulo se realizó aprovechando la Semana Santa, en periodo no productivo, agrupando los defectos por su carácter en el siguiente gráfico:



Gráfica de los defectos agrupados según clasificación general

Gráfica 3.2.1

Esta es una clasificación genérica, pero nos servirá de marco de comparación para la visión global después de las medidas implantadas. Los datos del gráfico están explicados en ppm (partes por millón) para asignar a cada defecto su peso global.

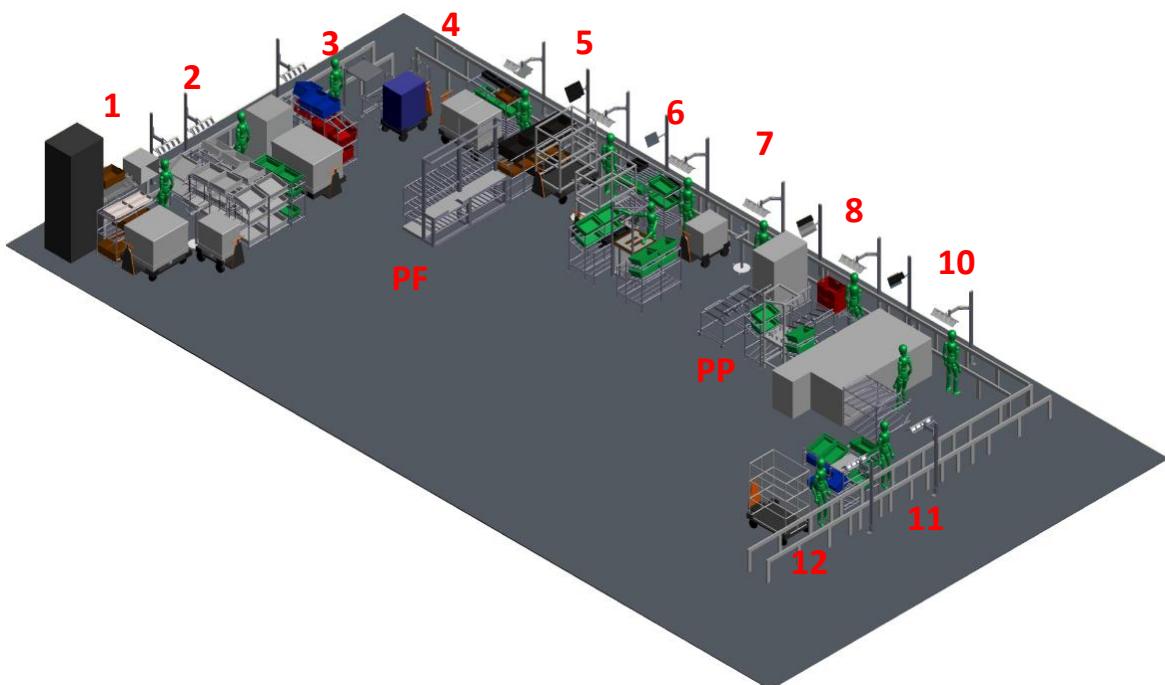
En primer lugar tenemos los fallos de montaje, que engloban los defectos ‘sin defecto’, los defectos por suciedad y los defectos por falta de algún componente. Quedan comprendidos más defectos pero son estos tres los principales.

A destacar también los fallos eléctricos, que tienen su origen en el conexionado incorrecto, bien por confusión o por la falta de alguno de los componentes.

### 3.3 Línea de Montaje

Una vez dada una visión general del módulo se van a analizar los diferentes puestos de la cadena de montaje, estableciendo aquellos que presentan un número de defectos mayor y actuar por tanto en ellos.

En la Figura siguiente se presenta la vista en 3D del módulo D:



Vista 3D del módulo D de montaje  
Figura 3.3.1

El montaje del horno se realiza secuencialmente, donde tanto el frontal como la puerta son integrados como componentes montados aparte. La secuencia de montaje es la misma para todos los hornos, lo que varía son los componentes y la ubicación de los mismos en función de la familia de horno en cuestión.

El proceso de montaje es el siguiente:

- **Puesto 1:** baja la cavidad del ascensor previamente esmaltada y se le coloca la lámpara y las resistencias.
- **Puesto 2:** se conecta el cable lámpara, se colocan aislamientos y chapas sobre estos.
- **Puesto 3:** se colocan el resto de chapas y la turbina con sus cables.
- **Puesto 4:** se monta el frontal en la cavidad, se coloca el conducto de vapores y se realiza una parte del conexionado en función del horno.
- **Puesto 5:** se coloca el aspa de la turbina que da al interior del horno así como el protector de la misma. Se añaden las gradas laterales (soporte de las bandejas) y se realiza parte del conexionado en función del tipo de horno
- **Puesto 6:** se conectan el grueso de cables del horno. En los modelos pirolíticos se monta aparte el cierre de la puerta.
- **Puesto 7:** se termina de conectar el horno, principalmente los cables que van a la parte trasera y a la plataforma. Se colocan las chapas envolventes superiores del horno.
- **Puesto 8:** se monta la puerta en el horno y para algunos modelos la conexión trasera pasa del puesto 7 a éste. Se colocan las chapas traseras.
- **Puesto 11:** encargado de realizar las pruebas eléctricas al horno, así como pegar las pegatinas energéticas y realizar una inspección visual de defectos.
- **Puesto 12:** coloca las dotaciones (conjunto de documentación y bandejas) así como otras pegatinas que pueda llevar el horno. Realiza una inspección visual del horno.

Integrados en el módulo de montaje pero no en la cadena está la isla de montaje de frontales y la de puertas. Trabajan *on line* respecto a la línea, es decir, con un ritmo independiente pero abasteciendo a la cadena en todo momento.

- **Isla de frontales (dos puestos)**

1. **PF1:** se encarga de montar el conmutador al horno y de realizar la conexión del mismo.
2. **PF2:** coloca el reloj y los cables de éste. Limpia el frontal de suciedad. Coloca los mandos del horno y los embellecedores de los mismos.

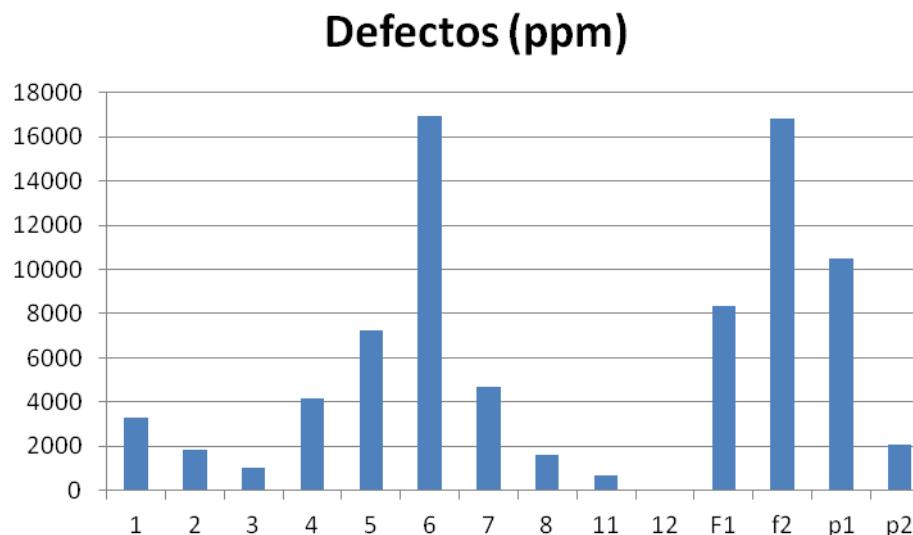
- **Isla de puertas (dos puestos)**

1. **PP1:** monta los cristales más exteriores del horno así como la maneta. También monta las bisagras y los perfiles metálicos de la puerta. Limpieza del cristal en la zona interior al horno.
2. **PP2:** monta los cristales interiores y el protector superior de la puerta. Atornilla el perfil de la puerta las bisagras.

### 3.4 Defectos

Una vez explicada la secuencia de montaje se procede a analizar los datos del módulo C en los meses citados para evaluar los puestos críticos.

Para lo cual se presenta el siguiente gráfico de Pareto. (*Anexo V*)



Situación inicial de defectos (ppm)  
Gráfica 3.4.1

Como podemos ver los puestos más conflictivos son los siguientes:

- Puesto 6 → 21,38%
- Puesto de frontales f2 → 21.18%
- Puesto de puertas p1 → 13.22%

Los % expresan la concentración de fallos respecto del total de fallos.

Por tanto vamos a aplicar medidas correctoras en cada uno de los tres grandes focos de problemas.

### 3.4.1 Isla de frontales

Como se ha explicado en la introducción del proyecto vamos a seguir la metodología 6 sigma. Se realizó un Work Shop para estos puestos (*Anexo V*). El proceso de esta metodología consiste en:

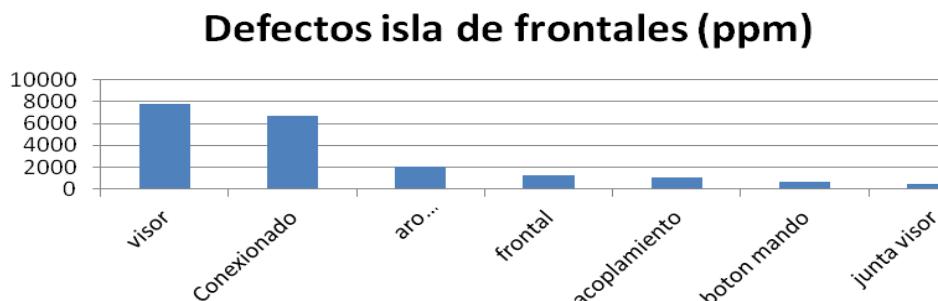
#### *Definición del problema*

Tras analizar las operaciones de montaje de ambos puestos se observa que las que mayor complejidad tienen son:

- En el puesto 1, PF1: conexionado del conmutador
- En el puesto 2, PF2: limpieza del visor del reloj

#### *Medición*

Se van a ver los principales defectos debidos a la isla de frontales durante los meses de abril y mayo, meses posteriores a este cambio. Estos defectos se recogen en el siguiente gráfico:



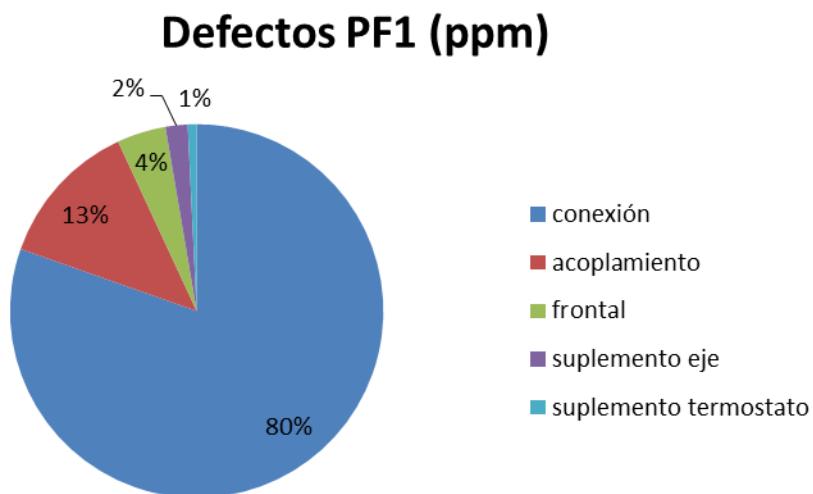
Gráfica 3.4.1.1

Como se puede ver claramente en el gráfico hay dos problemas claros en la isla de frontales y cada uno de ellos se corresponde con un puesto, en el PF1, puesto 1 de la isla el principal problema es el conexionado del conmutador mientras que en el puesto 2 destaca la suciedad del visor.

A continuación se va a explicar la situación de cada uno de los problemas así como la solución planteada a los mismos:

### 3.4.1.1 PF1, conexionado del conmutador

Analizando la siguiente gráfica, el problema de conexionado dentro del puesto de montaje es claramente el más destacado.



Defectos (ppm) PF1 meses abril-mayo  
Gráfica 3.4.1.1.1

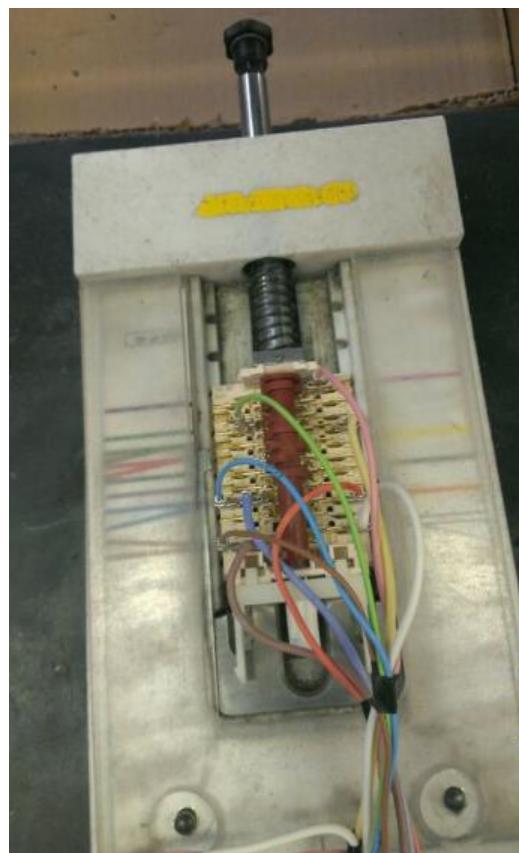
#### *Análisis*

Para abordar este problema se intentaron establecer similitudes entre las diferentes familias de hornos, ya que el conexionado queda definido por plantillas que indican la posición de los cables por colores.

Con esto se vio que se podían hacer 9 grandes grupos con el mismo patrón de conexionado y se procedió a plantear la solución.

La completa eliminación de los defectos originados por un conexionado incorrecto supondría un ahorro importante en reparaciones, pero se decidió acotar la solución por lo complejo de la misma.

En la siguiente imagen podemos ver un útil de conexionado con la plantilla de colores indicando el conexionado correcto. Como se puede ver se asocia el cable a la plantilla en función del color de ambos con un muelle que fija la posición del conmutador.



Útil de conexionado  
Figura 3.4.1.1.1

Por ello se decidió estudiar la manera de evitar el conexionado de la ficha de resistencias en la posición incorrecta.

Esta ficha solo tiene dos posiciones posibles y de ser conectada en la posición incorrecta provoca el cortocircuito del reloj.

Analizando este problema en los 4 módulos se evidencia que la gravedad del mismo es mayor de lo planteado inicialmente, ya que es un defecto que acaba en reparación en una media de 75 ocasiones semanales entre los 4 módulos.

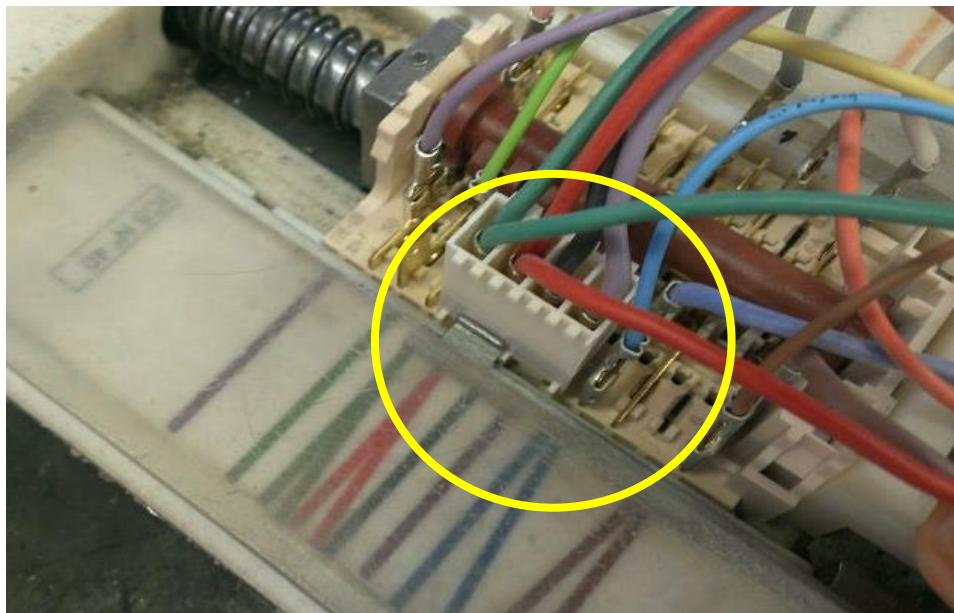
### **Implementación**

Con estas premisas se comenzó a trabajar pensando en una solución que hiciese imposible colocar esta ficha del reloj al revés por lo que se orientó la misma a un instrumento de tipología Poka-Yoke (*Anexo IV*).

Se estudiaron los commutadores utilizados y se agruparon los hornos en función de ellos. A partir de esta descomposición se pudo diferenciar 9 subgrupos con volúmenes de fabricación altos por lo que se procedió a desarrollar la idea.

Para facilitar el conexionado al operario se coloca una plantilla indicando donde tiene que ir el cableado en función de los colores y se pensó en utilizar un sistema compatible. Estas plantillas tienen dos agujeros que encajan en los machos del útil, por lo que este sistema de anclaje es el mismo.

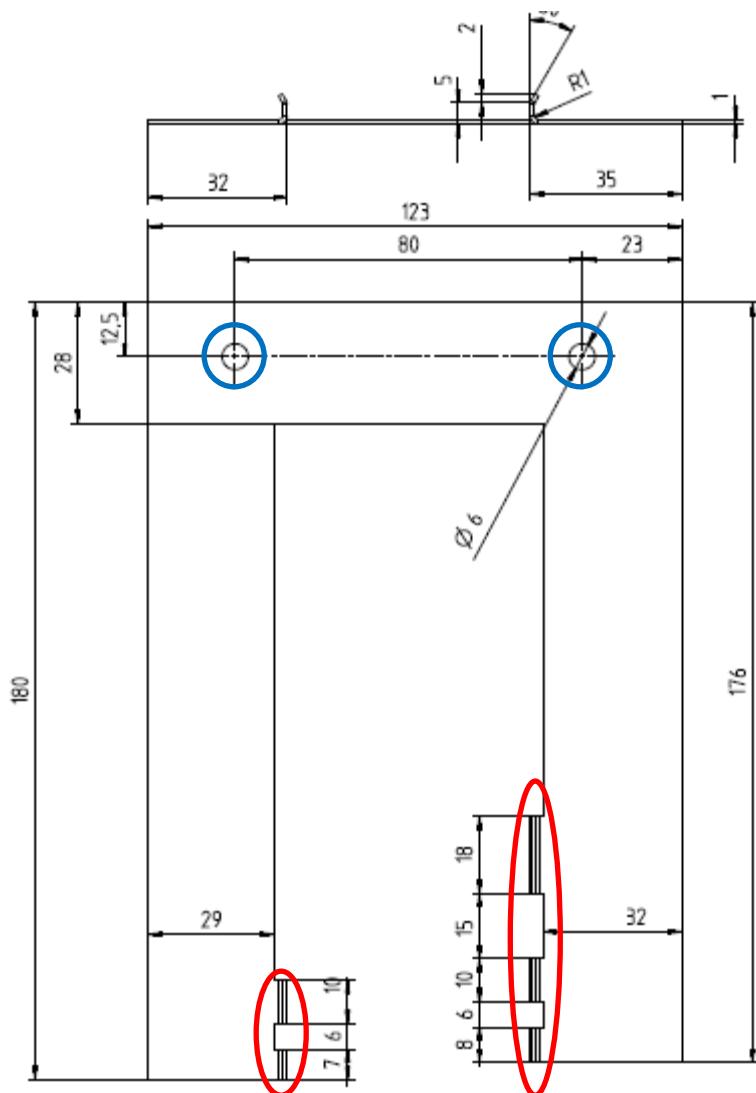
Para cada uno de estos subgrupos la idea era desarrollar un sistema que impidiese que la ficha se colocara del revés. Se vio que las fichas eran distintas por sus dos lados, por lo que el Poka-Yoke planteado utilizaría esta característica.



Ficha de conexionado de commutador  
Figura 3.4.1.1.2

Determinada la forma del Poka-Yoke y la diferencia de la ficha se diseñaron unas planchas hechas en aluminio con un relieve en su extremo de forma que no permitiese colocar la ficha en sentido contrario. Para ello se diseñaron las planchas metálicas con una largura mayor de tal manera que al doblarlas quedase éste doblete.

Uno de los diseños es el mostrado en la figura de la página siguiente, donde se puede observar el plano de la pieza, que incluye todas las cotas, así como la vista en alzado para los detalles que no se observen en la vista en planta.



Vista en planta del Poka-Yoke  
Figura 3.4.1.1.3

Los círculos rojos del dibujo corresponde a las citadas pestañas que actúan como Poka-Yokes impidiendo que los operarios conecten las fichas en el sentido

equivocado. También podemos ver que están señalados los agujeros que sirven de fijación para los machos del útil.

Se presenta su cota y su completo diseño con las vistas pertinentes y los comentarios.

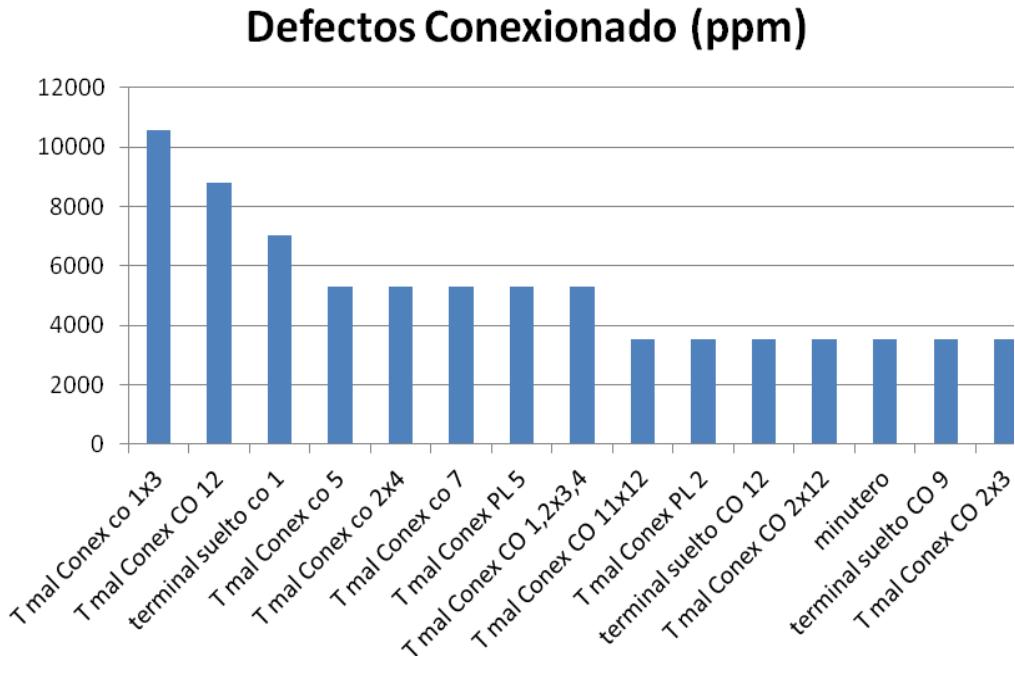
El resultado de dichos planos teóricos se puede observar en la siguiente imagen, que muestra el Poka-Yoke de conexionado real.



