



**Proyecto Seis Sigma**  
***Mejora del Proceso de Soldadura de las***  
***Barras de Combustibles***

# Integrantes

- ✓ De León, Martha
- ✓ Espejo, Ariel
- ✓ Santana, Bileika



# Aspectos Preliminares



Antecedentes

Penetración y Fusión del Muelle



Objetivo del Proyecto

Optimizar las condiciones de operación del proceso de soldadura para conseguir buena penetración y ausencia de partículas de muelle fundido (**Z obj = 5**)

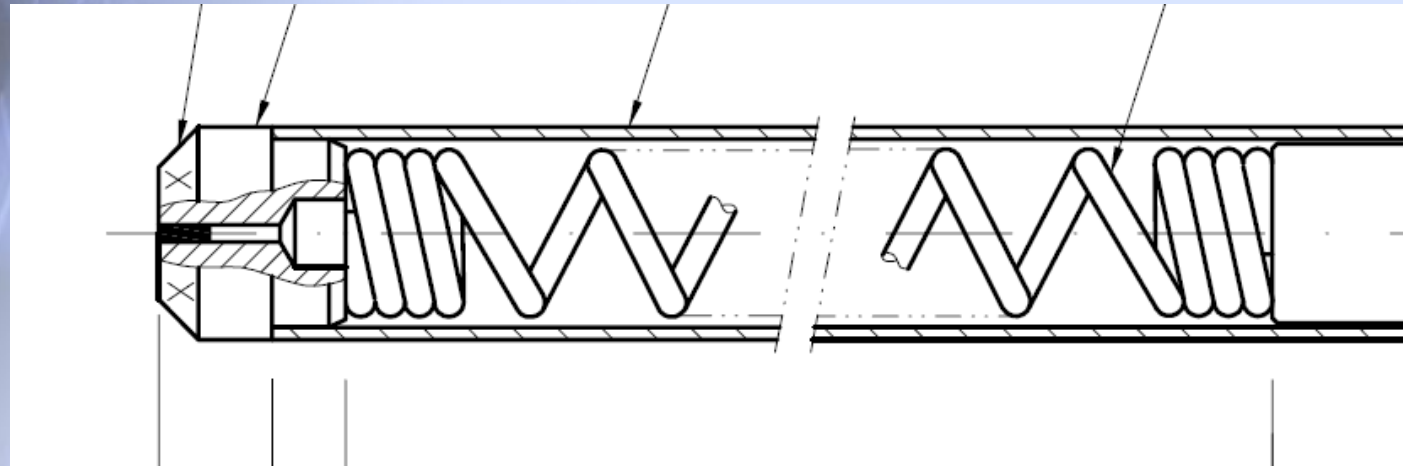


Importancia del Proyecto

Hermeticidad de las barras y altos costos de inspección

# Definición del Proyecto

*Mejorar el proceso de soldadura de las barras de combustibles de uranio mediante el uso del Diseño para Seis Sigma (DfSS)*