Vista del Poka Yoke físicamente  
Figura 3.4.1.1.4

### ***Control***

Como se puede ver en la gráfica siguiente (tomada con valores de septiembre y octubre de 2013) a partir de la puesta en marcha de los poka yokes el error de conexionado en la ficha no vuelve a suceder:



Gráfica defectos de conexionado (Septiembre-Octubre 2013)  
Gráfica 3.4.1.1.2

Si bien conseguimos eliminar el defecto de conexionado de la ficha que era el más grave por repetición del mismo y por coste de la reparación vemos que se debería implementar una solución para reducir los defectos por conexionado.

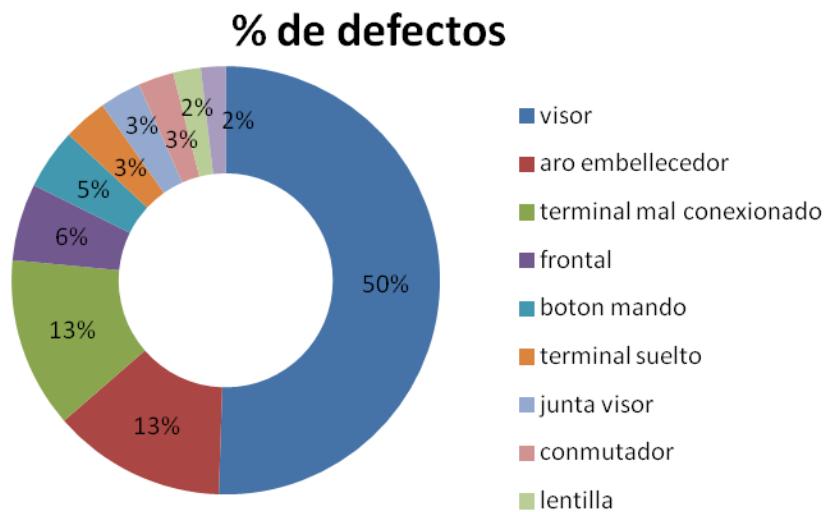
Una línea de trabajo abierta en B.S.H. es la visión artificial, implementada actualmente en las líneas de inducción y con mucha capacidad futura.

#### 3.4.1.2 PF2, Suciedad visores

##### *Análisis*

Lo primero que se va a hacer con este puesto de montaje es analizar los defectos, de la misma forma que lo se ha hecho para el puesto 1 de la isla de frontales.

Se puede utilizar la metodología Shainin (*Anexo VI*): se acota gradualmente los defectos por su importancia en función del impacto de los mismos. Para ello utilizamos el siguiente gráfico de Pareto en el que quedan reflejados:



Gráfica tipo de defecto en Puesto de Frontales

Gráfica 3.4.1.2.1

Se observa claramente que el principal problema que se tiene es el de suciedad en los visores, que destaca sobre manera del resto.

#### *Implementación*

La primera medida tomada fue la de instalar unos ventiladores desionizadores. Como su nombre indica el efecto que se consigue es proyectar aire desionizado sobre los relojes para evitar así que se adhiera polvo u otras partículas a los mismos.

En la siguiente figura se puede ver a un operario realizando la operación de soplado de la pantalla del reloj.



Ventilador de aire desionizado

Figura 3.4.1.2.1

Ya que eliminar la suciedad en una fábrica es muy complicado ponemos barreras a esas motas de polvo antes de montar el frontal.

Los relojes llegan de proveedor con una tapa de cartón que cubre las cajas de la parte superior, quedando el resto de cajas tapadas por la que se coloca encima. El problema se da una vez desembalados cuando vuelven al almacén.

Al haber varios modelos de relojes, éstos quedan almacenados por tiempos largos durante los cuales se acumula suciedad en los mismos.

Otra medida tomada fue la de devolución de los porex de los relojes al revés para vaciar la suciedad de las cajas en cada envío a proveedor. Medida que podemos apreciar en la siguiente figura:



Colocación de porex en almacén (boca abajo)  
Figura 3.4.1.2.2

La solución que se planteó para este problema fue el diseño de una tapa de un material antiestático. Una vez tomadas las medidas de la caja se diseñó la tapa para que encajase perfectamente. El pedido de las mismas se realizó a la empresa Modisprem (*Anexo VIII*).

Fotografía de la tapa antiestática:



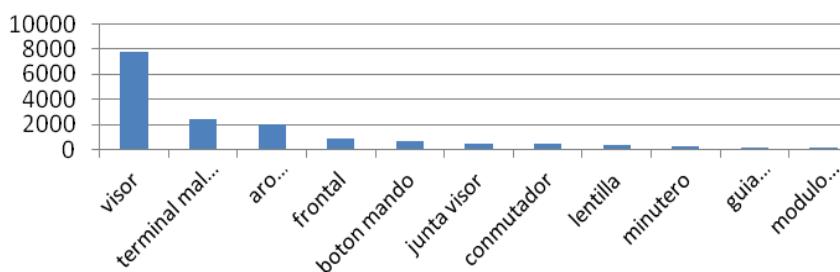
Tapa antiestática  
Figura 3.4.1.2.3

El problema que se presentaba era el de la estimación del número de tapas para los porex de los relojes.

Realizado el análisis del número de relojes en circulación hasta agotar stock se estableció que 40 tapas serían suficientes para tapar dichos porex en circulación.

Tras dos semanas funcionando con las tapas según el planteamiento establecido conjuntamente con el personal de almacén se vieron los resultados. El resultado de esta medida tomada es el que se recoge en la siguiente gráfica:

### Número defectos conexionado (ppm)



Gráfica defectos de conexionado (septiembre-octubre 2013)

Gráfica 3.4.1.2.1

Como se puede ver el resultado no es el que esperábamos, puesto que la suciedad en los relojes no se elimina con las tapas.

Esto es debido a distintos motivos:

- El primero es que el procedimiento de colocación de las tapas no se ha implementado correctamente. Se estableció que las tapas se colocasen en las cajas que se devuelven con relojes al almacén, pero al haber varios turnos no se cumple en todos.
- El segundo es que la medida adoptada no implica que vaya a reducirse la suciedad al 100%.

Otro factor a considerar es cambiar el tiempo de seguimiento. Éste debe de ser mayor para poder reflejar mejor el efecto real de la medida tomada.

Por último es necesario reevaluar el número de tapas necesarias. Por dos razones, varias de ellas han acabado en la papelera por falta de información y además porque el número de cajas destapadas que entra al almacén es mayor del previsto.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se toman las siguientes medidas:

- Estimando de nuevo el número de tapas y sustituyendo las pérdidas se calcula el número de tapas necesarias y se realiza otro pedido de 70 tapas.
- Se crea un procedimiento robusto a través de la realización de una reunión con los responsables de almacén, con los del tren de suministro a los módulos y con los jefes de línea y se crea una lista de materiales que deben de ser devueltos al almacén.
- Se establece el plazo de un mes como tiempo necesario para poder cuantificar el efecto de las medidas tomadas.

### **3.4.2 ISLA DE PUERTAS**

Siguiendo con la metodología 6 SIGMA planteada

### ***Definición del problema***

De nuevo se realiza una observación a pie de campo para observar los problemas reales, no solo los que figuran en las estadísticas:

- En el puesto 1, PP1: rayas maneta, montaje salida de vapores.
- En el puesto 2, PP2: suciedad del cristal intermedio

#### **3.4.2.1 PP1**

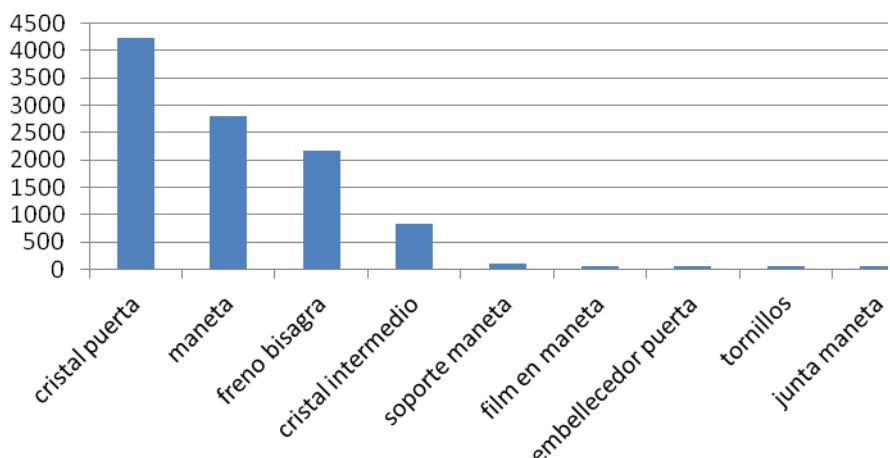
##### ***Medición***

A simple vista puede parecer que los defectos debidos a rayas en las manetas no son los más críticos, pero si tenemos en cuenta que cualquiera de estos defectos hace que dicha maneta sea inservible y deba de ser sustituida por otra el problema cobra otra magnitud. Se realiza un estudio utilizando el método de Ishikawa (*Anexo VIII*).

Hay que explicar los dos tipos de útiles que tenemos en función de los materiales de los que están construidos. Pueden ser bien de nylon o de latón, en ambos casos la base es de acero. Es importante esta información porque será distinta la manera de corregir los errores en cada caso.

Los defectos del puesto de puertas 1 (PP1) donde son montadas las manetas es lo que aparece a continuación:

**Número defectos (ppm)**



Gráfica defectos puertas 1

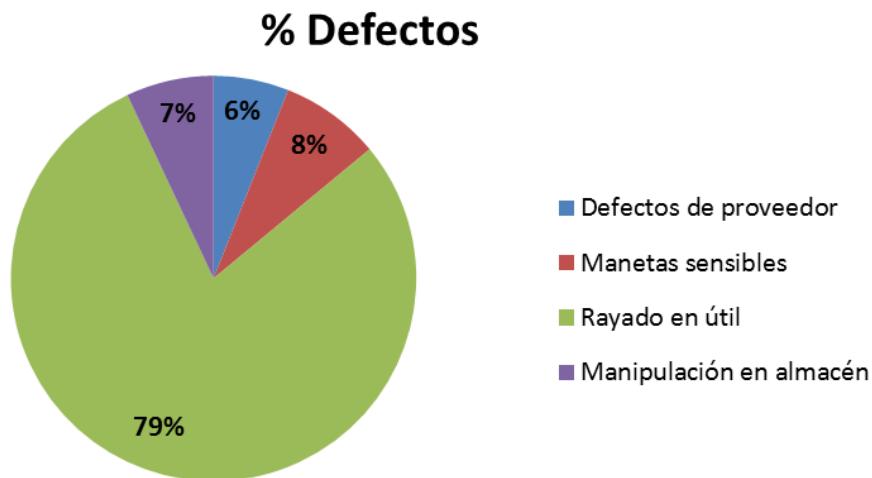
Gráfica 3.4.2.1.1

Vemos que este defecto ocupa la segunda posición en nuestro orden de defectos con mayor impacto sin embargo es su efecto económico lo que hace que adelante posiciones en nuestra escala de importancia.

### Análisis

Analizando la colocación de la maneta durante el montaje de la puerta se ven las causas por las que aparecen rayas en las mismas:

- *Defectos de proveedor*: estas manetas aparecen rayadas al desembalar la caja del proveedor y dicha caja no presenta ningún defecto. El embalaje interno es deficiente por lo que por el propio roce de unas manetas con otras durante su transporte terminan por aparecer pequeñas rayas que inutilizan la maneta.
- *Manetas sensibles*: son aquellos modelos de maneta que se rayan con mayor facilidad. Es el caso de la maneta dorada corta de los hornos nostalgia.
- *Colocación incorrecta de las manetas en el útil*: un manejo incorrecto de las mismas deriva en rayas al ser golpeadas con las esquinas del útil.
- *Manetas rayadas por caída de la caja en su manipulación en el almacén*.



Gráfica origen de las rayas  
Gráfica 3.4.2.1.2

### ***Implementación***

Ya definidas las causas principales de los defectos que presentan las manetas se plantean diferentes soluciones para cada caso:

La primera y principal fue la de revisar todos los útiles de cada uno de los cuatro módulos de montaje. Partiendo de una reunión conjunta con los jefes de equipo de los módulos así como personal de producción se tomó la decisión de forrar los útiles de latón y de pulir aquellas zonas críticas en los de nylon. Se busca de esta manera eliminar el mayor número posible de rayas originadas por el propio uso del útil.

En la figura de la página siguiente tenemos el ejemplo de un útil en mal estado:



Estado inicial útil de ensamblaje de maneta.

Figura 3.4.2.1.1

En este útil se ve que se ha colocado el forro protector al ver que en la colocación de la maneta en el útil se originan las rayas y se ha colocado cinta de carrocería con el mismo fin.

Otro ejemplo de manetas en mal estado se observa en la siguiente fotografía, donde se han colocado calces al útil, con lo que corremos el riesgo de descentrar la maneta.



Calce en útil de ensamblaje de maneta

Figura 3.4.2.1.2

El caso más crítico fue para los hornos de la familia Nostalgia con la singularidad de que sus manetas son cortas y doradas (ref. de fabricante: HBA23BN61), el número de ellas rayadas se disparaba cada día que entraba en producción por lo que se necesitaba una acción urgente por parte del departamento.

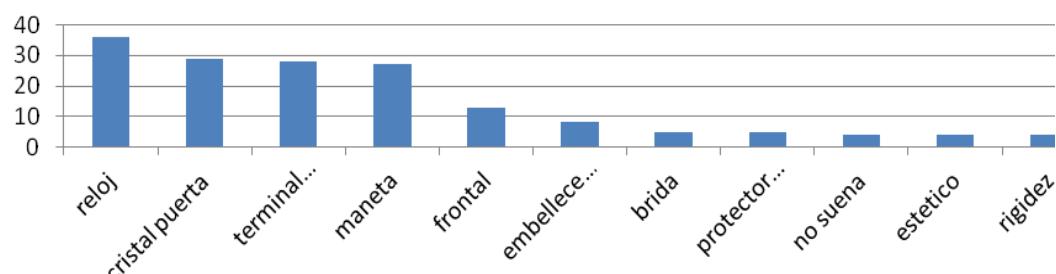
Tras evaluar la causa de las rayas se evidenciaron distintos orígenes:

- Manipulación del operario
- Mal manejo en el almacén
- Defecto de proveedor

Sobre las dos últimas causas la acción no era inmediata ni sencilla por lo que se optó por montar las manetas con el film protector con el que vienen de proveedor unido a la modificación del útil y así reducir el número de manetas rayadas.

La situación para los hornos de la familia Nostalgia es la siguiente:

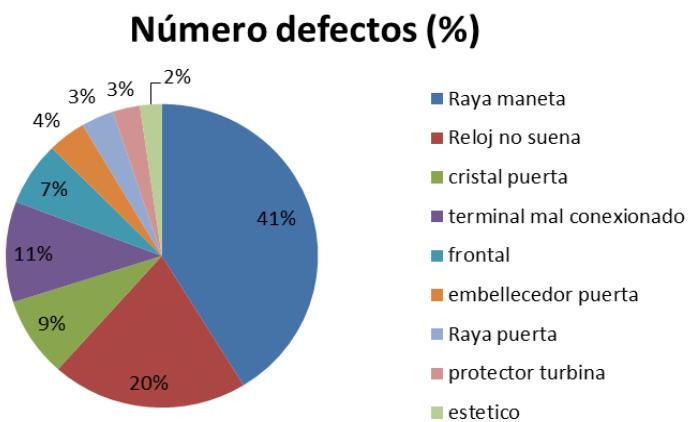
## Defectos



Pareto de defectos en hornos de familia Nostalgia

Gráfica 3.4.2.1.3

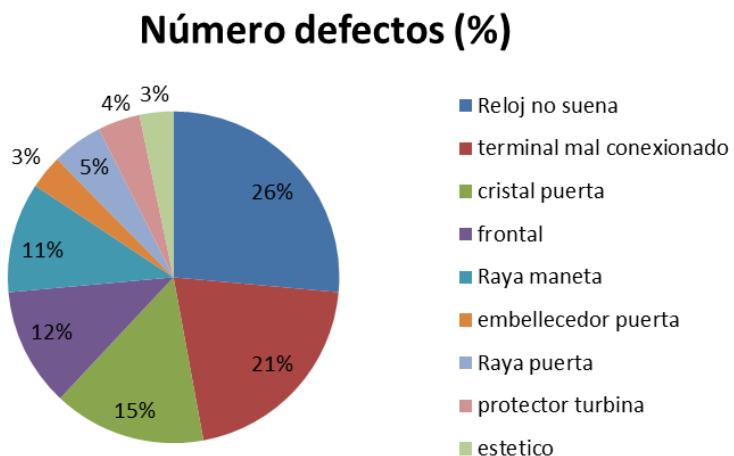
Para el modelo citado (referencia de fabricante: HBA23BN61) la situación es distinta:



Gráfica porcentual de defectos para el modelo HBA23BN61  
Gráfica 3.4.2.1.4

### *Control*

Para ver si la solución es robusta se estudiará el número de manetas defectuosas en los siguientes montajes del horno. Para ello se van a estudiar los casos por separado, tanto los de las manetas estándar como los de las manetas sensibles cuya solución implica una doble acción



Situación del módulo después del mantenimiento de utilajes  
Gráfica 3.4.2.1.5

Los defectos que vienen del proveedor son difícilmente demostrables. Se pidió presupuesto para modificar el embalaje interno, pero era mayor que el coste de las manetas defectuosas, por lo que se desechó la opción. En cuanto a las cajas de manetas dañadas se derivó la información a la persona de suministros ya que la solución le corresponde a ese departamento.

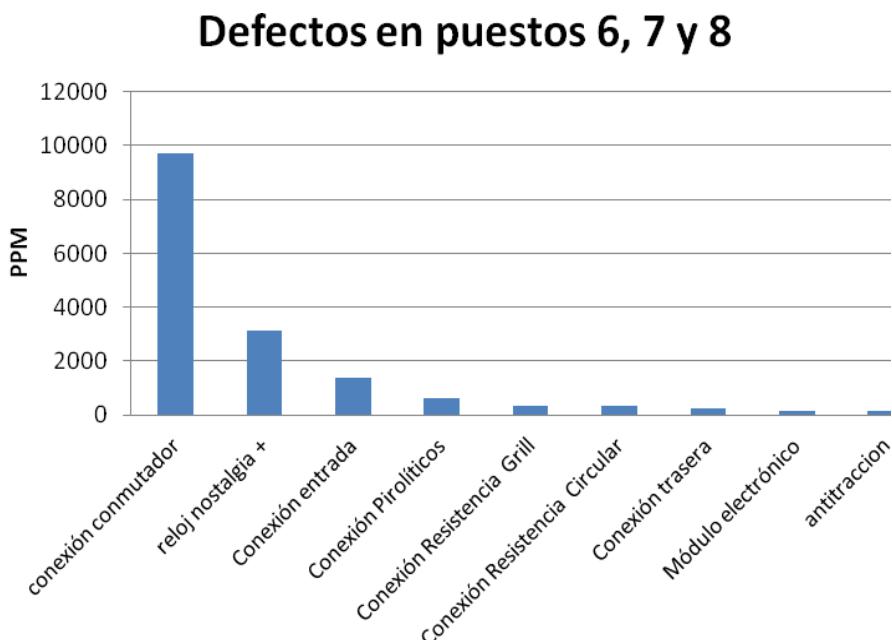
### 3.4.3 PUESTOS 6, 7 y 8

#### *Definición del problema*

En estos puestos se realiza el grueso de conexiones del horno concentrando una parte importante de los defectos. Además un componente de dificultad añadida es la variación de puesto en el conexionado de determinados cables en función del horno que se produce.

#### *Medición*

Para poder medir y cuantificar lo explicado anteriormente vamos a recurrir a nuestro archivo de datos. La distribución gráfica de defectos es la siguiente:



Defectos puestos 6, 7 y 8

Gráfica 3.4.3.2

El principal problema que se encuentran son los olvidos y las confusiones, es decir, defectos con causa humana. Si bien parte de estos defectos es justificable al realizar las mismas operaciones de trabajo durante 8 horas y los despistes ocurren, hay determinados efectos con una incidencia mayor en los que podemos actuar.

## Análisis

Los principales defectos sobre los que actuar son los que vemos a continuación:

- Conexionado del puesto 6: tanto el conexionado del conmutador, como del reloj Nostalgia, resistencia grill, como el módulo electrónico se conexionan en este puesto.
- Conexionado del puesto 7: principalmente conexión de entrada y trasera
- Conexionado del puesto 8: conexión de entrada y conexión de resistencia grill para algunas referencias y resistencia circular.

## Implementación

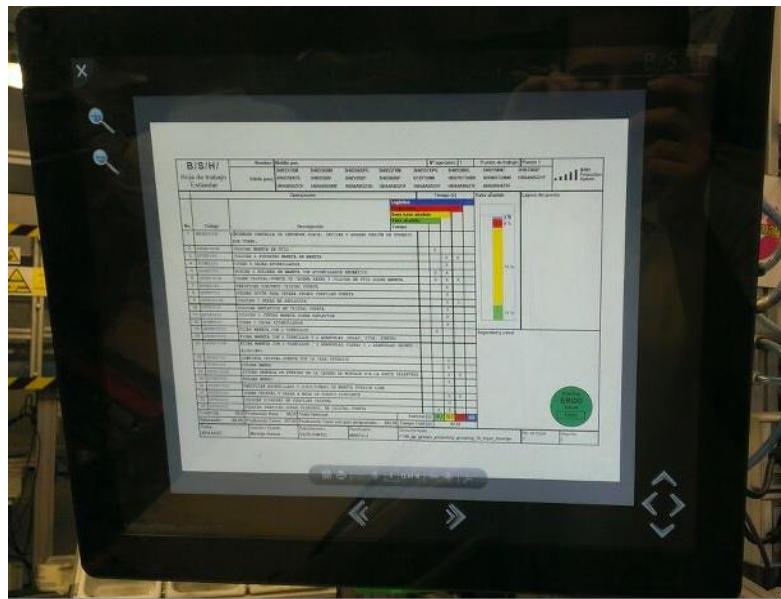
El instrumento elegido para ayudar en estas operaciones de montaje es el Info Work Place. Esta herramienta consiste en un pequeño procesador cuyo monitor se instala en el puesto de trabajo. La interfaz del mismo es muy dinámica y visual, incorporando un manejo táctil para facilitar su acceso a cualquier usuario.



Vista en el módulo de puesto de trabajo con monitor IWP.

Figura 3.4.3.1

En la imagen anterior podemos ver a un operario en su puesto de trabajo con el monitor Info Workplace. En la siguiente imagen podemos observar el monitor en funcionamiento, mostrando la hoja de trabajo:



Info Work Place – Hoja de Instrucciones

Figura 3.4.3.2

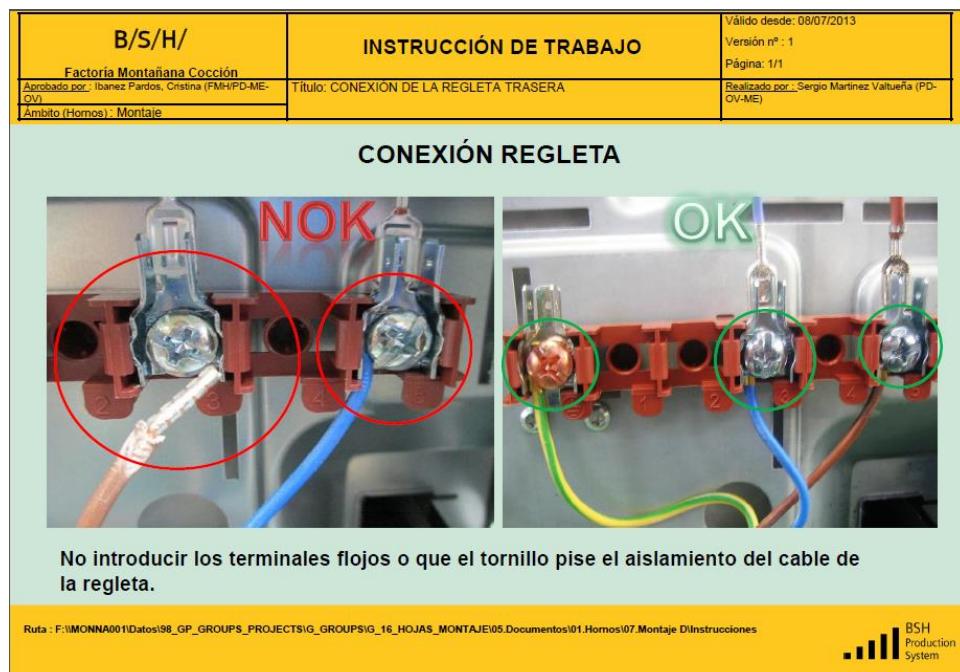
El desarrollo de la aplicación informática estaba en su fase inicial y se lanzó con dos fines principales para posteriormente ir añadiendo un mayor despliegue de funciones.

Inicialmente las posibilidades ofrecidas son tanto la proyección en pantalla de la hoja de montaje, como la de ayudas de montaje.

El problema con las hojas de montaje es que en muchas ocasiones el operario por tener ajustado el tiempo de operación prescinde de comprobar que realiza todas las operaciones para cada horno, lo que conlleva olvidos traducidos en reoperaciones.

Al incorporar la hoja de trabajo al monitor se consigue que el acceso sea instantáneo, con una mirada a la pantalla, sin tener que pasar hojas. Además dichas hojas se actualizan automáticamente, por lo que mostrará la correcta en todo momento sin tener que perder el tiempo en buscarla. Se eliminan las excusas.

Por otro lado también muestra ayudas de montaje que se proyectan automáticamente a modo de salvapantallas. Con ayudas de montaje se refiere a todo tipo de consejos para aquellas operaciones de mayor complejidad o recordatorios para aquellas con mayor índice de olvidos. No solamente son consejos lo que se muestran, también hay instrucciones de Ok/ Nok, lanzadas desde calidad y elaboradas desde ingeniería.



Ayudas de montaje  
Figura 3.4.3.3

Estas ayudas están diferenciadas en función del modelo de horno que se está trabajando ya que a pesar de buscar que los equilibrados (hojas de montaje) sean iguales esto no es posible para todos los casos.

Dentro de las ayudas de montaje hay además videos explicativos para aquellas ayudas que no sean suficientes con imágenes para su completa explicación.

### **Control**

Uno de los principales problemas de uso surgidos tiene su raíz en una incorrecta programación del sistema. Esto producía fallos durante el uso, como inconexiones y además hacía que el sistema se colgase, haciendo imposible cualquier intento de resetear la aplicación.

Como consecuencia de esto se produjo una pérdida de uso por parte de los operarios respecto de la situación inicial, poniendo en jaque todos los esfuerzos de implantación realizados.

No se puede cuantificar una mejora porcentual debida exclusivamente al Info Work Place por lo que el control era de utilización del sistema y no de resultados del mismo.

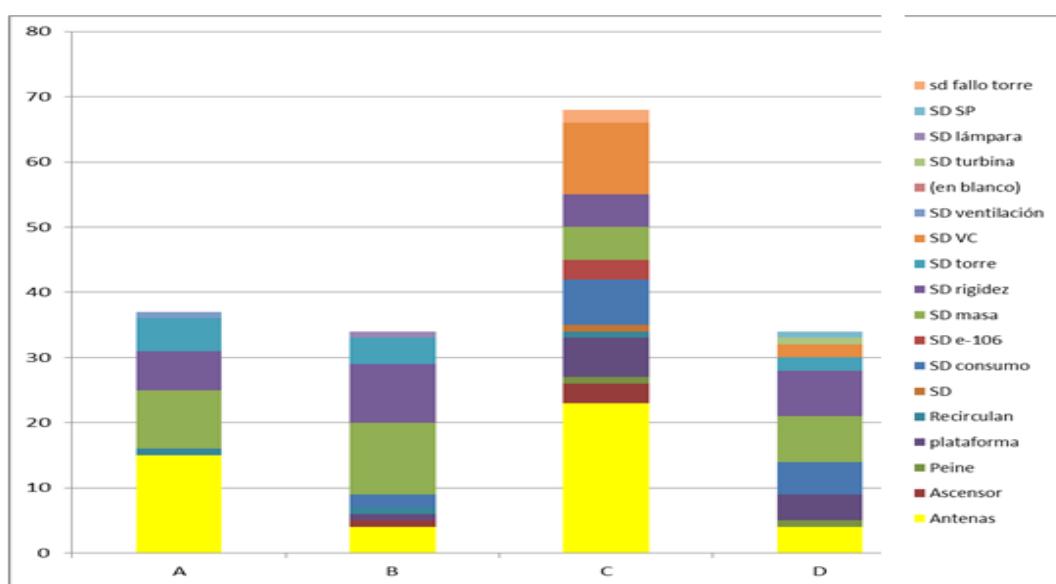
### 3.4.4 Puesto 11, ‘hornos sin defecto’

#### *Definición del problema*

Denominamos hornos sin defecto a todos aquellos que entran en la zona de reparación y no presentan defecto alguno.

#### *Medición*

Haciendo un desglose de los hornos sin defecto tomados durante un mes para los cuatro módulos de montaje (A, B, C, D), podemos agrupar los defectos de la siguiente manera:



Distribución de ‘sin defectos’ para los módulos de montaje A, B, C, D  
Figura 3.4.4.1

Se van a explicar los defectos más frecuentes así como su origen:

- *Masa*: aparece un falso defecto que indica que no hay conexión a tierra del horno.
- *VC*: error al enviar los datos de la medición.
- *Consumo erróneo*: la potencia que consume el horno es incorrecta, no está detectando correctamente alguna resistencia etc o se da un falso error de contacto.

Los dos defectos sobre los que se actuó en primer lugar son:

### **3.4.4.1 Rigidez eléctrica**

#### *Análisis*

En el momento de realización de la prueba de potencia del horno se encuentra que alguno de los componentes eléctricos están haciendo contacto entre ellos (se produce rigidez) y por tanto la prueba no puede seguir adelante.

Esto sucede por la suciedad acumulada en la zona de contacto entre el peine de entrada de corriente y la plataforma y el origen está claro por la forma en la que se realiza la prueba en reparación ya que aquí la corriente que entra al horno no lo hace a través de la plataforma sino que se conecta el cable del horno directamente a la corriente de red.

La raíz de este problema es la suciedad que se acumula en el tránsito de la plataforma del horno por las cadenas de montaje donde hay grasa y polvo. Además el peine es el mismo por módulo para todos los hornos, por lo que también sufre desgaste.

Se ha observado que determinadas plataformas por las dimensiones de la misma presentan cierta holgura en el sistema de centrado del horno previo a la realización de la prueba, lo que resulta en que estas plataformas identificadas originan el defecto de rigidez con mayor incidencia que el resto.

#### *Implementación*

Para solucionar este problema se lleva a cabo un mantenimiento preventivo de las plataformas. El resultado lo analizaremos conjuntamente con el resto de medidas tomadas para reducir los elementos sin defecto.

### **3.4.4.2 Antenas**

#### *Análisis*

Como se puede observar es el defecto con mayor impacto conjunto en los módulos. Cabe destacar que tiene una especial incidencia tanto en los módulos A como C, donde es el defecto más repetido.

Denominamos defecto por antenas a aquel defecto producido por un error de comunicación al enviar la información desde la torre de pruebas al dispositivo de control que está en la plataforma.

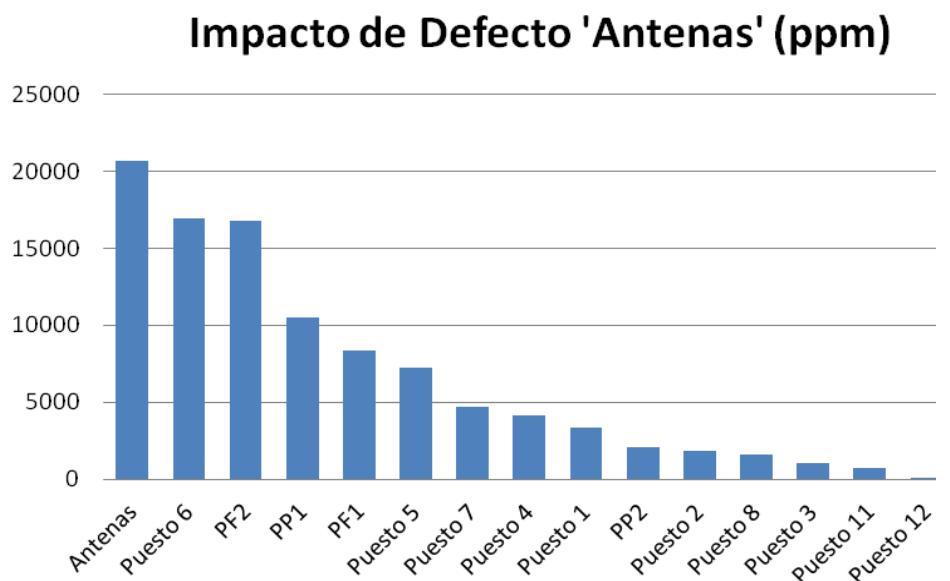
La causa de este problema no está clara, de hecho no se sabe con exactitud porqué sucede. Lo que sí que está claro y requiere un trabajo por parte del equipo de producción es el de establecer una manera de apuntar los defectos producidos en la fase de pruebas del horno de manera clara para poder atacarlos de manera diferenciada.

### **Implementación**

Sin embargo al realizar una comprobación en el módulo C por parte de la empresa encargada se puso en evidencia un error de código que mandaba a la zona de reparación hornos sin defecto por lo que permitió eliminar estos defectos debidos a antenas. La solución de este problema trae de la mano un aumento del FPY en un 1%.

### **Control**

El control de ambas medidas adoptadas, tanto la supervisión de plataformas como la subsanación de errores de programación con repercusión en los sistemas de prueba de las torres se realiza mediante la comprobación de la evolución de dichos fallos en la línea. Lo vemos en el siguiente gráfico de Pareto:



Representación impacto defecto ‘Antenas’ comparativamente a los puestos  
Figura 3.4.4.2.1

Como se puede ver, si se hace la comparación con los defectos que se dan en los diferentes puestos, solamente los defectos de antenas ya suponen más defectos que cualquier puesto por separado. Esta cifra es pues muy considerable, ya que supone un 21% de los fallos.

Este porcentaje resulta descabellado, ya que son hornos que se han fabricado correctamente, por lo que reduciendo o consiguiendo eliminar los problemas de antenas el FPY automáticamente experimentará una subida importante.

### **3.4.5 Puesto 4**

#### *Definición del problema*

Otro de los problemas con gran impacto en la cadena son las rayas que se producen en el frontal durante la circulación del horno desde que se ensambla éste.

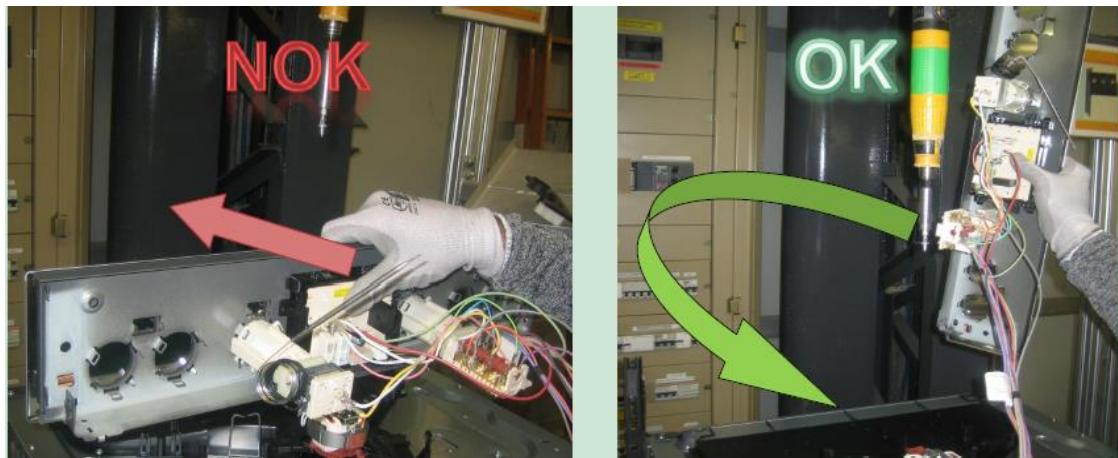
#### *Medición*

En un primer momento se realizó un estudio como en los casos anteriores, con la salvedad de que el origen en este caso no está tan claro como ha podido ser para otros. Esto se debe en parte a lo delicado de los mismos, que provoca que ciertas rayas se originen por el mero contacto con unos guantes sucios.

#### *Implantación*

La medida que se decidió adoptar es la elevación de los atornilladores automáticos en los puestos de montaje más críticos ya que se observó que al soltar dichos atornilladores en ocasiones estos golpeaban el frontal rayándolo.

Aunque se encuadre como puesto 4 la medida de elevar los atornilladores se realizó para todos los puestos de la cadena. Para ello se marcó el tensor (cable de recogida del automático) en su parte superior con una cinta roja a modo de indicador de la tensión de recogida necesaria para garantizar que en ningún caso se rayase el frontal.



Ayuda de montaje: colocación de frontal

Figura 3.4.5.1

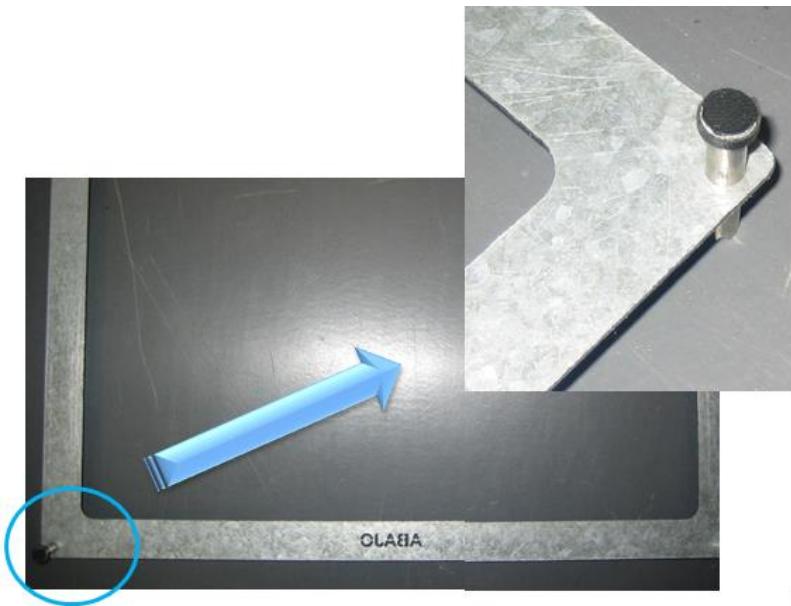
Para el caso del puesto 11 donde no hay un atornillador automático se modificó el hilo de masa, cable con el cual realizan las pruebas eléctricas.



Modificación de posición de hilo de masa

Figura 3.4.5.2

Para los hornos puerta carro en los que se monta la puerta con ayuda de un útil de centrado se forró éste ya que se vio que rayaba el frontal al sacarlo hacia la parte superior.



Útil de centrado de puerta forrado

Figura 3.4.5.3

### ***Control***

Como se ha dicho anteriormente el origen de las rayas no se debe en su totalidad a un factor definido, es decir, a lo largo de la cadena de montaje hay muchos elementos que pueden originar dichas rayas.

Por tanto el control se va a realizar sobre la altura de los elementos citados, tanto los atornilladores automáticos como los hilos de masa. En ambos casos los jefes de línea realizaran una inspección una vez a la semana ajustando aquellos que consideren necesario.

## 4. Análisis Económico

Este apartado se centra en cuantificar económicamente el impacto de las medidas adoptadas, tanto como un coste por el material utilizado como el ahorro debido a los cambios en la línea de montaje.

Para todos los casos se estima que la duración de la reparación tiene un promedio de 10 minutos, ya que además de la sustitución de la pieza defectuosa (de haberla) hay que realizar las pruebas eléctricas al horno de nuevo independientemente del origen del defecto.

Por confidencialidad con la empresa no se van a detallar los costes de las piezas reparadas así como la tasa de operario.

Para definir el número de defectos de cada tipo se utilizará la base de datos con la que se ha trabajado durante todo el proyecto y si la medida en cuestión se ha implantado en los cuatro módulos el ahorro se calcula para todos ellos.

Se va a estructurar el análisis según las diferentes medidas adoptadas:

### 4.1 Análisis económico de los defectos de conexiónado (de la ficha):

Partiendo de los datos de los meses en los que no estaba colocado el Poka-Yoke de conexiónado se tiene una media de 75 defectos por semana para los cuatro módulos.

En este caso sí que es necesaria la sustitución del reloj ya que al colocar la ficha de conexiónado al revés la corriente entra al reloj en sentido contrario cortocircuitando éste.

- Los costes derivados del cambio de reloj ascienden a 36000 € /año.
- Los costes de reparación suman 11520 €/año.

En este caso, el defecto se elimina por completo, es decir, todos estos costes se transforman en ahorro al haber introducido la mejora.

- Ahorro (recambios + reparación)= 47520 €/año.

#### **4.2 Análisis económico de los defectos por rayas en las manetas.**

En este caso, el ahorro no es completo puesto que aunque forrando los útiles se consiga una reducción considerable de la defectuosidad, ésta no es completa.

Como marco de referencia partimos de los datos iniciales de abril-mayo y los comparamos con los de octubre-noviembre.

Inicialmente se estimó una reducción de la defectuosidad de entorno al 50 % y como se puede observar en las sucesivas gráficas X1 y X2, inicialmente las manetas cambiadas por rayas en las mismas suponían un 41% de los defectos del puesto (para los modelos nostalgia citados), pasando a ser un 11% finalmente, por tanto la reducción es de un 75%.

Para el resto de modelos la reducción no es tan alta pero es un valor mejor que el esperado, siendo un 60%.

El impacto de éste defecto se pondera en 40 defectos a la semana y la solución se aplica a los cuatro módulos, por lo que los ahorros son para el conjunto.

- Los costes derivados del cambio de manetas con rayas ascienden a 5000 € /año.
- Los costes de reparación suman 6520 €/año.
- Ahorro (recambios + reparación)= [60% de los costes totales]= 6900 € /año.

#### **4.3 Análisis económico de los defectos por suciedad en el visor**

El ahorro tampoco es total ya que aunque se reduce el número de motas en el visor no se elimina el defecto por completo.

Se esperaba reducir en un 50% la defectuosidad con este origen pero finalmente ha sido un valor menor, alrededor del 30%.

Esto es debido a que los requisitos de limpieza son muy altos y conviene recordar que se trabaja en un entorno fabril por lo que no resulta sencillo. Además dicha suciedad tiene muchas causas y nuestras propuestas plantean soluciones para algunas de ellas, no todas.

Para solucionar este problema se instala un desionizador por módulo, lo que supone una inversión de:

- Total=  $4 \times 200\text{€} = 800\text{€}$

Además se colocan tapas en los porex de los relojes.

- El coste de 140 tapas es de 160€.

Este tipo de defecto no requiere del cambio de ninguna pieza pero sí una reparación. Se estima que la limpieza del visor por parte del reparador se realiza de media 70 veces a la semana para ambos turnos y los cuatro módulos.

Esto supone que los costes de reparación suman 10000 €/año.

- Ahorro (reparación)= [30% de los costes totales]=  $3000\text{ € /año}$ .
- Ahorro neto= Ahorro- Inversión  
 $= 3000-800-140= 2060\text{€.}$

#### **4.4 Análisis económico de los ‘sin defecto’**

Los denominados ‘sin defecto’ como se ha explicado tienen un origen variado. Para algunos de ellas la solución fue planteada desde el equipo de ingeniería y para otras (antenas) se realizó por parte de una empresa externa.

Se calcula que estos defectos se producen de media 125 veces a la semana y no es necesario cambiar ninguna pieza ya que son defectos inexistentes.

El horno aunque no tenga defecto debe de pasar las pruebas eléctricas por haber entrado a la zona de reparación y además los reparadores buscan un posible defecto y después registran en el programa SAP el defecto; de ahí que no se modifique el tiempo medio de reparación para este caso.

Si bien el defecto de antenas se eliminó completamente y se ha conseguido reducir el número de defectos que se producen por rigidez en la plataforma sigue habiendo un goteo de defectos de éste tipo por lo que la solución no ha sido completa. En su conjunto tenemos que se reducen en un 25% los defectos de éste tipo (100% de reducción las antenas (para los módulos C y D, 65% los defectos de rigidez, pero no se reducen otros orígenes ni estos defectos para otros módulos).

- Los costes anuales originados por los ‘sin defecto’ suman 17500 €/ año.
- Reducimos en un 15% los defectos, por lo que ahorramos: 4375 €/año.

#### **4.5 Análisis económico de los defectos por rayas en el frontal**

Inicialmente el objetivo planteado era de un 50%. Tras implantar las ayudas de montaje explicando el modo con el que debían de ser colocados los frontales, forrar los postes del módulo y los útiles se tiene que la reducción ha sido de un 20%.