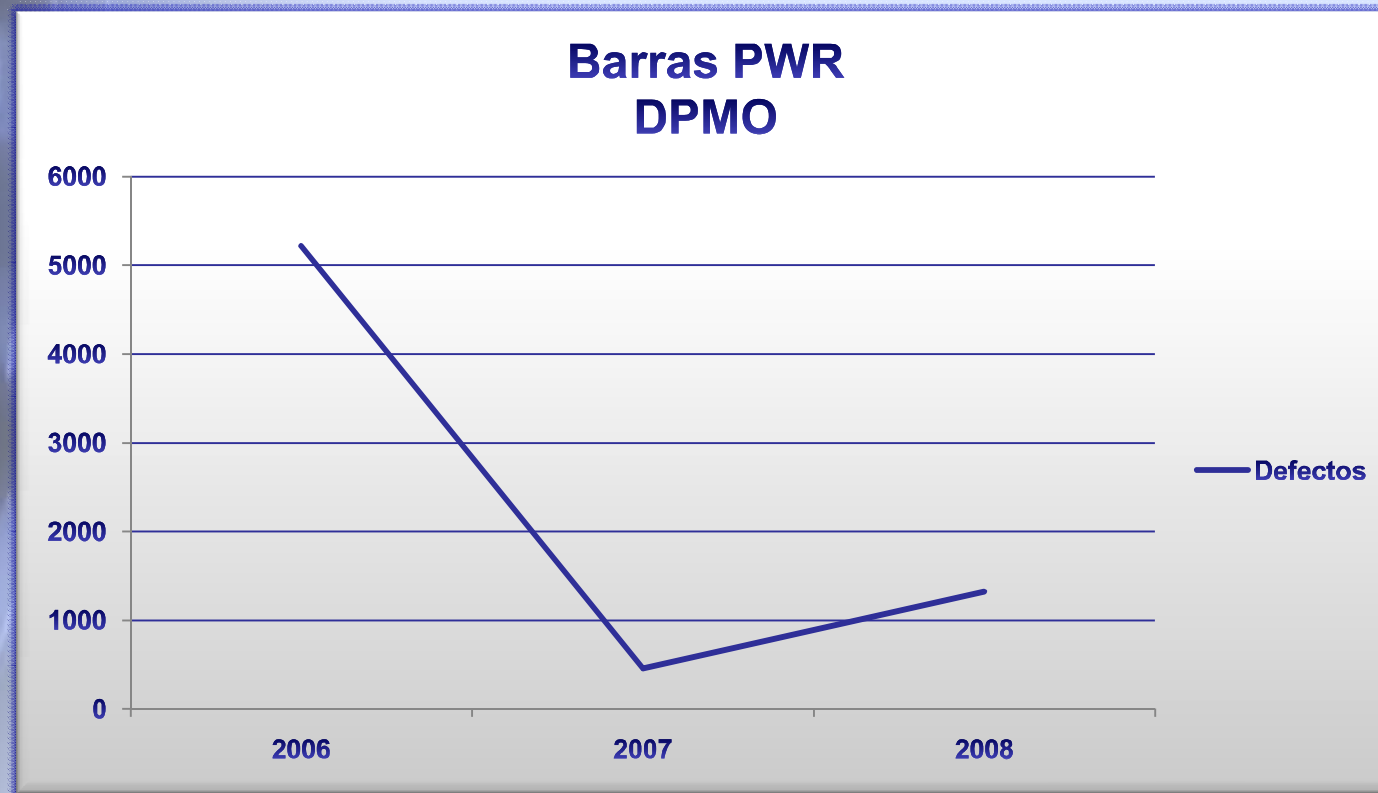


# Fases del proyecto

## Plan de Trabajo

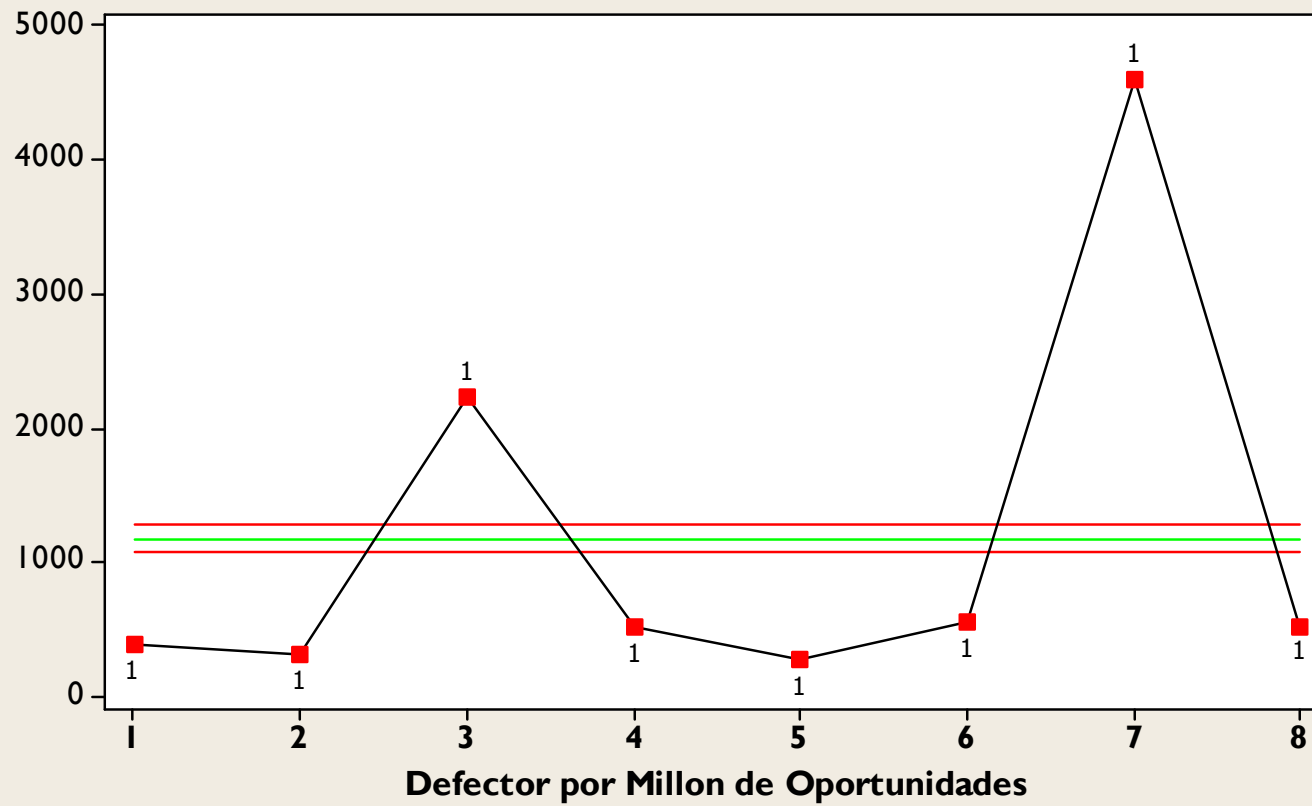
- Planteamiento del Problema
- Recolectar Datos
- Relaciones Causa - Efecto
- Variabilidad de factores críticos
- Seleccionar combinaciones
- Determinar tolerancias
- Implantación