Esta diferencia respecto del valor objetivo se debe a la amplitud de causas que se pueden dar para la aparición de rayas en el frontal.

- Los costes debidos al cambio del frontal ascienden a 9000 € /año.
- Los costes de reparación suman 11520 €/año.
- Ahorro (recambios + reparación)= [20% de los costes totales]= 4104 € /año.

#### **4.6 Ahorro total**

Para calcular el ahorro total se va a computar las horas de trabajo del personal en colaboración con la mejora del FPY y los materiales utilizados (elementos cambiados, protectores, etc.)

- Gastos de personal= 11000€

Estos gastos se desglosan en la remuneración de la persona encargada de los subproyectos, subcontratas a empresas externas, etc...

- Gastos de material= 3000€

Destacar la instalación de los monitores Info Work Place, aunque se recoge como inversión, por lo que el dinero se recupera. Además debemos incluir los gastos en materiales, etc.

$$\text{Ahorro neto} = \sum \text{Ahorro de cada mejora} - \sum \text{Gastos}$$

$$= 65900\text{€} - 14840\text{€}=$$

$$= 51060\text{€}$$

## 5. Conclusiones

A modo de resumen se puede concluir que se afrontaron los principales problemas obtenidos del análisis inicial del módulo después del cambio de layout solucionando la mayor parte de ellos.

El resultado es visible, un aumento del FPY en los módulos de montaje en los que se ha realizado el trabajo. En el caso del módulo D esta mejoría es de un First Pass Yield inicial del 85% inicial a un 94% final, lo que hace que el módulo D pase de ser el módulo con más hornos reparados al turno al módulo líder en cuanto a eficiencia de reparación se refiere. En el módulo C se ha conseguido pasar de un 90% inicial a un 94%.

Esto hace que los dos módulos en principio más conflictivos por las características de los hornos que en ellos se montan sean sin embargo los que menos trabajo dan a sus trabajadores.

Si bien uno de los motivos de éxito es el hecho de tener un recurso específicamente centrado en dicho módulo, el hecho es que un grupo de trabajadores concienciados y voluntariosos, sumado a una ayuda externa hace que los resultados sean visibles y esto es porque el objetivo de mejora no fue una imposición estricta sino que se consiguió fruto de la colaboración y compañerismo.

A destacar la colaboración de los operarios de línea que en todo momento cooperaron con los procedimientos a medida que se iban implantando y además daban su visión de la misma por si se podían corregir ciertos detalles.

Un ejemplo claro de esto fue la ayuda de los jefes de línea y reparadores que debido a su conocimiento del proceso y del producto aportaban una visión experimentada lo que en muchos casos permitía abordar el problema con un prisma óptimo.

Así, las ayudas de montaje se elaboraron en estrecha colaboración con dichos operarios que al conocer los ‘trucos’ para cada modelo de horno permiten establecer unas pautas de montaje de tal manera que el trabajador del puesto pueda realizar la operación crítica en menor tiempo y con pleno éxito.

Estas ayudas de montaje se informatizaron y se proyectaban en los monitores del módulo D en el llamado Info Work Place. Esta herramienta se encontraba en su fase de inicio y su potencial es enorme. El trabajo realizado con ella es una unión de las operaciones de montaje más críticas en función del modelo de horno que se esté montando. Además se muestran las hojas de montaje lo que facilita el trabajo al operario.

La aceptación fue muy buena pero problemas con la aplicación hacían que las pantallas se quedasen colgadas y propició que en muchos casos por lo común de la avería se perdiese interés por las mismas. Una vez solucionado el problema el funcionamiento con este sistema fue perfecto.

Dentro del apartado de ayudas de montaje se incluyen los Poka-Yokes, que son los también llamados pasa – no pasa al ser elementos que solo permiten el ensamblaje en un sentido.

Este sistema se aplicó al conexionado, intentando reducir el número de defectos debida al origen humano. Para ello se dividieron los hornos en grupos con conmutador y con plantilla de conexionado común, es decir, con el mismo paquete de cables y conexionados en las mismas posiciones.

Una vez agrupados se vieron 9 grupos distintos y se abordó la solución de los de mayor producción. La solución del conexionado no es total, afecta a las conexiones agrupadas en fichas que han de ser puestas en una determinada posición.

Para eliminar la posibilidad de error y por tanto conseguir la correcta posición de la misma el 100% de los casos, se diseñaron unas plantillas de aluminio cuya forma impide la incorrecta colocación.

Con la implantación de estas plantillas no solo se consiguió eliminar el gasto por reparación de los hornos sino que se ahorra además el coste del reloj ya que el conectar la ficha al revés produce un cortocircuito en el mismo que hace que se funda.

Desde la perspectiva de costes podemos decir que el número de reparaciones por reloj cortocircuitado a la semana era de 75 de media, con un precio de unos 10 euros el

reloj, lo que produce un ahorro solamente en chatarras 750 euros semanales, a lo que habría que sumar el debido al tiempo ahorrado en reparar esos hornos.

En cuanto a las medidas tomadas para reducir la suciedad se realizaron dos medidas principalmente:

- La colocación de las tapas inicialmente no tuvo éxito, la mayoría se perdían o no eran colocadas correctamente por lo que las cajas de relojes seguían acumulando polvo. De las 70 tapas inicialmente compradas al mes de introducirlas en los módulos quedan 26, por lo que se evidenció la necesidad de robustecer el procedimiento para no perderlas.

Vista la evolución se realizó otro pedido de 70 tapas. Además se estableció un procedimiento de almacenar las tapas con las cajas con picos de relojes que se devolvían a almacén y mediante carteles en los trenes de suministro se indicaba a que almacén debían devolverse las tapas, concretamente al almacén sur. La mejoría debida estrictamente a las tapas no es cuantificable al 100 % pero combinada con la incorporación de ventiladores antiestáticos mejoró la suciedad en el reloj del horno.

- Con la instalación de ventiladores antiestáticos en los puestos de montaje de los mandos del horno así como con las pistolas sopadoras se consiguió reducir la suciedad en los mismos en un 50 %, cumpliendo el objetivo marcado.

El tema estético también debemos desglosarlo:

- Frontales con rayas: se evidenció que estas se producían durante el ensamblaje del mismo. Al rozar con los apoyos laterales en él se producía la raya que obligaba a su reparación. También se vieron elementos en la línea que originaban estas rayas, como la altura de los destornilladores verticales o la colocación de los útiles de centrado en el interior del horno. Se subieron los destornilladores y se estableció un procedimiento de montaje del útil reduciendo los defectos con este origen.

- Rayas en los tiradores de las puertas: éste problema estaba claramente localizado para algunas familias de hornos, no para todos. El principal problema se daba en los hornos de la familia Nostalgia con los tiradores dorados y en los tiradores pintados. Se forraron los útiles con un material de goma para todos los hornos y en el caso de los hornos Nostalgia se ajustaron los útiles para el montaje de estos con el plástico original de embalaje por lo delicados de los mismos. La mejoría inicial planteada del 50% se cumplió como muestran los resultados, si bien los problemas que siguen existiendo son en su mayoría por el tema de manejo de material en almacén y embalaje del producto, no tienen su origen en la línea y por tanto las acciones deben encaminarse en otra dirección.

Otro de los elementos que después de los meses de estancia tuvo una evolución favorable fueron los denominados ‘sin defecto’. Parte de estos defectos se denominaban de esta manera porque los reparadores no tenían una estructura común con la que denominar a los defectos y lo que ocurría es que los llamaban así. Tras establecer denominaciones comunes estos defectos quedaron mejor definidos.

En el apartado de los denominados sin defecto se encuadra toda la problemática del sistema de pruebas del horno. En este sistema de pruebas había problemas en todos los elementos intervinientes, la plataforma a la que se conecta el horno, el ‘peine’ que suministra la electricidad a la plataforma al conectarse a ella y por último en el sistema de almacenaje de información del horno, un dispositivo que almacena el resultado de la prueba de potencia y continuidad y determina si el horno es Ok o tiene que ser reparado.

Para subsanar los problemas de plataformas se establece un mantenimiento preventivo que limpia los contactores eléctricos.

En cuanto al peine se elabora un nuevo prototipo para mejorar el contacto entre la plataforma y así asegurar corriente en el horno durante la prueba.

El principal problema solucionado fue el código del problema de lectura de la información de las plataformas. Este tema está al cargo de una empresa externa y se vio que por un error entraban hornos a reparar siendo que eran hornos buenos. Una vez reparado este defecto el FPY del módulo experimenta un incremento del 1%

## GLOSARIO

A continuación se van a explicar una serie de términos que van a repetirse a lo largo del proyecto.

**FPY:** First Pass Yield, indicador de calidad

**OEE:** Overall Equipment Effectiveness

**Maneta:** tirador de la puerta del horno



**Frontal:** Panel de mandos del horno con reloj y botones.



**Ppm:** partes por millón

**Dotación:** elementos auxiliares del horno tales como bandejas, manual... que se envían al usuario embalados.

**Cavidad:** espacio interior del horno que se cierra con la puerta.

**Envolvente:** carcasa de chapa superior del horno

**Gradas:** soportes interiores laterales de las bandejas

**Turbina:** accionamiento motor del ventilador.

**Visor:** pantalla en la que se visualiza el reloj/ comandos del horno

**Porex:** embalaje en el que se almacenan y transportan los relojes

**Equilibrados:** Cada una de las hojas de instrucciones para los diferentes puestos de montaje

**Tensor:** sistema de retroceso de herramienta mediante accionamiento por muelle.

**Automático:** atornillador de funcionamiento por aire comprimido.

**Racks:** Estanterías modulares con sistema de deslizamiento en sus baldas facilitando el proceso de carga/ descarga.

**Hilo de masa:** útil de prueba de características eléctricas del horno (prueba de rigidez, de continuidad a tierra...)

**IWP:** Info Work Place

## BIBLIOGRAFÍA

### **1. Implementing Six Sigma,**

Mark George, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1999

### **2. Seis Sigma**

Fermín Gómez Fraile, José Francisco Vilar Barrio, Miguel Tejero Monzón. Madrid: Fundación Confemetal, D.L. 2002.

### **3. Six-Sigma Methodology applied to industrial process;**

Robertson David & Smith Hanniel, 2001;

<http://www.industrialprocess.service.usa.com>

### **4. Quality Management for industrial process;**

Andrew Charles, Jackson Steve, & Kittman Lawrence, 2001;

<http://www.qualitymanagement.usa.edu>

### **5. Producción: conceptos, análisis y control**

Richard J. Hopeman; traducción de la segunda ed. en inglés [por Alfonso Vasseur Walls] España; México [etc.]: Compañía Editorial Continental, 1973.

### **6. Calidad: qué es, cómo hacerla**

José Luis Cela Trulock.; Barcelona: Gestión 2000, 1996.

### **7. Calidad: definirla, medirla y gestionarla**

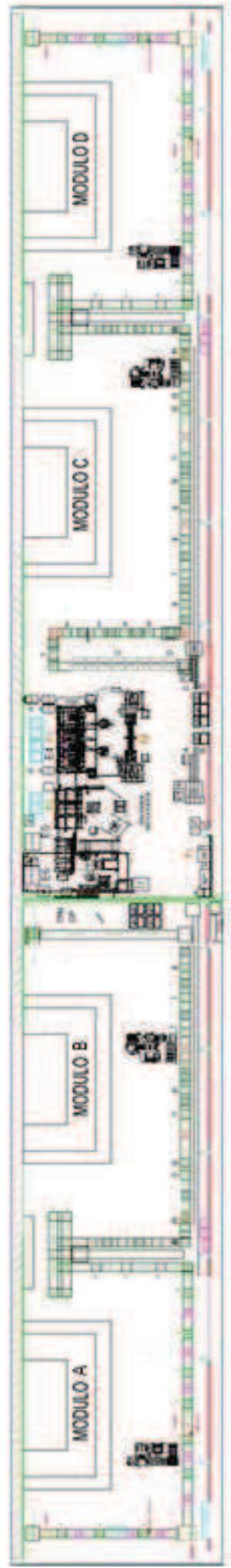
J. Ribera, M.A. Rodríguez-Badal, J.B. Roure.; Barcelona: Folio, 1997.

# **ANEXOS**



# Anexo I

# Anexo I



Vista de los módulos de montaje  
Figura 1.3.1

## Anexo II

## METODOLOGÍA SIX-SIGMA: CALIDAD INDUSTRIAL.

Ing. Gustavo López<sup>1</sup>

Investigador del Instituto de Ingeniería-UABC; [glopez@iing.mx.uabc.mx](mailto:glopez@iing.mx.uabc.mx)

La elaboración de los productos en el área industrial involucra principalmente tres etapas: la entrada (personal, material, equipo, políticas, procedimientos, métodos y el medio ambiente), realización del producto o servicio (proceso) y la salida (brindar un servicio y/o elaboración de un producto). En dichas etapas se comenten errores que afectan la calidad del producto y/o servicio. Todos los días un defecto es creado durante un proceso (etapa), esto toma un tiempo adicional para la prueba, análisis y reparación. Estas actividades no adicionales requieren espacio, equipo, materiales y gente. Existen metodologías que ayudan a la prevención de errores en los procesos industriales, siendo una de ellas la Six-Sigma ( $6\sigma$ ), que es una metodología de calidad de clase mundial (iniciada por Motorola en 1986<sup>1</sup>) aplicada para ofrecer un mejor producto o servicio, más rápido y al costo más bajo. La Sigma ( $\sigma$ ) es una letra tomada del alfabeto griego utilizado en estadística como una medida de variación<sup>2</sup>. La metodología  $6\sigma$  se basa en la curva de la distribución normal (para conocer el nivel de variación de cualquier actividad), que consiste en elaborar una serie de pasos para el control de calidad y optimización de procesos industriales. En los procesos industriales se presenta el costo de baja calidad, ocasionado por:

- a) **Fallas internas**, de los productos defectuosos; retrabajo y problemas en el control de materiales.
- b) **Fallas externas**, de productos regresados; garantías y penalizaciones.

- c) **Evaluaciones del producto**, debido a inspección del proceso y producto; utilización, mantenimiento y calibración de equipos de medición de los procesos y productos; auditorías de calidad y soporte de laboratorios.
- d) **Prevención de fallas**, debido al diseño del producto, pruebas de campo, capacitación a trabajadores y mejora de la calidad.

Debido a esto, se decide aplicar la metodología 6σ en los procesos industriales para prevenir el costo de baja calidad y con ello tener procesos, productos y servicios eficientes<sup>3</sup>. Al aplicar la Six-Sigma en el análisis de procesos industriales se pueden detectar rápidamente problemas en producción como cuellos de botella, productos defectuosos, pérdidas de tiempo y etapas críticas, es por esto que es de gran importancia esta metodología. A nivel mundial, la mayoría de los países industrializados aplican la metodología Six-Sigma, entre ellos está México que cuenta con una gran cantidad de empresas extranjeras y nacionales principalmente en la frontera con los Estados Unidos. En el estado de Baja California están instaladas algunas compañías (principalmente de productos electrónicos), que aplican la metodología Six-Sigma y los resultados indican avances en la calidad de los procesos. Las dos ciudades principales del estado son Mexicali y Tijuana, en donde en Mexicali se tienen cerca de 182 industrias maquiladoras (AMAQ,1999)<sup>4</sup>. Las visitas elaboradas a las empresas dan a conocer que la calidad de los productos y servicios después de haber aplicado la metodología, es mucho mejor que antes de aplicarla, es por eso que las empresas que utilizan la Six-Sigma, son parte de las empresas reconocidas por su calidad de productos y servicios y las que no la aplican están en proceso de utilizarla.

Un estudio elaborado en 1997 demostró que las mejores compañías en su clase tienen los niveles de calidad 6σ. Una compañía que no utiliza la metodología 6σ, gasta en promedio 10% de sus ganancias en reparaciones externas e internas, en cambio una compañía que aplica la metodología gasta en promedio 1% de sus ganancias en reparaciones externas e internas<sup>3</sup>. Para alcanzar Six-Sigma, se deben utilizar ciertos parámetros (control de calidad total, cero defectos, procedimientos de ISO-9000 (procedimientos a nivel mundial de calidad del producto, control estadístico de procesos y técnicas estadísticas)). La metodología del Six-Sigma permite hacer comparaciones entre negocios, productos, procesos y servicios similares o distintos. Proporciona herramientas para conocer el nivel de calidad de la empresa y al mismo tiempo provee dirección con respecto a los objetivos de crecimiento de la empresa.

La misión del 6σ es proporcionar la información adecuada para ayudar a la implementación de la máxima calidad del producto o servicio en cualquier actividad, así como crear la confianza y comunicación entre todos los participantes, debido a que la actividad del negocio parte de la información, las ideas y la experiencia; y esto ayuda a elevar la calidad y el manejo administrativo. El Six-Sigma es un programa que se define en dos niveles: operacional y gerencial. En el nivel operacional se utilizan herramientas estadísticas para elaborar la medición de variables de los procesos industriales con el fin de detectar los defectos (el 6σ tiene un rango de 3.4 defectos por cada millón. El nivel gerencial analiza los procesos utilizados por los empleados para aumentar la calidad de los productos, procesos y servicios.

## **COMPONENTES BÁSICOS PARA EL PROGRAMA DE CALIDAD SIX-SIGMA.**

El proceso de la mejora del programa Six sigma, se elabora en base a una serie de pasos que se muestran a continuación:

1. Definir el producto y servicio.
2. Identificar los requisitos de los clientes.
3. Comparar los requisitos con los productos.
4. Describir el proceso.
5. Implementar el proceso.
6. Medir la calidad y producto.

Las medidas de calidad deben contener las siguientes características:

1. Los procesos de producción pueden utilizar el error de tolerancia.
2. Detectar los defectos por unidad (DPU).

## **HERRAMIENTAS DE MEJORA DE CALIDAD.**

La metodología 6σ. utiliza herramientas estadísticas para mejorar la calidad. Estas herramientas son para conocer los problemas en el área de producción y saber el porque de los defectos. Las principales herramientas que se utilizan en el Six-Sigma son:

- a) **Diagrama de Flujo de Procesos;** con el cual se conocen las etapas del proceso por medio de una secuencia de pasos, así como las etapas críticas (fig. 1).
- b) **Diagrama de Causa-Efecto;** es utilizado como lluvia de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas en el proceso (fig. 2).
- c) **Diagrama de Pareto;** se aplica para identificar las causas principales de los problemas en proceso de mayor a menor y con ello reducir o eliminar de una en una (empezando con la mayor y despues con las posteriores o con la que sea mas accesible) (fig.3).
- d) **Histograma;** con el cual se observan los datos (defectos y fallas) y se agrupan en forma gausiana contenido los límites inferior y superior y una tendencia central (fig. 4).
- e) **Gráfica de Corrida;** es utilizada para representar datos gráficamente con respecto a un tiempo; para detectar cambios significativos en el proceso (fig. 5).
- f) **Gráfica de control;** se aplica para mantener el proceso de acuerdo a un valor medio y los límites superior e inferior (fig. 6).
- g) **Diagrama de Dispersion;** con el cual se pueden relacionar dos variables y obtener un estimado usual del coeficiente de correlación (fig. 7).
- h) **Modelo de Regresión;** es utilizado para generar un modelo de relación entre una respuesta y una variable de entrada (fig. 8).

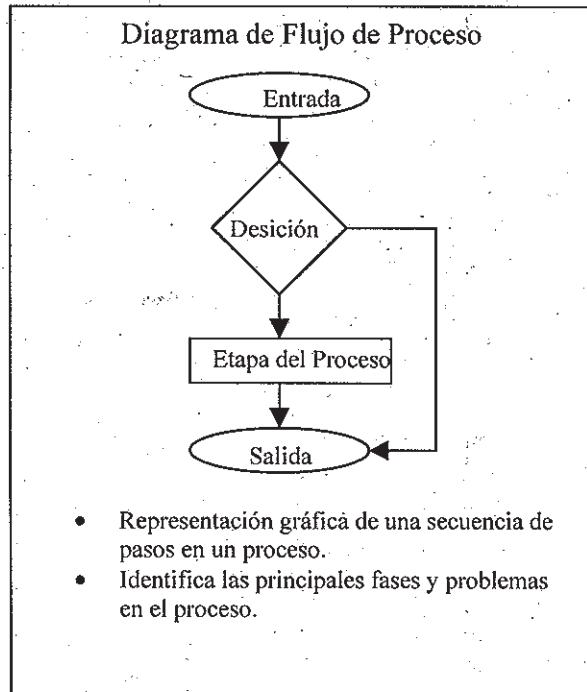


Figura 1. Diagrama de Flujo de Procesos.

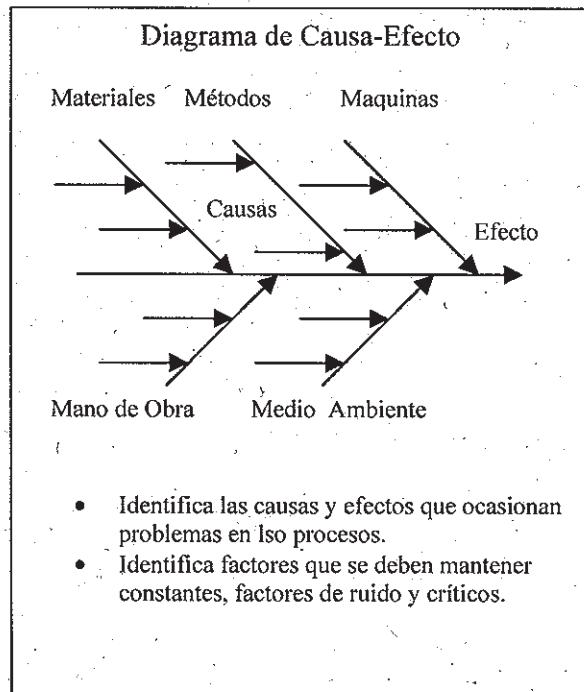
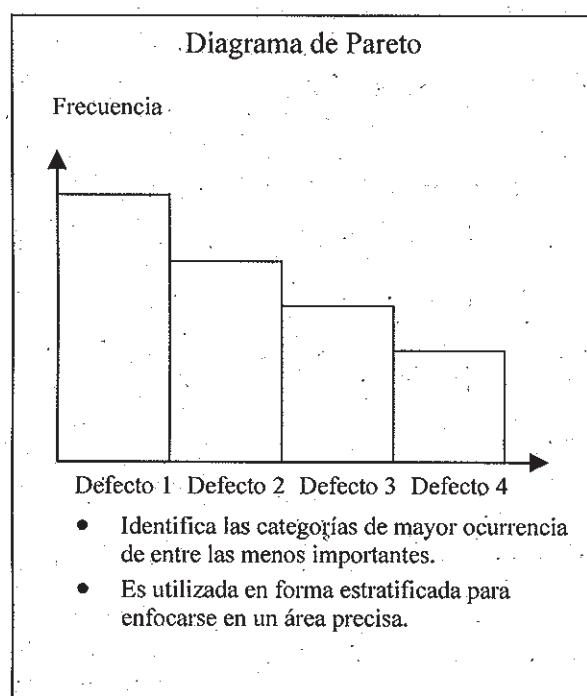


Figura 2. Diagrama de Causa-Efecto



**Figura 3.** Diagrama de Pareto.

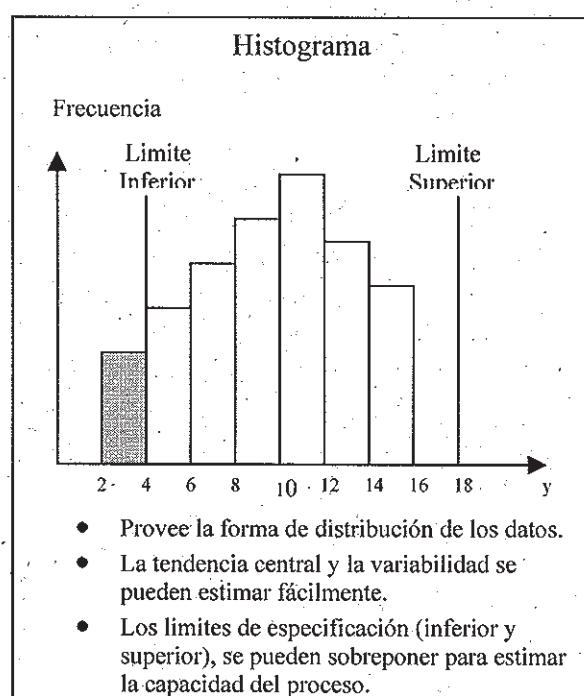


Figura 4. Histograma.