# Medición

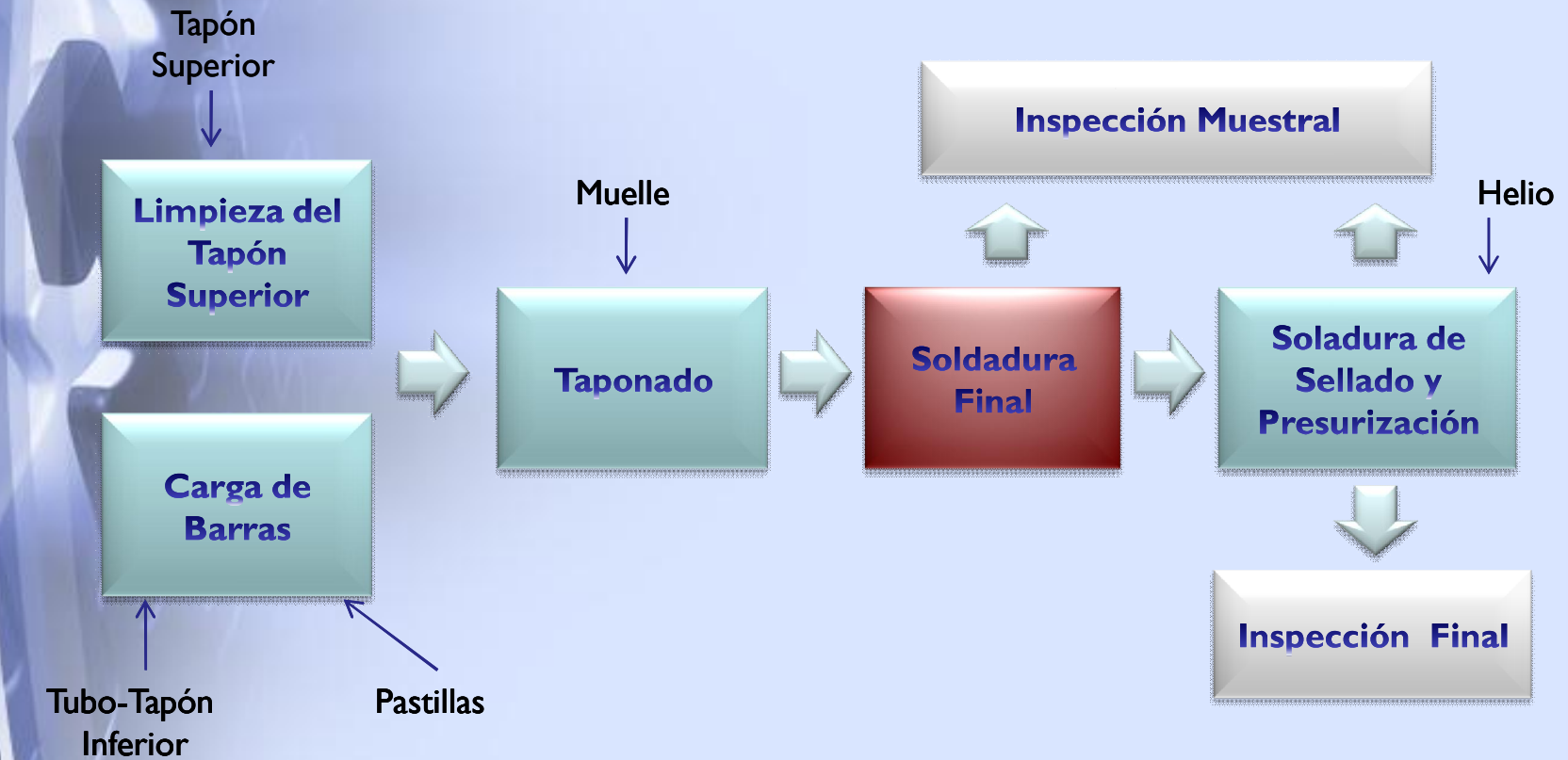


# Medición

## Gráfico de Control de Barrar PWR



# Diagrama de Proceso



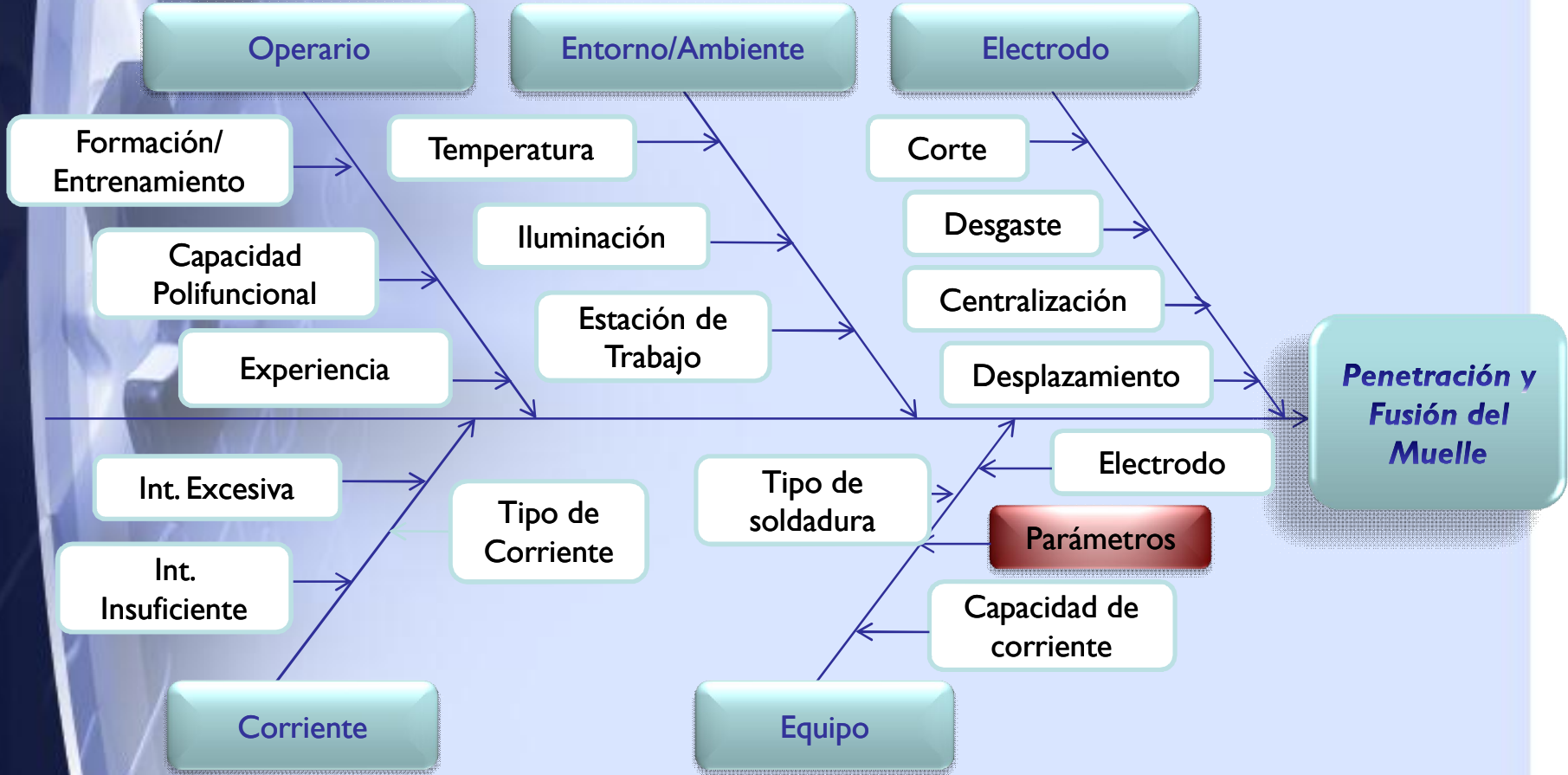


# CTQ's del Proyecto

- Porosidad en soldadura
- Penetración
- Espesor
- Porosidad Acumulada
- Sección Transversal
- GBS
- Descoladura
- Muelle fundido