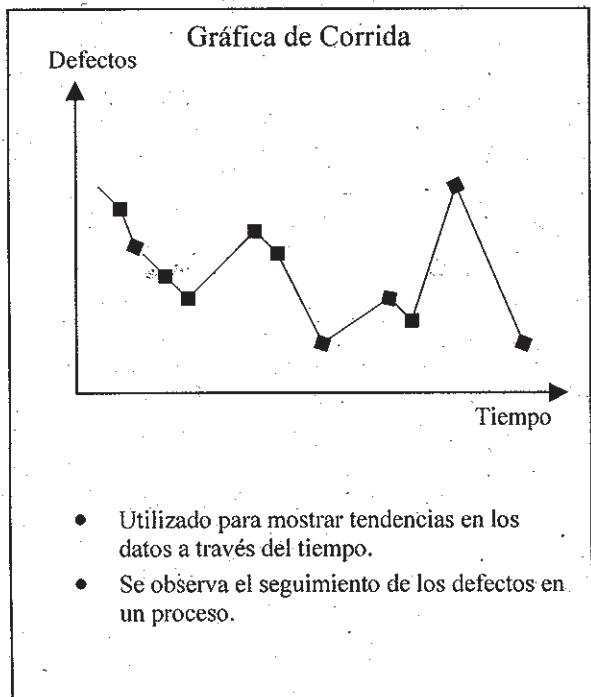


Figura 5. Gráfica de Corrida.

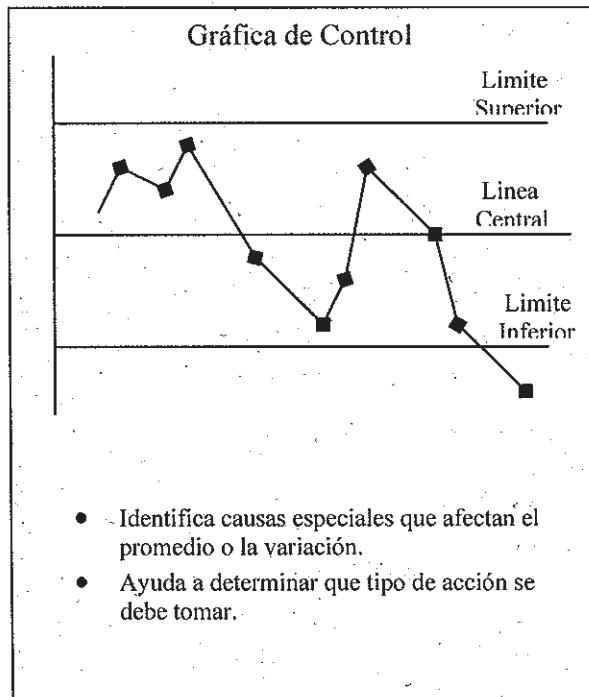


Figura 6. Gráfica de Control.

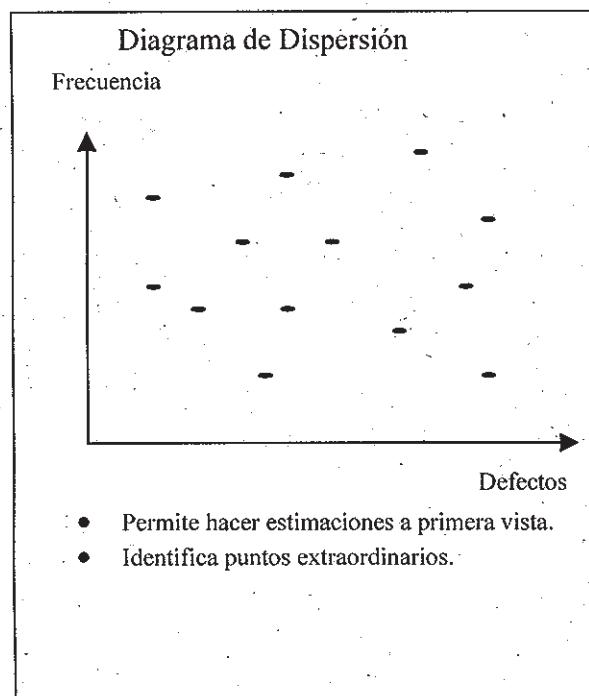


Figura 7. Diagrama de Dispersión.  
7

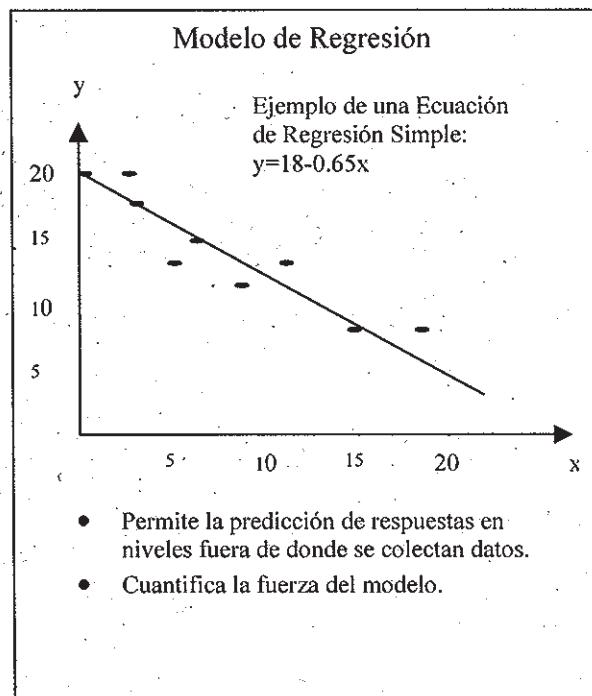


Figura 8. Modelo de Regresión.  
neoediciones IP&A - <http://www.mercadeo.com>

## GRAFICA DE SIX SIGMA( $\sigma$ )

La grafica de Six-Sigma es utilizada para demostrar el nivel de defectos registrados durante el proceso de variación y la media que se obtiene. En la gráfica se muestra que el proceso de variación está situado en el lugar de la media, siendo el lugar donde el proceso estará cambiando en pequeña escala. El objetivo del  $6\sigma$  es obtener la menor cantidad de defectos (3.4 partes por millón), esto es, casi es cero defectos. La media es el indicador que permite conocer el punto central del proceso de variación, que indica que en cero variación no se presenta alguna alteración del proceso. Este es el proceso que representa la calidad de cualquier actividad a realizar.

Los niveles de mejora del Six-Sigma, indican el porcentaje de error de un proceso. Los procesos son evaluados en base a criterios que se representan en niveles (Six-Sigma: desde el nivel  $1\sigma$  al nivel  $6\sigma$  ), obteniéndose la distribución de datos y los porcentajes de error en la gráfica (figura 9). La mayor parte de los criterios de evaluación están estandarizados internacionalmente, sólo algunos se pueden modificar de acuerdo a la relación proveedor-cliente. El área bajo la curva indica los niveles y valores, con porcentajes de confiabilidad diferentes, que van desde 68.27 % (nivel 1) hasta 99.999943% (nivel 6). El área bajo la curva comprende el valor de la media de los datos y las desviaciones hacia la izquierda y derecha que dependen del nivel de confiabilidad (procesos de variación), donde están distribuidos los datos. Los niveles Six-Sigma están ubicados en

la parte derecha e izquierda de la media, indicando el rango de distribución de los datos y se analizan ambos lados de la gráfica.

La representación gráfica de la distribución normal de los datos es analizada y en base a ella se obtienen los resultados del proceso y tomar las decisiones adecuadas para las mejoras y contramejoras de dichos procesos.

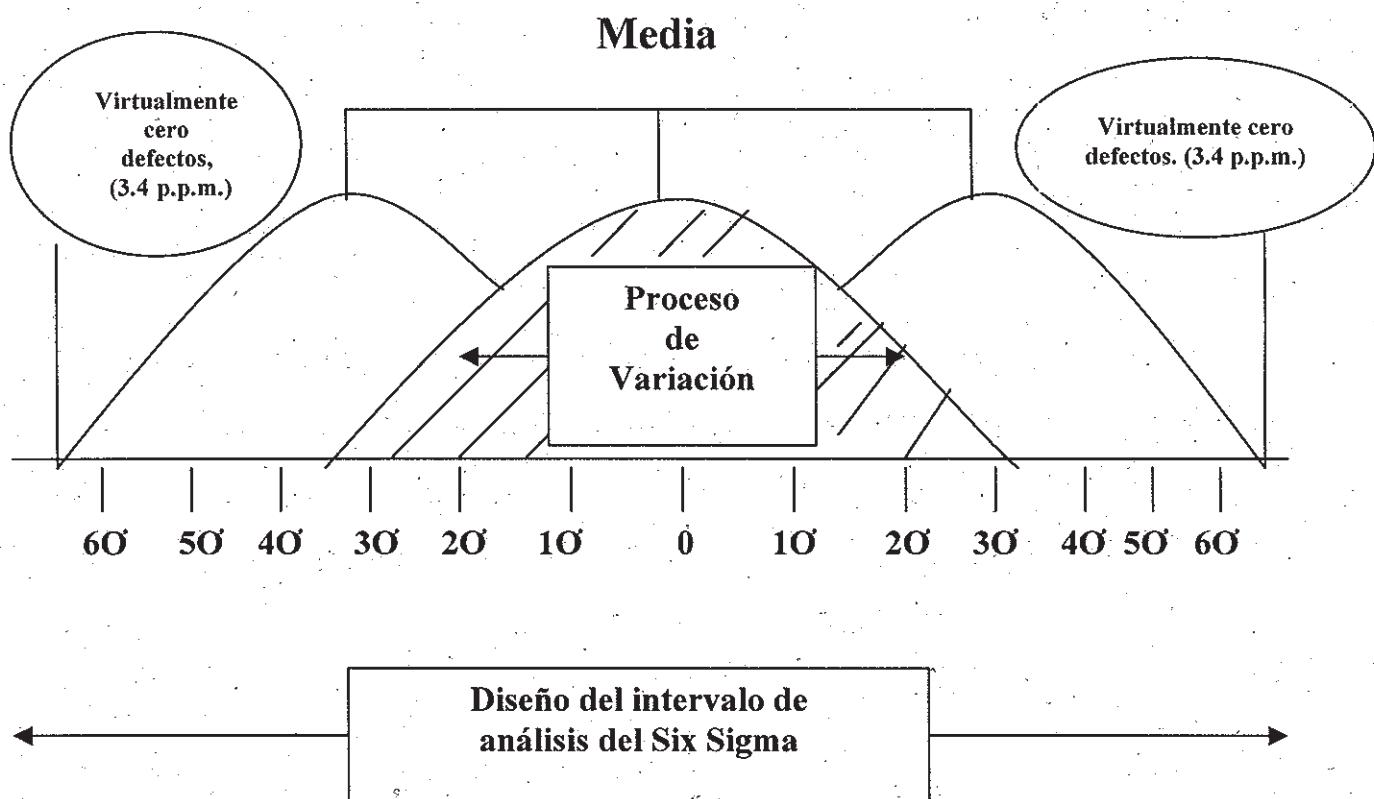


Figura 9. Representación gráfica de los niveles de la mejora Six-Sigma.

## **ESTRATEGÍA DE MEJORA.**

El programa de mejora es una etapa importante en la elaboración de un producto que permite obtener buena calidad. Este proceso se divide en cuatro etapas<sup>5</sup>:

**Etapa 1 (Medición).** Consiste en seleccionar una o más características del producto: como lo son las variables dependientes que identifican el proceso, tomar las medidas necesarias y registrar los resultados del proceso en las "tarjetas de control", estimando el corto y largo plazo de la capacidad del proceso en la elaboración del producto.

**Etapa 2 (Análisis).** Implica la clave de la ejecución de las medidas del producto. Un análisis de intervalo es tomado por lo regular para identificar los factores comunes y exitosos de la ejecución: los cuales explican las mejores formas de aplicación. En algunos casos es necesario rediseñar el producto y/o el proceso, en base a los resultados del análisis.

**Etapa 3 (Mejora).** Se identifican las características del proceso que se puedan mejorar. Una vez realizado esto, las características son diagnosticadas para conocer si las mejoras en el proceso son relevantes.

**Etapa 4 (Control).** Nos ayuda a asegurar que las condiciones del nuevo proceso estén documentadas y monitoreadas de manera estadística con los métodos de control del proceso.

En la metodología Six-Sigma se realiza la capacitación del personal con el fin de obtener una buena calidad. El entrenamiento provee a los candidatos con el conocimiento y características para guiar y dirigir la implementación de la metodología Six Sigma en su empresa. Las dos semanas del ciclo de entrenamiento son completados con cinco días de instrucciones en el salón de clases, seguidos por 30 días de aplicación en el trabajo<sup>6</sup>. Las personas encargadas de poner en práctica el Six Sigma son clasificadas por su capacidad de analizar los procesos y se muestran a continuación:

**Líder (Champion):** Son líderes de la alta gerencia quienes sugieren y apoyan proyectos, ayudan a obtener recursos necesarios y eliminan los obstáculos que impiden el éxito del proyecto. Incluye participación en revisión y aseguran que se desarrolle la metodología Six Sigma.

**Maestro de Cinta Negra (Master Black Belt) :** Son expertos de tiempo completo, capacitados en las herramientas y tácticas de Six Sigma, son responsables del desarrollo e implantación de la estrategia de Six Sigma para el negocio.

**Cinta Negra (Black Belt):** Son líderes de equipos responsables de medir, analizar, mejorar y controlar procesos que afectan la satisfacción del cliente, la productividad y calidad, la duración de capacitación es aproximadamente seis semanas.

**Cinta Verde (Green Belt):** Son ayudantes de un cinta negra, su capacitación es de tres a cuatro semanas.

El departamento de Estadística de la Asociación de Maquiladoras en Mexicali<sup>4</sup>, menciona que algunas empresas, principalmente las de mayor tamaño y las más reconocidas, son las que utilizan esta metodología, sin tener algún listado de dichas empresas, debido a que son procesos internos, por lo cual se ha divulgado poca información. Se realizaron visitas a 20 empresas (Accuride, Aromat, Armomex, Ascotech, Calibaja, Central Video, Coca-Cola, Conexant, Controles de Mexicali, DOMEX(Daewoo-Orion-Mexicana), Empresas-BIMBO, Honeyweell-Allied Signal, Interiores Aereos, KENMEX (Kenworth Mexicana), KwaSung, LG-Electronics, Rockwell-EEMSA, Sony de Mexicali, Tecnomex y Wabash Technology).

De esas compañías, doce utilizan la metodología Six-Sigma: Accuride, Ascotech, Central Video, Coca-Cola, Conexant, Controles de Mexicali, Empresas-BIMBO, Honeyweell-Allied Signal, KENMEX (Kenworth Mexicana), Rockwell-EEMSA, Sony de Mexicali y Tecnomex), sin exceptuar algunas pequeñas y medianas empresas que comienzan a estudiar la metodología para aplicarla a los procesos industriales, con el fin de mejorar la calidad de sus productos. No se tiene una información detallada del total de empresas maquiladoras en Mexicali, debido a que las compañías consideran que es información confidencial<sup>7</sup>.

## CONCLUSIONES

La metodología Six-Sigma es aplicada a procesos industriales con el fin de obtener una buena calidad de los productos (bienes y servicios). La mayoría de las compañías a nivel mundial utilizan la metodología  $6\sigma$  elaborando inspecciones visuales y electrónicas y aplicando las herramientas estadísticas, con las cuales se puede observar el comportamiento de los procesos.

Una vez observado el comportamiento del proceso, se procede a reducir al máximo los defectos en los productos o servicios, y lograr la plena satisfacción del cliente. Las empresas japonesas son un ejemplo en donde se aplica el Six Sigma, debido a que en los procesos de producción utilizan el sistema vendedor-cliente, en cada etapa del proceso y cada etapa es responsable de su actividad y debe entregar el producto con buen calidad (sin defectos). La aplicación del Six-Sigma en B.C., ha generado un avance en los sistemas de calidad y por lo tanto en los productos. Las empresas que se visitaron ascedieron rápidamente a la aplicación de la metodología y los resultados se han reflejado en poco tiempo, de acuerdo a las capacidades de las empresas y del personal que labora en ellas.

# Anexo III

## Improving First Pass Yield and Reducing Defect Cost of Honing Machine Using Six Sigma Approach

Seema Banu<sup>1</sup>, M Rajesh<sup>2</sup>, G S Prakash<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*M Tech Student, Department of Industrial Engineering & Management  
M S Ramaiah Institute of Technology, Bangalore, Karnataka*

<sup>2</sup>*Department of Industrial Engineering & Management,  
M S Ramaiah Institute of Technology, Bangalore, Karnataka*

<sup>3</sup>*Department of Industrial Engineering & Management  
M S Ramaiah Institute of Technology, Bangalore, Karnataka*

### Abstract

Increasing competition in the market is forcing one to adapt six sigma approaches in the industries. This paper focuses on the use of Six Sigma approach to improve the First Pass yield (FPY) of honing machine. Six Sigma is a disciplined method of using extremely rigorous data gathering and statistical analysis to pinpoint sources of errors and ways of eliminating them. The main focus of this work is to reduce potential process variations and reach the six sigma quality level. FPY is an important manufacturing metric for measuring quality and production performance, which is given by

FPY =

$$\frac{\text{Units of products completed from process to specification with no rework}}{\text{Total units of products entering the process}}$$

Honing is an abrasive machining process that produces a precision surface on a work piece by scrubbing an abrasive stone against it along a controlled path. The problem faced by the organization is that the honing machine is producing large number of defects, thus leading to a FPY of 85%. DMAIC (Define Measure, Analyze, Improve, Control) based Six Sigma is used in the study to overcome this problem. After rigorous data collection, the Cp and Cpk

of honing machine was found to be 1 and 0.93 respectively. On analysis, the factors contributing to the problem were found to be first spindle dimension and bore rough, second spindle dimension and bore rough, pre-part bore rough and the frequency of tool change.

**Keyword:** Six Sigma, First Pass Yield, Design of Experiments, DMAIC

## Introduction

The Six Sigma's problem-solving methodology, DMAIC has been one of the several techniques used by industries to reduce defects and improve the quality of their products and services [1]. This work focuses to illustrate the application of Six Sigma and DMAIC to improve the first pass yield of honing machine and reduce the defect cost.

Over the last decade, the implementation of the Six Sigma approach to enhance customer satisfaction, to reduce performance variability, and to reduce significant savings to the bottom line of organizations has gained increased attention in numerous industries [2]. Six Sigma can also be applied in the fields that are not widely explored before for instance sustainability and product-service systems [3]. Six Sigma is a project-driven quality improvement approach, which addresses both process and product or service variation are strong factors affecting lead time, cost, yield, quality, and ultimately, the customer satisfaction [4].

## Literature Review

Ploytip Jirasukprasert, et al (2014) have conducted an application of DMAIC to reduce defects in a rubber gloves manufacturing process. The important factors contributing to this seems to be oven's temperature and conveyors speed.

In another study, B. Tiahiono, et al (2010) found that seven key findings and three issues that are important in a Six Sigma project.

Chao-Ton Su, et al (2012) identified several important factors affecting the bending strength of TFT-LCD's were determined and optimized.

## Objectives

1. To analyze the factors responsible for process variation and defects.
2. To reduce the internal defect level from 19556/ppm to 1000/ppm.
3. To eliminate lapping operation of rework component.
4. To enhance productivity of honing machine.

### **Research Methodology**

The paper follows Six Sigma based DMAIC methodology to analyze and find the factors affecting the FPY of the honing process as well as to find the cause of defects in Delivery Valve Body. In specific, primary data collection and analysis of factors are the techniques that are used to statistically determine if the key process variables (i.e. first spindle dimension and bore rough, second spindle dimension and bore rough and frequency of tool change) have any impact on the number of defects produced and also to improve the FPY of honing machine.

### **Define Phase**

The manufacturer has received many complaints about the leaking of oil through Delivery Valve which is considered as a defect. These Voice of Customers (VOC's) were converted to Voice of Engineering (VOE's). Also the Critical to Quality (CTQ) is increasing the FPY of honing process in order to reduce the defects. Cost reduction and quality is considered to be the business case of this work.

### **Measure Phase**

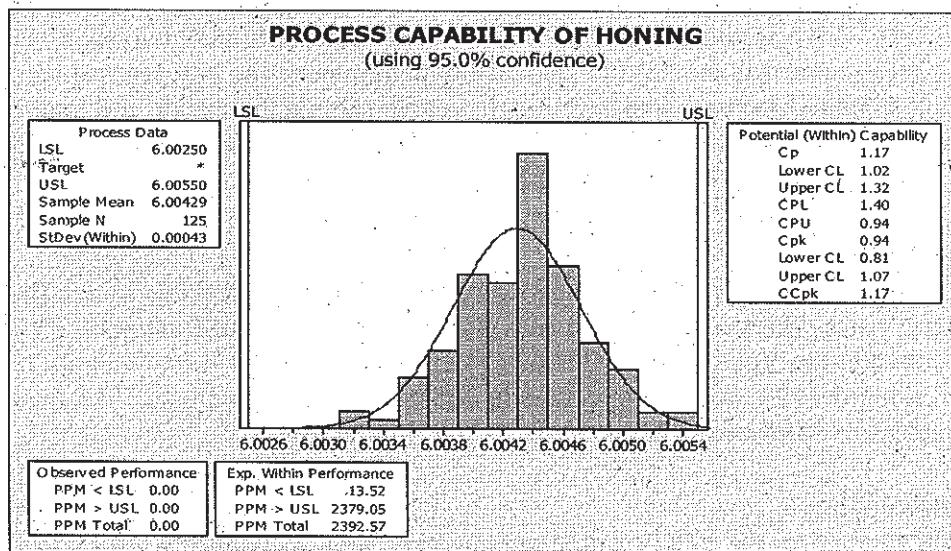
In order to confirm the VOC's of the organization, data was collected to measure the process capability of honing process and FPY which is the key performance indicator (KPI) of the organization. A gage R&R study was carried out to verify the measuring effectiveness of the ring gauge (the instrument used to measure the bore diameter) of the Delivery Valve body. The results showed that the existing measuring instrument gives accurate bore diameter values.

Random sample of sub group size 125 Delivery Valve bodies were collected over four days considering all the variability such as tool change or fixture change. This was continued for next two months. This data was collected to investigate the present process capability. The next set of data was collected to find out the present system's FPY and the average number of defects with a random sample of 200 Delivery Valve body over a period of time.

### **Analysis Phase and Findings**

Descriptive statistics, capability and Pareto analysis were used in order to analyze the data collected. The data collected was analyzed using Minitab software. The first set of data was analyzed for process capability and the fig 1 shows Cp and Cpk values of honing process.

The Cp and Cpk values were found to be 1.17 and 0.94. From the second set of data the average FPY was found to be 85%. The defect found was bore rough which was coming from the honing process. Using prioritization matrix and pareto analysis factors contributing to this were listed from which the following factors dimension and bore rough, second spindle dimension and bore rough and frequency of tool change were found to have high impact on the FPY of the honing process.

**Fig.1:** Process capability of Honing Process.

## Conclusion

The study was carried out to investigate the factors responsible for defects being produced and the process capability of the present system leading to the FPY. This study uses Six Sigma based DMAIC methodology in order to investigate the factors. The study include

1. First spindle dimension and bore rough
2. Second spindle dimension and bore rough and
3. Frequency of tool change

Further, work will be continued with the improve phase and control phase. It is proposed to use Design of Experiments with the above investigated factors at three levels, on optimizing will increase the process capability and the defects will be reduced to 1000/ppm. Reduction of defects enhances the FPY which ultimately reduces the use of lapping operation of rework components.

## References

- [1] Ploytip Jirasukprasert, Jose Arturo Garza-Reyes, Vikas Kumar, Ming K Lim, (2014) "A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process", International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 5 Iss: 1, pp.2-21.



## Anexo IV

## CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE POKA-YOKE.

### 4.1. ANTECEDENTES DEL POKA-YOKE.

Poka-Yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, significa "a prueba de errores". La idea principal es crear un proceso donde los errores sean imposible de realizarse.

La finalidad del Poka-Yoke es eliminar los defectos en un producto, ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible.

Un dispositivo Poka-Yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo. El sistema se sustenta bajo los métodos para prevenir errores humanos que se convierten en defectos del producto final.

El concepto es simple, si los errores no se permiten que se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el re-trabajo poco. Esto aumenta la satisfacción del cliente y disminuye los costos al mismo tiempo. El resultado, es de alto valor para el cliente. No solamente es el simple concepto, pero normalmente las herramientas y/o dispositivos son también simples.

Los sistemas Poka-Yoke implican el llevar a cabo el 100% de inspección, así como, retroalimentación y llevar acciones inmediatas cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia; el 100% de la inspección toma demasiado tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto.

La práctica del sistema Poka-Yoke se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera para enriquecer la calidad de sus productos previniendo errores en la línea de producción.

#### 4.2. RECOMENDACIONES DE SHINGO PARA APLICAR POKA-YOKE.

Shingo recomienda los puntos en la aplicación del Poka-Yoke:

1.- Control en el origen, cerca de la fuente del problema; por ejemplo, incorporando dispositivos monitores que adviertan los defectos de los materiales o las anormalidades del proceso.

2.- Establecimiento de mecanismos de control que ataquen diferentes problemas, de tal manera que el operador conozca con certeza qué problema debe eliminar y cómo hacerlo con una perturbación mínima al sistema de operación.

3.- Aplicar un enfoque de paso a paso con avances cortos, simplificando los sistemas de control sin perder de vista la factibilidad económica. Para usar el Poka-Yoke de manera efectiva, es necesario estudiar con gran detalle la eficiencia, las complicaciones tecnológicas, las habilidades disponibles y los métodos de trabajo.

4.- No debe retardarse la aplicación de mejoras a causa de un exceso de estudios. Aunque el objetivo principal de casi todos los fabricantes es la coincidencia entre los parámetros de diseño y los de producción, muchas de las ideas del Poka-Yoke pueden aplicarse tan pronto como se hayan definido los problemas con poco o ningún costo para la compañía. El Poka-Yoke enfatiza la cooperación Inter-departamental y es la principal arma

para las mejoras continuas, pues motiva las actividades de resolución continua de problemas.

#### 4.3. FUNCIONES DEL SISTEMA POKA-YOKE.

Un sistema Poka-Yoke posee dos funciones: una es la de hacer la inspección del 100% en las partes producidas, y la segunda es que al ocurrir anomalías pueden dar retroalimentación y acción correctiva. Los efectos del método en reducir defectos va a depender en el tipo de inspección que se esté llevando a cabo, ya sea en el inicio de la línea, auto-chequeo o chequeo continuo.

Los efectos de un sistema Poka-Yoke en la reducción de defectos varían dependiendo del tipo de inspección.

#### 4.4. TIPOS DE INSPECCIÓN.

Para tener éxito en la reducción de defectos dentro de las actividades de producción, debemos entender que estos son generados por el trabajo, y que toda inspección puede descubrirlos:

- ❖ Inspección de criterio
- ❖ Inspección informativa
- ❖ Inspección en la fuente

La inspección que nos interesa para éste proyecto es la inspección en la fuente.

#### 4.4.1. INSPECCIÓN EN LA FUENTE.

Error → Dispositivo a prueba de errores → Cero Defectos

- ❖ Utilizada en la etapa del error
- ❖ Se enfoca en prevenir que el error se convierta en defecto

La inspección en la fuente es utilizada para prevenir defectos, para su posterior eliminación. Este tipo de inspección está basada en el descubrimiento de errores y condiciones que aumentan los defectos. Se toman acciones en la etapa del error para prevenir que estos se conviertan en defectos, como resultado de la retroalimentación en la etapa del defecto. Si no es posible prevenir el error, entonces al menos se debe querer detectarlo.

Poder del sistema a prueba de errores:

- ❖ Un sistema a prueba de errores involucra retroalimentación inmediata y toma de acción tan pronto como el error o defecto ocurre.
- ❖ Involucra inspección al 100% e incorpora las funciones de una lista de verificación.
- ❖ Integra la inspección al proceso.
- ❖ El objetivo es recortar el ciclo enfocándose en la causa del error y desarrollando dispositivos que prevengan errores o al menos que detenga la ocurrencia de un error.
- ❖ El ciclo a prueba de error es comúnmente encontrado en segundos o fracciones de segundo.

La diferencia en el tiempo, ilustra el poder del sistema a prueba de error.

#### 4.5. DEFECTOS VS. ERRORES

El primer paso para lograr cero defectos es: distinguir entre errores y defectos.

##### *"DEFECTOS Y ERRORES NO SON LA MISMA COSA"*

- ❖ DEFECTOS son resultados.
- ❖ ERRORES son las causas de los resultados.

ERROR: Acto mediante el cual, debido a la falta de conocimiento, deficiencia o accidente, o desvió en alcanzar lo que se debe hacer:

- ❖ Un enfoque para atacar problemas de producción es analizar los defectos, primero identificar y clasificar en categorías, del más al menos importante,
- ❖ Lo siguiente será intentar determinar las causas de los errores que producen los defectos,
- ❖ El paso final es diseñar e implementar un dispositivo a prueba de errores o de detección de errores.

##### 4.5.1. CONDICIÓN PROPENSA AL ERROR.

Una condición propensa al error es aquella condición en el producto o proceso que contribuye o permite la ocurrencia de errores. Ejemplos típicos de condiciones propensas al error son:

- ❖ Ajustes
- ❖ Carencia de especificaciones adecuadas
- ❖ Complejidad
- ❖ Programación esporádica

- ❖ Procedimientos estándar de operación inadecuados
- ❖ Simetría/Asimetría
- ❖ Muy rápido/Muy lento
- ❖ Medio ambiente

#### 4.5.2. TIPOS DE ERRORES CAUSADOS POR EL FACTOR HUMANO EN LAS OPERACIONES.

A continuación se exponen los tipos de errores causados por:

1. Olvidar. El olvido de la persona.
2. Mal entendimiento. Un entendimiento incorrecto/inadecuado.
3. Identificación. Falta de identificación o inadecuada la que existe.
4. Principiante. Falta de experiencia de la persona.
5. Errores a propósito por ignorar reglas ó políticas. Causados a propósito por ignorancia de reglas o políticas.
6. Desapercibido. Causada por descuido, pasa por desapercibida alguna situación.
7. Lentitud. Por lentitud del individuo o algo relacionado con la operación o sistema.
8. Falta de estándares. Falta de documentación en procedimientos o estándares de operación(es) o sistema.
9. Sorpresas. Por falta de análisis de todas las posibles situaciones que pueden suceder y se de la sorpresa.
10. Intencionales. Por falta de conocimiento, capacitación y/o integración del individuo con la operación o sistema se dan causas intencionales.

#### 4.6. TIPOS DE SISTEMAS DE POKA-YOKE.

Los sistemas Poka-Yoke van estar en un tipo de categoría reguladora de funciones lo cual depende de su propósito, su función, o de acuerdo a las técnicas que se utilicen. Estas funciones reguladoras son con el propósito de poder tomar acciones correctivas de acuerdo a el tipo de error que se cometa.

En las funciones reguladoras Poka-Yoke, existen dos funciones para desarrollar sistemas Poka-Yoke:

- ❖ Métodos de Advertencia.
- ❖ Métodos de Control.

El que nos interesa para éste proyecto es el Método de Control.

#### 4.6.1 MÉTODOS DE CONTROL.

Existen métodos que cuando ocurren anomalías apagan las máquinas o bloquean los sistemas de operación previniendo que siga ocurriendo el mismo defecto. Estos tipos de métodos tienen una función reguladora mucho más fuerte, que los de tipo preventivo, y por lo tanto este tipo de sistemas de control ayuda a maximizar la eficiencia para alcanzar cero defectos.

No en todos los casos que se utilizan métodos de control es necesario apagar la máquina completamente, por ejemplo cuando son defectos aislados (no en serie) que se pueden corregir después, no es necesario apagar la maquinaria completamente, se puede diseñar un mecanismo que permita "marcar" la pieza defectuosa, para su fácil localización; y después corregirla, evitando así tener que detener por completo la máquina y continuar con el proceso.

#### 4.7. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS POKA-YOKE.

1. **Métodos de contacto.** Son métodos donde un dispositivo sensitivo detecta las anomalías en el acabado o las dimensiones de la pieza, donde puede o no haber contacto entre el dispositivo y el producto.
2. **Método de valor fijo.** Con este método, las anomalías son detectadas por medio de la inspección de un número específico de movimientos, en casos donde las operaciones deben de repetirse un número predeterminado de veces.
3. **Método del pasó-movimiento.** Estos son métodos en el cual las anomalías son detectadas inspeccionando los errores en movimientos estándares donde las operaciones

son realizadas con movimientos predeterminados. Este extremadamente efectivo método tiene un amplio rango de aplicación, y la posibilidad de su uso debe de considerarse siempre que se este planeando la implementación de un dispositivo Poka-Yoke.

#### 4.8. MEDIDORES UTILIZADOS EN SISTEMAS POKA-YOKE.

Los tipos de medidores pueden dividirse en tres grupos:

- ❖ Medidores de contacto,
- ❖ Medidores sin-contacto,
- ❖ Medidores de presión, temperatura, corriente eléctrica, vibración, número de ciclos, conteo, y transmisión de información.

Para éste proyecto nos avocaremos a los Medidores sin-contacto.

##### 4.8.1. MEDIDORES SIN CONTACTO.

Aunque hay varios tipos de sensores, para el proyecto el sensor más viable es el siguiente:

Sensores de proximidad: Estos sistemas responden al cambio en distancias desde objetos y los cambios en las líneas de fuerza magnética. Por esta razón deben de usarse en objetos que sean susceptibles al magnetismo.

RBC T3221

#### 4.9. CARACTERÍSTICAS DEL POKA-YOKE.

Un proceso que es flexible, fácil de manejar, y a prueba de errores es un sistema robusto. Un proceso debe ser efectivo, eficiente, y robusto si desea ser considerado de gran calidad. La clave para llegar a tener cero errores, es identificar la fuente del error, ver ¿qué lo ocasiona? y buscar una solución, al tener la solución hay que crear un dispositivo Poka-Yoke que nos permita no volver a cometer el mismo error.

Como se pudo observar en los ejemplos, los dispositivos pueden llegar a ser muy simples, no necesariamente tienen que ser complicados y costosos. El crear un sistema robusto es anticiparse a las posibles causas y situaciones que puedan generar algún tipo de problema; lo cual permitirá una fácil adaptación de un dispositivo Poka-Yoke.

Características principales de un buen sistema Poka-Yoke:

- ❖ Son sencillos.
- ❖ Son parte del proceso.
- ❖ Son puestos en el lugar donde ocurre el error.



## Anexo V

## PRINCIPIO DE PARETO

El Principio de Pareto dice que el 20% de una acción producirá el 80% de los efectos, mientras que el 80% restante sólo origina el 20% de los efectos. Para un reparto equitativo hay que conseguir minimizar el principio de Pareto, de forma que el reparto esté lo más alejado posible de una distribución de proporciones 80-20.

Una de las aplicaciones más conocidas es su uso para análisis de ventas o comercial. Las compañías que realizan un análisis de facturación respecto al número de clientes constatan que, aproximadamente, el 80% de la facturación depende del 20% de los clientes. Con esta información se puede decidir qué factores de la empresa son estratégicos (hay que cuidar) y cuáles tienen menor importancia.

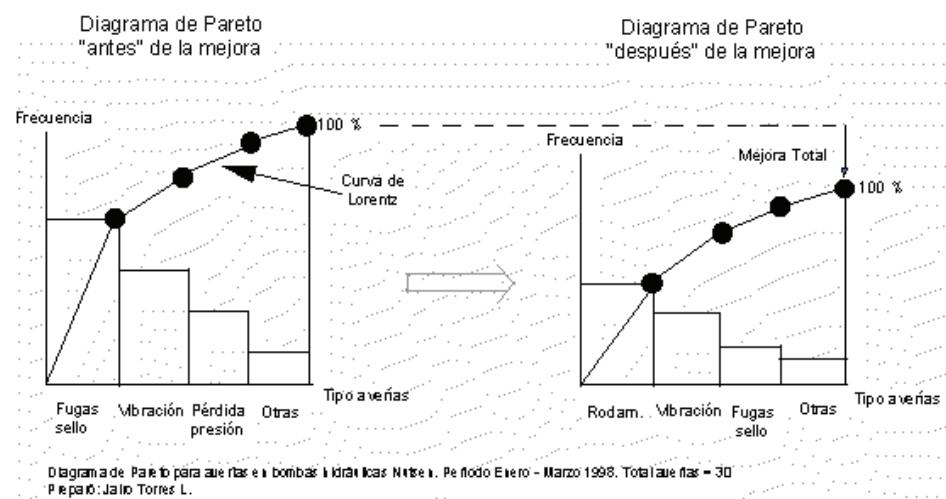
El principio de Pareto también se utiliza para analizar el surtido o gama de productos que vende una empresa comercial. El 80% de la facturación proviene del 20% del catálogo de productos. **En general, el principio de Pareto permite analizar una situación y facilitar la toma de decisiones estratégicas trabajando con datos reales.**

El principio de Pareto permite utilizar herramientas de gestión, como el Diagrama de Pareto, que se usa ampliamente en temas de control de calidad (el 80% de los defectos radican en el 20% de los procesos). El Diagrama de Pareto es una técnica gráfica que clasifica los elementos desde el más frecuente hasta el menos frecuente. Algunas de las aplicaciones de este diagrama son

- 1- Exhibir visualmente en orden de importancia, la contribución de cada elemento en el efecto total.
- 2- Clasificar las oportunidades de mejoramiento.

Así, de forma relativamente sencilla, aparecen los distintos elementos que participan en un fallo y se pueden identificar los problemas realmente relevantes, que acarrean el mayor porcentaje de errores.

Ejemplo de Diagrama de Pareto:



## DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

El diagrama causa-efecto es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Se conoce también como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado y se utiliza en las fases de Diagnóstico y Solución de la causa.

El diagrama causa-efecto es un vehículo para ordenar, de forma muy concentrada, todas las causas que supuestamente pueden contribuir a un determinado efecto. Nos permite, por tanto, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustitutivo de los datos. Es importante ser conscientes de que los diagramas de causa-efecto presentan y organizan teorías. Sólo cuando estas teorías son contrastadas con datos podemos probar las causas de los fenómenos observables. El valor de una característica de calidad depende de una combinación de variables y factores que condicionan el proceso productivo (entre otros procesos). Un diagrama de Causa-Efecto sirve para que la gente conozca en profundidad el proceso con que trabaja, visualizando con claridad las relaciones entre los Efectos y sus Causas. Sirve también para guiar las discusiones, al exponer con claridad los orígenes de un problema de calidad. Y permite encontrar más rápidamente las causas asignables cuando el proceso se aparta de su funcionamiento habitual.

Un ejemplo del Diagrama Causa-Efecto:

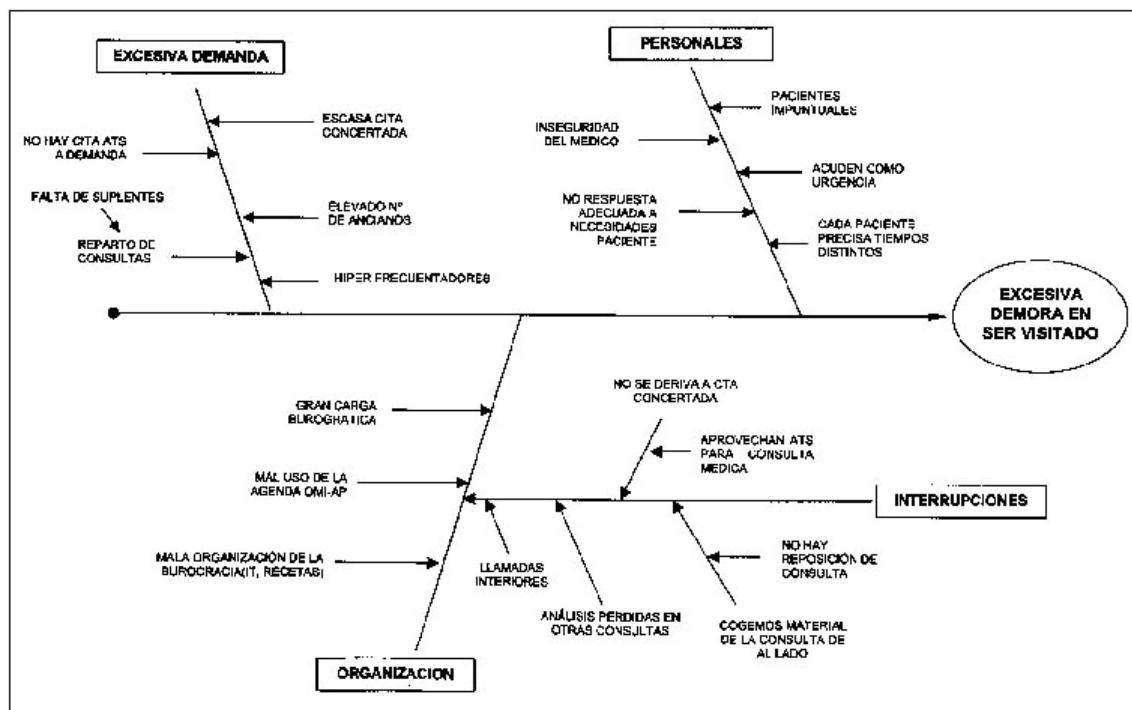


Figura 4. Diagrama de causa-efecto o Ishikawa. Problema: excesiva demora en ser visitado.

## DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El diagrama de Ishikawa conocido también como causa-efecto, es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Nos permite, por tanto, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustitutivo de los datos. Se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también diagrama de espina de pescado, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha.

Al eje horizontal van llegando líneas oblicuas -como las espinas de un pez- que representan las causas valoradas como tales por las personas participantes en el análisis del problema. Cada una de estas líneas que representa una posible causa, recibe otras líneas perpendiculares que representan las causas secundarias. Cada grupo formado por una posible causa primaria y las causas secundarias que se le relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común. Este tipo de herramienta permite un análisis participativo mediante grupos de mejora o grupos de análisis, que mediante técnicas como por ejemplo la lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, facilita un resultado óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible la solución del mismo.

Un ejemplo del Diagrama de Ishikawa:

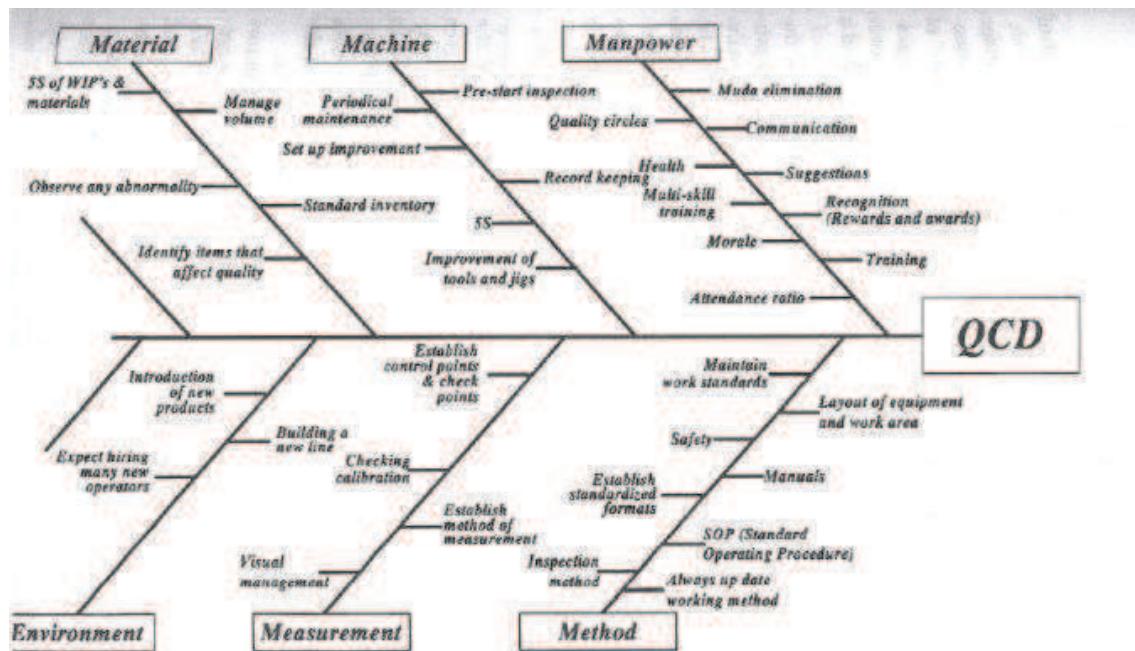


FIGURE 9-1. A cause-and-effect diagram of a supervisor's work.

## Anexo VI

## **Anexo VI – Otras Tareas**

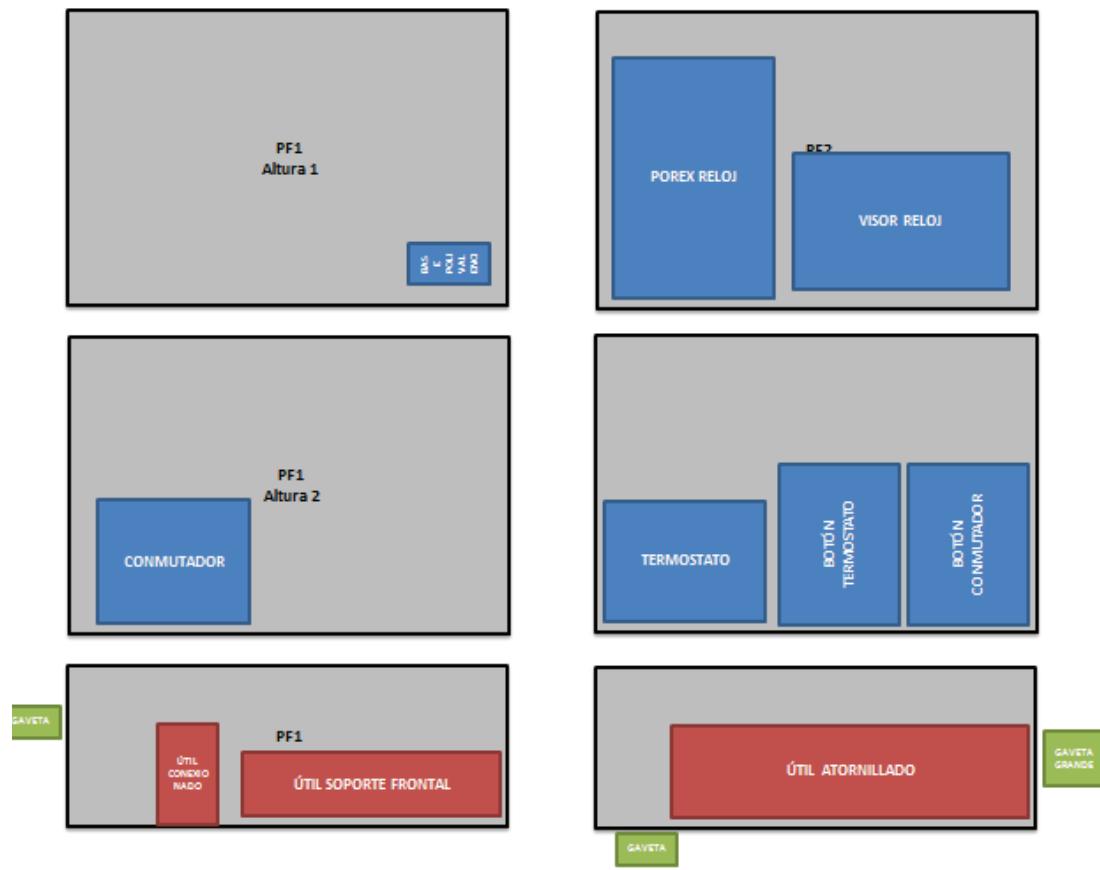
### Workshop de Frontales

Tras evaluar los puestos de montaje de los frontales se evidenció el claro problema de orden en el puesto. Si bien es cierto que la diversidad de modelos de frontales conlleva variedad de piezas a montar en los mismos, se juntaron los equipos de producción, ingeniería y suministros para establecer una posición estándar para cada uno de los equilibrados.

En esta reunión se determinó no solo una posición unívoca, además se decidió modificar el puesto para mejorar la ergonomía del mismo, modificando la altura de las baldas y con un pequeño retranqueo de las mismas.

La última modificación introducida consistió en unificar el útil del soporte del frontal. En el módulo hay 8 modelos distintos de soportes, siendo todos de acero, lo que obliga a tener que cambiarlos cada vez que hay un cambio de modelo en el horno de fabricación, lo cual es lo común. Por tanto con este cambio se mejora en orden en el módulo y se evitan posibles errores para el operario, así como el tener que estar moviendo pesos importantes cada poco tiempo.

Un croquis de la vista del módulo sería la presentada en la siguiente Figura:



Vista en alzado de la estantería separada por alturas

Figura VI. 1

En esta Figura se presentan las tres alturas de la estantería:

Altura 1: la más alta, cogida a la altura del hombro. Al ser la superior no hay problema con la altura de las cajas.

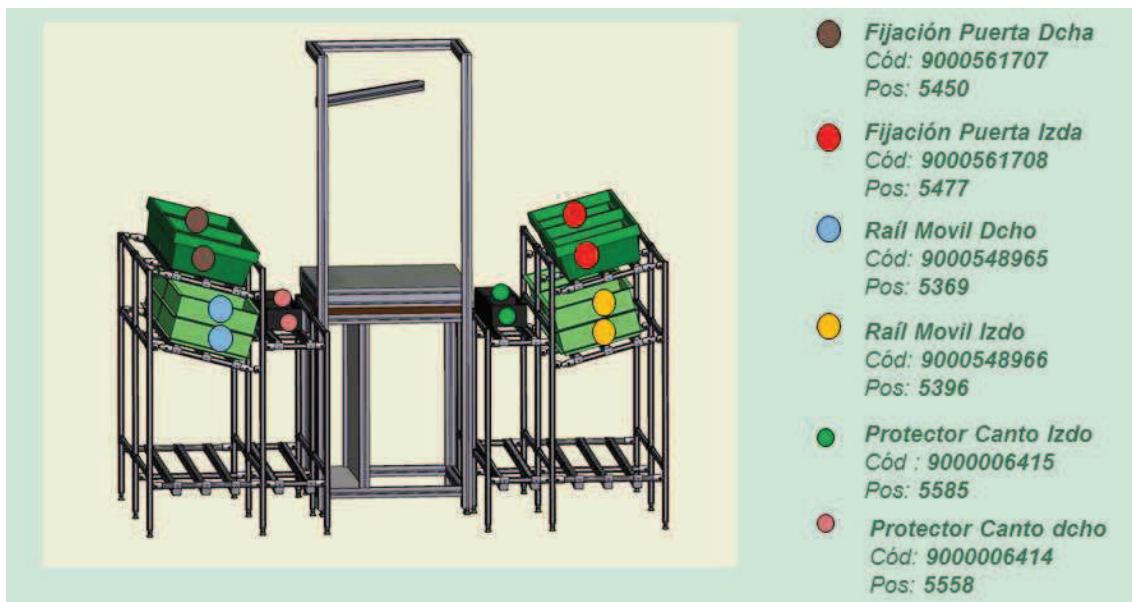
Altura 2: intermedia. Se debe respetar el espacio entre la altura 1 y la 2, las cajas no deben ser mayores que este espacio.

Mesa: zona de trabajo, inmediata al operario.

Las dimensiones de los objetos de la Figura son reales, tanto de las cajas (azul) como de los útiles (rojo) como de las gavetas (verde) con lo que podemos establecer el espacio disponible para el operario en función de la disposición de los objetos del módulo.

## Rediseño de estanterías

En el puesto 6 del módulo tenemos la siguiente distribución inicialmente:



Disposición de los materiales en la estantería

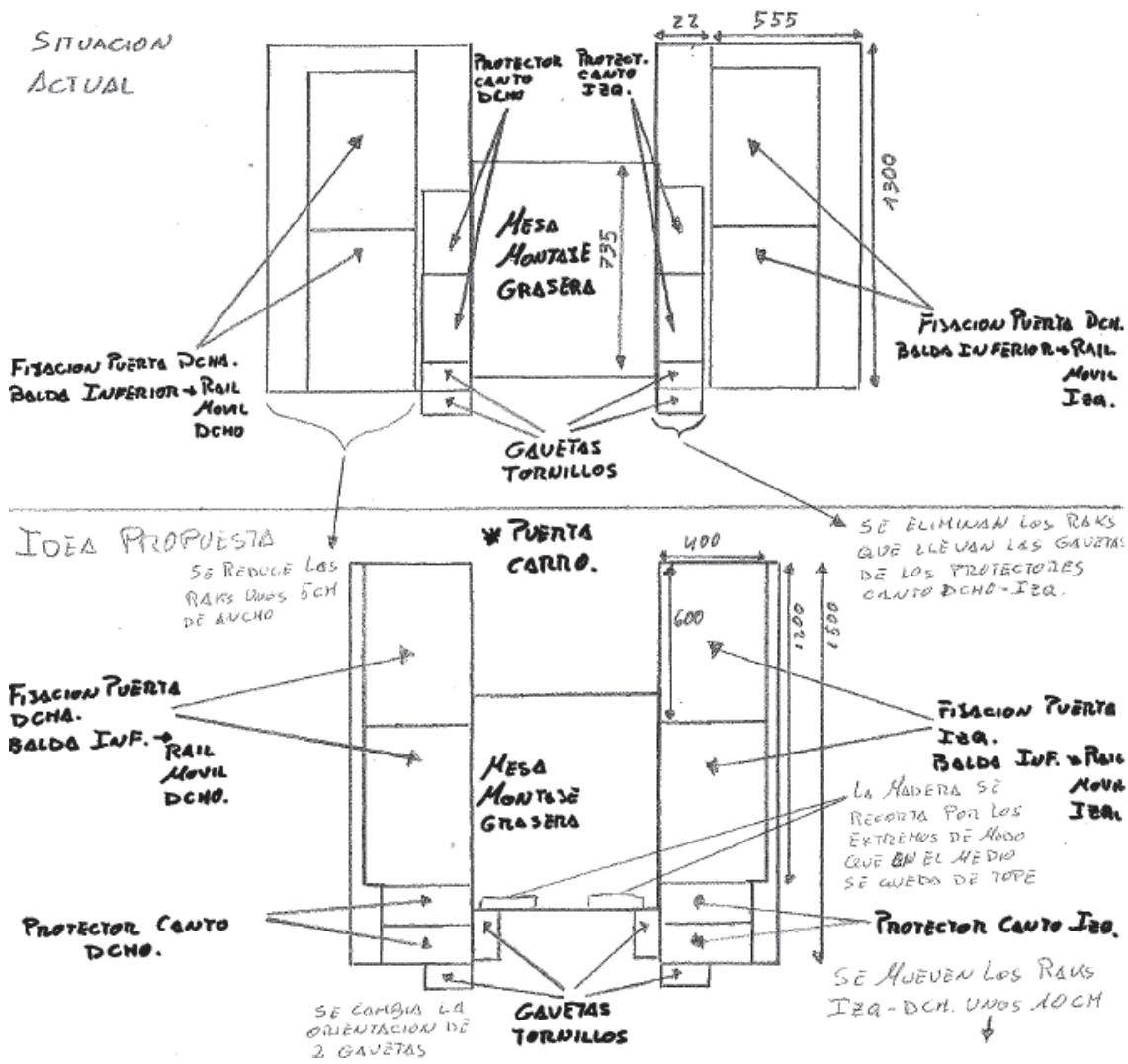
Figura VI. 2

Como se puede ver en la Figura cada caja se corresponde con un material distinto que se explica en la leyenda.

Esta modificación se plantea a raíz de la necesidad de una salida de escapatoria para el puesto 6. Esto se debe a que se va a colocar una estantería más larga que la actual y con poste fijo y la normativa de seguridad establece el imperativo de garantizar un espacio ante cualquier problema para el operario.

Por ello es necesario plantear una optimización del espacio disponible a través de una disposición más ajustada de las cajas de la estantería del puesto 6, modificando las dimensiones de ésta y si es necesario la forma de suministrar los materiales.

Partiendo de esta idea se realiza un croquis con las medidas de la nueva estantería. En la siguiente Figura podemos ver la vista superior de la estantería, partiendo de la situación actual se detallan las modificaciones que se plantean:



Croquis del diseño de la nueva estantería.

Figura VI. 3

La principal modificación es la eliminación de los racks de las gavetas dispuestos junto a la mesa de montaje, lo que permite disponer de 440 mm más de espacio.

Así mismo se reduce la dimensión de las estanterías laterales, pasando de los 550 mm iniciales a los 400 finales. Para que esto sea posible las cajas de material deberán ir dispuestas siempre con su lado más largo en dirección longitudinal a la estantería.

Por último se establece una nueva posición para las gavetas, pasando de estar alineadas a ambos lados del operario a estar dos de ellas junto a la mesa de montaje.



# Anexo VII

# DIFERENTES ENFOQUES DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)<sup>1</sup>

---

Martín Tanco; Elisabeth Viles; Lourdes Pozueta<sup>2</sup>

---

**Resumen.-** Muchos ingenieros seguramente hayan oído hablar o leído sobre el Diseño de Experimentos, pero son incapaces de diferenciar (seguramente ni los conocen) los distintos enfoques que se han desarrollado a largo de la historia del Diseño de Experimentos. Los tres enfoques principales son: Clásico, Shainin y Taguchi. En este artículo se presenta esquemáticamente los tres enfoques, así como una comparación entre ellos. Por lo tanto, este ensayo es útil para aprender sobre ellos, saber diferenciarlos e identificar cuando es mejor utilizar cada uno de ellos.

**Palabras clave:** Diseño de Experimentos, Experimentación, Taguchi, Shainin

## **1. Introducción al Diseño de Experimentos**

A pesar de que la técnica del Diseño de Experimentos (DoE) no surgió hasta el siglo XX, la experimentación es tan vieja como la existencia del hombre. Durante muchos años se utilizó la estrategia de un-factor-por-vez (OFAT), conocida como el método científico y atribuida a Francis Bacon en el siglo XVII, aunque basada en la cultura helénica. La estrategia de “un-factor-por-vez” consiste en ir modificando cada vez un solo factor (variable) y distinguir los efectos que tiene sobre la respuesta cada factor por separado. Esta estrategia, a pesar de ser la más utilizada en las empresas y seguir el “método científico”<sup>3</sup>, es ineficiente para hallar las mejores condiciones del proceso. Dicha metodología tuvo su apogeo con Thomas Edison, que aplicó la estrategia OFAT para inventar la bombilla de luz [2].

Estas estrategias quedaron obsoletas, cuando Sir Ronald Fisher en los años 1920 descubrió un método mucho más eficiente para experimentar basado en los diseños factoriales. El diseño de experimentos fue aplicado por primera vez por Fisher en Inglaterra en la agricultura, y sus experiencias le llevaron a publicar en 1935, su libro “Design of Experiments” [3]. Sus estudios estaban centrados en mejorar la producción de patatas, trabajando para la Estación Agrícola Experimental de Rothamstede en Londres.

Se entiende el Diseño de Experimentos como “una metodología para aplicar sistemáticamente la estadística al proceso de experimentación”. Más técnicamente, consiste en realizar una serie de pruebas en las que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso de manera

---

<sup>1</sup> Versión traducida y reducida del capítulo 52, pag 611-622 del libro “Advances in Electrical Engineering and Computational Science”, Springer 2009, cuyos autores son los mismos que los del presente artículo [1]

<sup>2</sup> Dr. Ing. Martín Tanco, Universidad de Montevideo: [mtanco@tecnun.es](mailto:mtanco@tecnun.es) ; Dra. Elisabeth Viles: TECNUN, Universidad de Navarra, San Sebastián, España.- Dra. Lourdes Pozueta Directora de la consultora AVANCEX+I, España

<sup>3</sup> Del griego: “Caminio hacia el conocimiento”. Definido por Francis Bacon (1561-1626) como conjunto de pasos que trata de protegernos de la subjetividad del conocimiento.

que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida elegida [5].

El DoE es altamente efectivo para aquellos procesos, que su rendimiento se ve afectado por varios factores. Con esta técnica se puede conseguir entre otras, mejorar el rendimiento de un proceso, reducir su variabilidad o los costos de producción. Todos los tipos de industrias se pueden beneficiar de la aplicación del DoE, incluso aquellas de servicio.

## 2. Diferentes enfoques al Diseño de Experimentos

Existen tres enfoques más populares del Diseño de Experimentos: Clásico, Taguchi y Shainin. A pesar de ellos, muy poco ingenieros saben entender la diferencia entre ellos y ser capaces de decidir correctamente que enfoque es más conveniente para su empresa. La respuesta a estas preguntas está fuertemente influenciada por el conocimiento y la experiencia que se posee sobre cada enfoque del DoE. Por ello, se intenta explicar en este artículo cada uno de los enfoques, de manera de poder evaluar cada uno de ellos. Es importante recordar que los tres enfoques del DoE (Clásico, Taguchi y Shainin) son muy superiores a la estrategia de OFAT.

Cada uno de los enfoques tiene sus partidarios y sus detractores, por lo que el debate entre ellos fue durante muchos años muy fuerte y generalmente poco constructivo. A pesar de ello, Deming (gurú de la Calidad) decía: “Cualquier técnica puede ser útil, si se conocen y entienden sus limitaciones”.

### 2.1. Enfoque Clásico

Montgomery [4] considera que hubo cuatro etapas en el desarrollo del diseño de experimentos clásico. La **primera etapa**, iniciada en los años veinte por Fisher, se caracteriza por la introducción sistemática del pensamiento científico, la aplicación de diseños factoriales y el análisis de varianza (ANOVA) en las investigaciones experimentales científicas. En la década del los 30s y 40s, se introdujeron los diseños factoriales fraccionados, como solución al exceso de experimentos necesarios para llevar cabo factoriales completos. Estos diseños consisten en elegir una fracción adecuada de un factorial completo. Proveen una manera efectiva y “barata” de estudiar muchos factores, a la expensa de ignorar interacciones de alto orden. Esto se considera de bajo riesgo, ya que las interacciones de alto orden son generalmente insignificantes.

La **segunda etapa**, iniciada por Box & Wilson [5], se caracteriza por el desarrollo de lo que posteriormente se denominará como metodología de superficie de respuesta (RSM). Estos autores notaron que los experimentos industriales diferían de los experimentos en la agricultura en dos aspectos: a) *inmediatez*, porque la respuesta se puede observar bastante rápido, sin tener que esperar tanto como en la agricultura; b) *secuencialidad*: el experimentador puede realizar unos pocos experimentos y planificar los siguientes experimentos en función de los resultados. Durante los siguientes años, el DoE y el RSM se extendieron a la industria química y a los procesos industriales, en especial en las áreas de investigación y desarrollo (I+D). En esta etapa surgen los diseños para estimar funciones cuadráticas tales como los diseños compuestos centrales (CCD) y diseños de Box-Behnken (BBD).

La **tercera etapa** comienza a principios de los 80s, con la aparición de los enfoques de Taguchi y Shainin, presentados como metodologías sencillas y eficientes para la experimentación. La primera reacción fue la crítica a dichos enfoques atacando su validez estadística. A pesar de ello, principalmente los trabajos de Taguchi sobre diseño robusto de parámetros (RPD)

sirvieron para difundir el interés y el uso del DoE en otras áreas, como automoción, industria aeroespacial, electrónica o industria de los semiconductores. Como consecuencia, muchos académicos y estadísticos comenzaron a apreciar muchas ideas de los nuevos enfoques, lo cual generó un cambio profundo en el enfoque clásico del DoE. Por ejemplo, la reducción de la variabilidad empezó a ser un área de mucha investigación, al igual que el esfuerzo por desarrollar metodologías y guías para simplificar la aplicación del DoE; lo que dio pie al comienzo de la cuarta etapa del diseño de experimentos en los años noventa, en la que actualmente transcurre.

En esta **cuarta etapa**, la democratización de la estadística, gracias en parte a la expansión del Seis Sigma y la gran oferta de software estadístico, ayudaron a que el DoE sea aplicado en todos los tipos de industria. En estos últimos años existió un incremento en las publicaciones sobre el Diseño de Experimentos [6], lo cual permitió desarrollar significativamente la técnica. Además la automatización de los cálculos y gráficas a través de software, permitió simplificar la técnica para que fuera utilizada por más ingenieros y científicos. En esta etapa surge el concepto de optimidad, lo cual lleva a la utilización de diseños “óptimos”.

En resumen, muchos estadísticos, ingenieros y científicos contribuyeron al desarrollo y aplicación del DoE en las industrias a lo largo de estos casi 90 años del enfoque clásico. Esto provocó que dicho enfoque esté consolidado y sea un enfoque válido y robusto para aplicar el DoE.

## 2.2. Enfoque de Taguchi

Como investigador en un laboratorio de control electrónico en Japón, un ingeniero llamado Geneichi Taguchi desarrolló en los años 40s un método para el Diseño de Experimentos. A pesar de que su primera publicación en japonés data de los 50s, este enfoque al DoE no fue introducido en USA ni Europa hasta principios de la década de los 80s. Sus libros más importantes, fueron: “Introduction to Quality Engineering” [7] y “System of Experimental Design” [8]. La década siguiente a la aparición de estos métodos en occidente, fue de continuos debates entre dos bandos: aquellos fanatizados con las nuevas virtudes y potencia del método de Taguchi contra los clásicos que exponían continuamente sus fallas y limitaciones [9].

Taguchi promovió las técnicas estadísticas desde una perspectiva ingenieril, en contraposición con la perspectiva estadística del DoE del momento. Taguchi desarrolló una metodología para la resolución de problemas, a la cual le denominó como “Ingeniería de Calidad” (Quality Engineering) [10]. Lamentablemente, hay una confusión importante en la bibliografía cuando se trata de sistemas que ayuden a reducir la variabilidad, ya que los términos en inglés “Robust Design”, “Taguchi Methods”, “Quality Engineering” y “Parameter design” son utilizados como sinónimos.

Los conceptos básicos sobre los métodos de Taguchi son:

- Un producto de calidad es aquel que causa una **pérdida mínima a la sociedad** durante toda su vida. La relación entre esta pérdida y las características técnicas está expresada en la función de pérdida, que es proporcional al cuadrado de las desviaciones de la respuesta sobre su valor deseado (target value).
- Taguchi desglosa su estrategia de “ingeniería de calidad” en tres fases: **Diseño del Sistema, Diseño de Parámetros y Diseño de Tolerancias**. El diseño de sistemas intenta innovar y averiguar cuales son los factores y niveles que deberían operar. El Diseño de parámetros, intenta incrementar el rendimiento de un proceso/producto ajustando los niveles de los factores. Generalmente, se le conoce a esta fase como

Método de Taguchi y es la fase más relacionada con el DoE. Finalmente, el diseño de tolerancias intenta determinar los parámetros de control para cada factor y nivel identificado en la etapa anterior.

- Se debe **cambiar el objetivo de la experimentación** de obtener resultados conforme a las especificaciones a alcanzar un valor deseado minimizando la variabilidad.

Debido a que el Diseño de Experimentos es una herramienta clave para el Diseño de Parámetros [11], Taguchi puso especial énfasis en conseguir que el DoE fuera más sencillo de aplicar. Básicamente, Taguchi simplificó la aplicación del DoE incorporando: un conjunto estándar de diseños experimentales (matrices ortogonales), una herramienta gráfica para asignar los factores al diseño experimental (gráficas lineales), guías para interpretar los resultados (cookbook), maneras de transformar la respuesta para obtener reducción en la variación (S/N ratios), y un método formal para estudiar factores incontrolables utilizando la técnica de diseño robusto. Finalmente, simplificó el análisis de tolerancias con la utilización del DoE.

El principal aporte de Taguchi [12] fue su énfasis en la reducción de variabilidad. “La calidad es algo que no puede ser caracterizado solamente por una media de una característica deseada. La variabilidad de dicha característica debe ser considerada también”. Por ello, propuso la utilización de diseños especiales, en los cuales los factores incluidos en la experimentación podían ser clasificados en dos tipos: Control y Ruido. Los primeros incluyen aquellos factores que pueden ser controlables, mientras que los ruidos son aquellos difíciles o caros de controlar.

La idea básica del diseño de parámetros es identificar el nivel apropiado de los factores de control en los cuales el rendimiento del sistema es lo más robusto (insensible) posible a la presencia de los factores ruido. Como el objetivo es hacer el sistema robusto al ruido, este enfoque es conocido como “Diseño Robusto”.

Para mayores detalles del método de Taguchi se recomiendan los libros de Roy [13] y el Handbook de Taguchi [14].

### 2.3. Enfoque de Shainin

Se le llama Sistema Shainin<sup>TM</sup> a la metodología para la resolución de problemas creada por el ingeniero Dorian Shainin, que murió en 2000. Shainin describe su colorido método como el enfoque americano para la resolución de problemas, con los mismos objetivos que el enfoque de Taguchi [15].

Shainin consideraba sus ideas como propiedad intelectual, por lo que sólo las vendía a sus clientes para que ellos tuvieran una ventaja competitiva. Como el Sistema Shainin<sup>TM</sup> está legalmente protegido, sus métodos son raramente discutidos en la bibliografía. Keki R. Bhote fue autorizado a publicar información sobre estos métodos por única vez en un único libro.

Debido a que su compañía Motorola, fue galardonada con el premio de Excelencia de Calidad “Malcolm Baldrige”, dicho premio estipula que los métodos utilizados por la compañía premiada sean compartidos con otras compañías de USA [16]. El interés en sus métodos aumentó significativamente en 1991 con la primera edición de este libro (la segunda edición fue publicada en 2000 [16]).

Dorian Shainin incluyó varias técnicas, algunas nuevas y otras conocidas, en una estrategia coherente, la cual promueve el uso secuenciado de estas herramientas para obtener la mejora de los procesos [10].

Las ideas del enfoque de Shainin se basan en:

- **Principio de Pareto:** Entre todos los muchos factores que influyen en un proceso, existe un factor que es la principal causa de la variación de la respuesta. A este factor se le llama la Red X® y puede ser un factor o la interacción entre dos o más factores. Puede después haber una segunda o tercera causa significativa, las cuales se les denomina Pink X® y Pale Pink X® respectivamente.
- Shainin se opone fuertemente al uso de los diseños factoriales fraccionados. En lugar de utilizar dichos diseños que confunden las interacciones, propone identificar los factores que influyen en la variación y reducir la mayor parte de dicha variación, para alcanzar un número manejable de variables (tres o cuatro) con las cuales poder experimentar. Para experimentar **recomienda la utilización de diseños factoriales completos**.
- “**Habla con las partes. Son más inteligentes que los ingenieros**”<sup>4</sup>. Primero, recomienda “hablar” con las partes de la máquina o proceso. Luego, hablar con los trabajadores que están en la línea de producción. Finalmente, se debe recurrir al método menos productivo que es hablar con los ingenieros.

El Sistema Shainin™ presenta muchas herramientas que deben ser aplicadas en forma secuencial para obtener la resolución de los problemas buscados. Esta estrategia de resolución de problemas, puede ser dividida en tres grandes etapas: Generación de claves, DoE Formal y transición al Control Estadístico de Procesos (SPC). Se comienza la estrategia considerando todas las variables que puedan ser identificadas. Una vez listadas, el primer grupo de herramientas (Multi-Vary, Components Search™, Paired Comparison™, etc.) intentan generar claves para reducir el número de variables involucradas en el proceso. Dichas herramientas, se basan en la realización de experimentos on-line (sin parar la producción) analizando la variación de la respuesta. En una segunda etapa, la herramienta Variable Search™ es utilizada para experimentar secuencialmente (no aleatoriamente) off-line, basado en los conocimientos del proceso y en la búsqueda binaria. Con ello se consigue reducir aún más el número de variables involucradas, lo que permite la aplicación de diseños factoriales completos. Después, otras herramientas (B vs C™, Response Surface, Scatterplots) son utilizados para confirmar y optimizar los resultados. Finalmente, en la última etapa, Positrol™, Process Certification y Pre-Control son recomendados para garantizar que los resultados son sostenibles, o sea que los resultados obtenidos serán también obtenidos en el futuro.

### **3. Limitaciones de los diferentes enfoques**

---

#### **3.1. Críticas al enfoque clásico**

Hasta que los “Métodos de Taguchi” fueron divulgados en USA, el diseño de experimentos clásico era considerada una herramienta matemática, la cual era como un complemento a la formación técnica del ingeniero para el estudio de procesos y productos [9]. Taguchi y Shainin fueron los mayores críticos al enfoque clásico. Ellos sostienen que los empresarios, ingenieros y trabajadores hallaban el DoE demasiado complicado de aplicar e inefectivo, lo cual lo convertía en una experiencia frustrante [16]. Consecuentemente, este enfoque era preferido únicamente por aquellos con una inclinación matemática o estadística [17].

A pesar de ello, es importante destacar que después de una década de fuerte oposición a los nuevos enfoques, el enfoque clásico empezó a detectar la importancia de varias ideas propuestas por Taguchi y Shainin. Por ejemplo, hubo muchos intentos de integrar el diseño de Parámetros

---

<sup>4</sup> Talk to the parts, they are smarter than engineers!

de Taguchi con el enfoque clásico. Como consecuencia, el uso de la metodología de Superficie de Respuesta cuando se desea una reducción de la variación se convirtió en un área de mucha investigación [18, 19].

Finalmente la complejidad de la técnica, criticada fuertemente, fue disminuida significativamente con la ayuda de software que permite diseñar y analizar los experimentos. Además, se dedicó especial énfasis en presentar guías que incluyeran herramientas gráficas para clarificar y simplificar el DoE. Algunos ejemplos de estas simplificaciones, son las gráficas de Pareto para ver la magnitud de los efectos o el uso de gráficos Multi-Vary para definir correctamente el problema de estudio.

### **3.2. Críticas al enfoque de Taguchi**

Hubo un gran debate sobre los métodos de Taguchi en la primera década posterior a la aparición de los mismos [12, 20-22]. Los métodos de Taguchi fueron criticados por ser inefficientes y muchas veces ineffectivos. Shainin fue muy crítico con Taguchi, derrumbando lo que la gente creía como el “arma súper-secreta japonesa” [15].

Nair [21] identifica tres grandes grupos de críticas al trabajo de Taguchi: a) El uso de ratios Señal/Ruido (S/N) como respuesta, b) Sus herramientas para analizar los experimentos, c) su selección de diseños experimentales. En primer lugar, muchos criticaron los ratios S/N como medida para el análisis. También, hubo muchas críticas a las nuevas herramientas propuestas por Taguchi para analizar los experimentos, ya que la mayoría de estas técnicas son difíciles y menos efectivas que las ya existentes. Un ejemplo claro es el método de análisis de acumulación (acumulation analysis). Finalmente, pero muy importante, es la crítica a los diseños experimentales propuestos. En primer lugar, las “matrices ortogonales” de Taguchi fueron criticadas fuertemente ya que llevaban a subestimar las interacciones<sup>5</sup>. En respuesta, a estas críticas Taguchi comentaba [23]: “Una persona que no crea en la existencia de efectos no lineales, es una persona que está fuera de la realidad”. A pesar de ello, creía que eligiendo una buena respuesta (métrica), era posible con la habilidad y conocimiento de los ingenieros decidir los niveles de los factores (llamados sliding levels) para lograr que la mayoría de las interacciones sean insignificantes. Desgraciadamente, existe mucha evidencia en la bibliografía sobre Taguchi, que las interacciones deben ser evitadas. Esto es principalmente debido a sus seguidores y no a su creador [9].

Por otro lado, están los “diseños cruzados” propuestos por Taguchi para estudiar simultáneamente la media y la varianza de una respuesta. Estos diseños también fueron criticados, ya que generalmente requieren de muchos experimentos y además no permiten la estimación de las interacciones entre los factores de control. Por ello, Welch [24] entre otros, propuso el uso de diseños combinados para la reducción de la cantidad de experimentos.

Últimamente hubo mucho debate en este tema, y aún no está claro cual de las dos aproximaciones es mejor cuando se desean estudiar la varianza y la media. Por ejemplo, Pozueta et al. [25] y Kunert et al. [26] mostraron como los diseños clásicos (combinados) son muchas veces peores que los diseños de Taguchi (cruzados).

A pesar de que los estadísticos y académicos clásicos reconocieron valor en las ideas de Taguchi y las adaptaron a su enfoque, los seguidores de Taguchi y él mismo, no reconocieron

---

<sup>5</sup> Muchas de las matrices ortogonales de Taguchi son factoriales fraccionados. El problema principal es que la resolución elegida es generalmente baja (III o IV).

nunca los errores de su método, por lo que siguen sosteniendo la efectividad de los métodos en su forma original.

### **3.3. Críticas al enfoque de Shainin**

Como el Sistema Shainin<sup>TM</sup> está protegido por ley, la única forma de aprender completamente la técnica es yendo a sus clases. La otra alternativa posible es leer el libro de Bhote [16]. Lamentablemente, este libro está escrito con un tono hiperbólico, demasiado optimista, excesivamente tendencioso y muchas veces deshonesto intelectualmente intentando probar que los métodos de Shainin son muy superiores a los otros enfoques. Por ejemplo, el libro expresa que: “Están tan convencidos del poder del enfoque de Shainin para DoE que fijan un desafío. Cualquier problema que pueda ser resuelto por el enfoque clásico o de Taguchi, puede ser resuelto mejor, más rápido y más barato con el enfoque de Shainin”. Además, expresa que es 5 veces más eficiente que el método de Taguchi y más de 3 veces que el enfoque clásico.

A pesar de que hay muy poco escrito en la bibliografía sobre los métodos de Shainin, el material existente es suficiente para recolectar fuertes críticas a su sistema. Las herramientas más criticadas son el Variable Search<sup>TM</sup> [23, 27-29] y el Pre-Control<sup>TM</sup> [29, 30]. El Variable Search<sup>TM</sup> tiene mucho parecido con el costoso y poco fiable método de un-factor-por-vez (OFAT).

Además, esta herramienta se basa fuertemente en los juicios ingenieriles. Su debilidad reside en la habilidad y conocimientos necesarios que se requieren para llevar a cabo dos tareas: identificar correctamente todas las variables con las cuales experimentar y segundo ordenar las variables por importancia para la experimentación [27]. En segundo lugar, el Pre-Control es presentado como una alternativa al control estadístico de procesos (SPC), pero no lo es. En particular, el Pre-Control<sup>TM</sup> se comporta muy mal con procesos con bajo rendimiento [30].

Una revisión y discusión reciente del Sistema de Shainin es presentada por Steiner et al. (2008) [29, 31], la cual provee mayores detalles sobre el Sistema Shainin y sus limitaciones.

### **Conclusiones**

Los tres enfoques más conocidos y divulgados sobre el Diseño de Experimentos (DoE) fueron presentados. Cualquiera de los tres enfoques es mucho más eficiente que la estrategia de un-factor-a-la-vez (OFAT). Por ello la obtención de buenos resultados con un enfoque, no prueba que ese enfoque sea el único para mejorar la calidad y menos aún que sea el mejor. Por eso basado en nuestras experiencias e investigaciones se darán algunos consejos para determinar cuando son útiles los conceptos de cada enfoque.

En primer lugar, se debe estar agradecido a Shainin, por la importancia de su divulgación en las empresas de la utilidad del DoE. A pesar de que sus métodos son fáciles de aprender, que en parte se debe a que su experimentación está basada en una leve modificación del OFAT, estos sistemas no presentan una alternativa seria a los otros enfoques al DoE. Tanto el enfoque clásico como el enfoque de Taguchi son estadísticamente más válidos y más robustos. Los métodos de Shainin pueden tener utilidad en procesos de mediano-alto volumen para los cuales un nivel alto de calidad fue alcanzado. Además, pueden ser utilizados cuando la respuesta es binaria (por ejemplo, una máquina funciona o no) y las razones detrás de las distintas respuestas pueden ser muchas (decenas o cientos) variables.

En segundo lugar, es importante destacar la importante contribución de Taguchi al área de la “filosofía” de calidad y a las metodologías de ingeniería, que incluyen la función de pérdida de calidad y los diseños robustos. Los métodos de Taguchi tienen el potencial de lograr mejoras en

los procesos industriales. A pesar de ello, debido a las imperfecciones técnicas el éxito no puede ser asegurado para todos los casos. Como regla general, no se recomienda el uso de los métodos de Taguchi a no ser que se desee analizar dos tipos de problemas: Análisis de Tolerancias o conseguir la robustez frente a factores ruido de los procesos y productos. En ambos casos, también se puede aplicar el enfoque clásico, por lo que se deben evaluar cada condición concreta.

Los dos nuevos enfoques al DoE fueron una reacción a la complejidad existente de la técnica para aplicarla en la industria. Ambos enfoque fueron autoproclamados como métodos sencillos y efectivos. No obstante, la aparición de ambas enfoques creo que el enfoque clásico fuera más desarrollado e incorporara muchas de las ideas ingenieriles de Shainin y Taguchi. Además la aparición de software y herramientas gráficas simplificó la aplicación del DoE. Por tanto, salvo las excepciones anteriormente mencionadas se recomienda para usuarios no expertos la utilización del DoE clásico para sus experimentaciones.

---



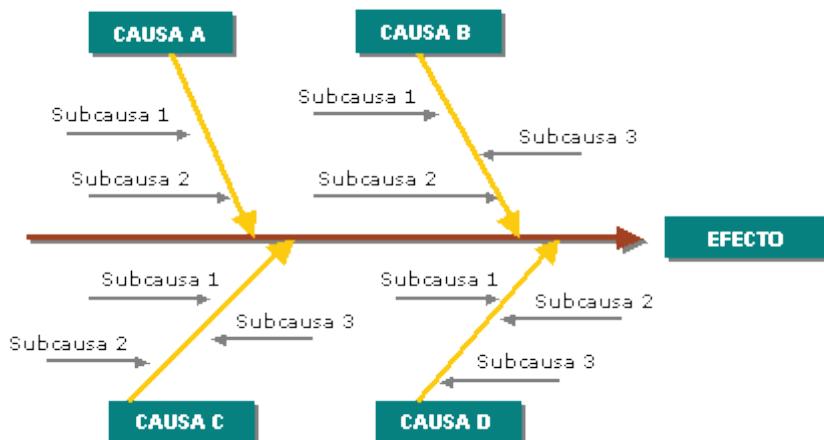
## *Anexo VIII*

## ¿QUÉ ES EL DIAGRAMA DE ISHIKAWA?

- Es una representación gráfica que organiza de forma lógica y en orden de mayor importancia las causas potenciales que contribuyen a crear un efecto o problema determinado.
- Fue creado por Kaoru Ishikawa en la Universidad de Tokio en 1943 para su uso por los [Círculos de Calidad](#).
- También se le conoce como **espina de pescado** por la forma que adopta.

**Círculos de Calidad:** Son grupos homogéneos de personal de la empresa que, además de sus tareas habituales, analizan y resuelven problemas que se refieren a su trabajo cotidiano utilizando un sistema institucionalizado, de una forma voluntaria y organizada.

### DIAGRAMA DE ISHIKAWA O ESPINA DE PESCAZO



#### CÓMO SE UTILIZA?

Ishikawa propuso 8 pasos para la realización de estos diagramas:

1. Identificar el resultado insatisfactorio que queremos eliminar, o sea, el efecto o problema.

2. Situarlo en la parte derecha del diagrama, de la forma más clara posible y dibujar una flecha horizontal que apunte hacia él.

#### EJEMPLO

Una línea aérea, realiza una encuesta a sus clientes y determina que es decisivo reducir los retrasos de las salidas.

1. El efecto a eliminar es, por tanto, los retrasos en la salida de vuelos.

2. Situamos el efecto en el diagrama:

RETRASOS  
EN LA  
SALIDA DE  
VUELOS

### ¿CÓMO SE UTILIZA?

3. Determinar todos los factores o causas principales que contribuyen a que se produzca ese efecto indeseado.

En los procesos productivos es frecuente utilizar unos factores principales de tipo genérico denominados las 6M: **materiales, mano de obra, métodos de trabajo, maquinaria, medio ambiente y mantenimiento.**

En los problemas de servicios son de utilidad: **personal, suministros, procedimientos, puestos de trabajo y clientes.** Estos factores principales no constituyen un elemento inmutable y pueden ser modificados según cada caso.

### EJEMPLO

Las causas que consideraremos son:

- Equipo
- Personal
- Materiales
- Procedimiento
- Otros

### ¿CÓMO SE UTILIZA?

4. Situar los factores principales como ramas principales o espinas de la flecha horizontal.

### EJEMPLO

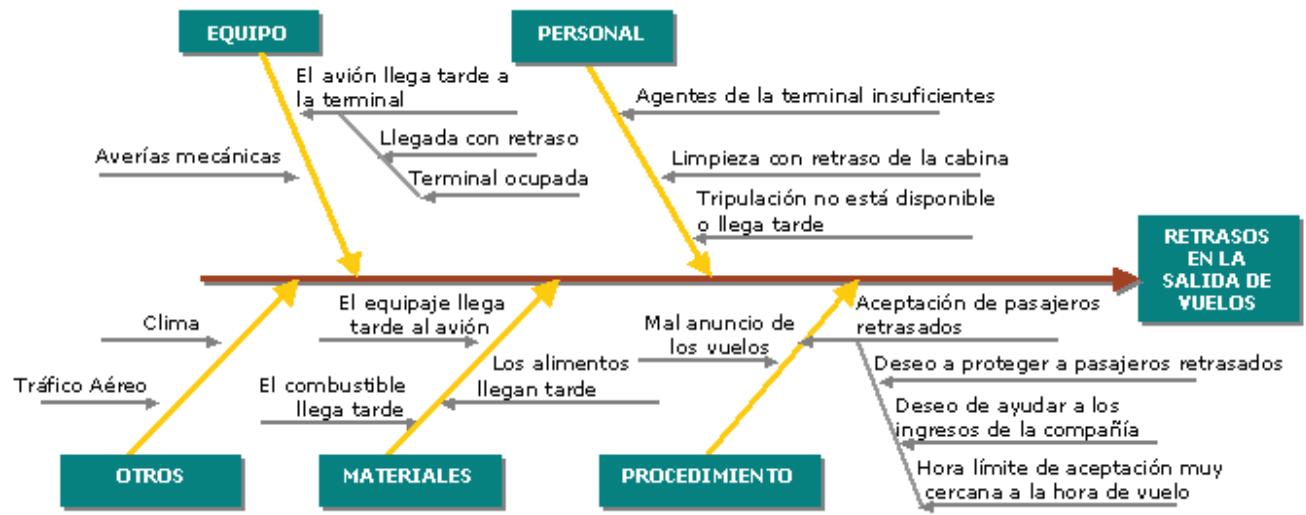
Situamos los factores principales y las subcausas llegando hasta un segundo nivel de subcausas:

5. Identificar las subcausas o causas de segundo nivel, que son aquellas que motivan cada una de las causas o factores principales.

6. Escribir estas subcausas en ramas de las ramas principales que les correspondan. El proceso seguiría descendiendo el nivel de las causas hasta encontrar todas las causas más probables.



*La imagen esta ampliada a continuación*



## ¿CÓMO SE UTILIZA?

7. Analizar a conciencia el diagrama, evaluando si se han identificado todas las causas (sobre todo si son relevantes), y someterlo a consideración de todos los posibles cambios y mejoras que fueran necesarios.

8. Seleccionar las causas más probables y valorar el grado de incidencia global que tienen sobre el efecto, lo que permitirá sacar conclusiones finales y aportar las soluciones más aconsejables para resolver y controlar el efecto estudiado.

## EJEMPLO

A partir del diagrama elaborado, la empresa realizó un análisis en el que determinó que la principal causa de los retrasos era el acomodo de pasajeros que llegaban tarde. Estos pasajeros no se apuraban para llegar al aeropuerto. Los agentes de las terminales aceptaban a esos pasajeros porque no querían que la compañía perdiera las tarifas de esos pasajeros y además se compadecían de ellos (aunque olvidaron las molestias a los muchos pasajeros que hicieron el esfuerzo por llegar a tiempo).

La compañía estableció una política de que operaría a tiempo y brindaría excelente servicio a los pasajeros que llegaran a tiempo. Los pasajeros vieron con buenos ojos esta disciplina y se redujo el número de pasajeros retrasados.

## **CONSEJOS PARA ELABORAR Y USAR LOS DIAGRAMAS CAUSA-EFECTO**

- Identificar todos los factores relevantes mediante consulta y discusión entre muchas personas. Para ello, puede ser útil utilizar la "[tormenta de ideas](#)".
- Expresar el efecto y los factores tan concretamente como sea posible, pues la abstracción lleva a obtener resultados útiles.
- Hacer un diagrama para cada característica. Por ejemplo, si estudiamos los fallos en el grosor y en la longitud de una barra de acero, hacer un diagrama para el grosor y otra para la longitud.
- Escoger un efecto y unos factores que sean medibles.
- Descubrir los factores sobre los que es posible actuar. Descubrir un factor sobre el que no es posible actuar no nos sirve para resolver el problema.
- Asignar la importancia a cada factor objetivamente en base a datos.
- Tratar de mejorar continuamente el diagrama de causa-efecto mientras es usado.

----- 00000 -----