CTQ's del Proyecto

# Causa y Efecto



# Análisis – Variables Involucradas

No. De Vueltas

Voltaje

Velocidad (rpm)

Área Intensidad/Tiempo (J/V)

## Diseño del DoE

Aspectos	Dato
Número de Pruebas	9
Ensayos	27
Repeticiones	3

Variable	Mínimo	Medio	Máximo
Numero de vueltas soldadas	1,7	2	2,3
Velocidad de giro (rpm)	14	17	20
Voltaje (V)	15	15,75	16,5
Área de la curva Intensidad / tiempo (J/V)	170	185	200

## ¿Qué buscamos?

$$P_{\text{mín}} = F(x)$$

$$A_p = F(x)$$

$X$  = Variables significativas

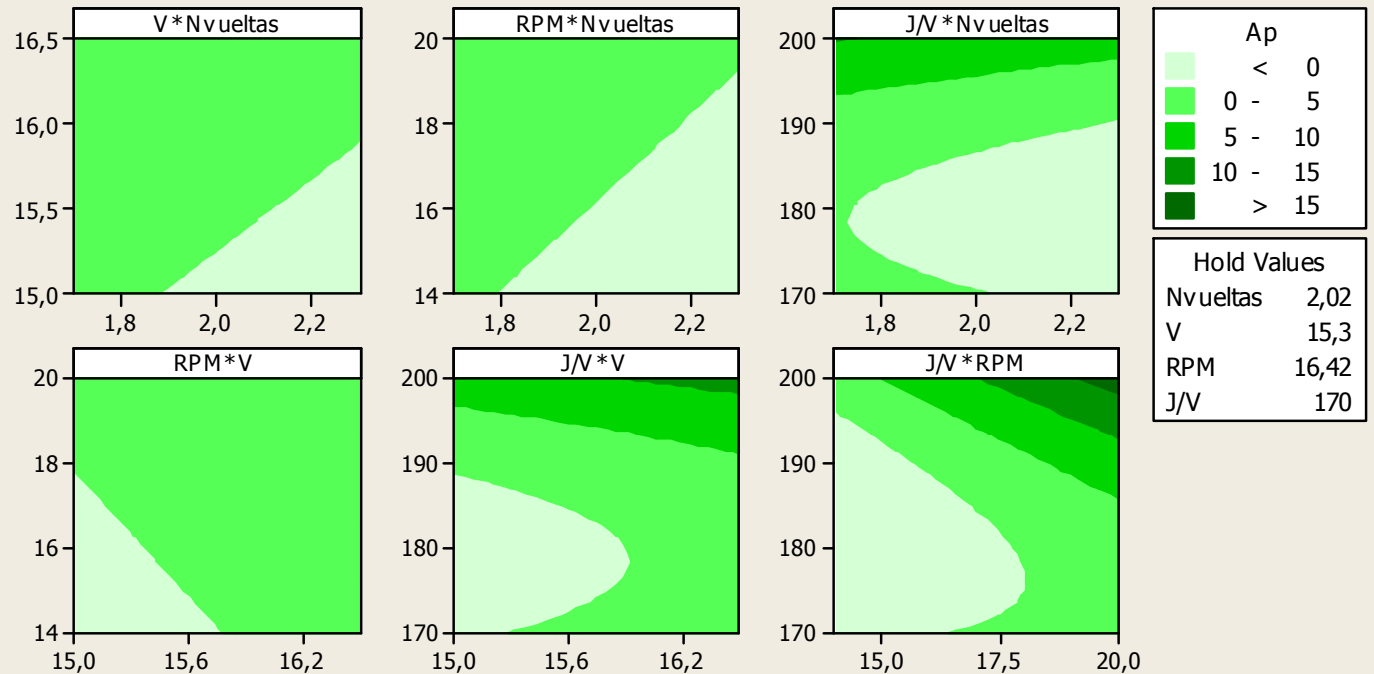
## Situaciones Encontradas

- Las 4 variables son significativas
- Las relaciones funcionales son **complejas**
  - Interacción entre variables
  - 2do orden (cuadráticas)



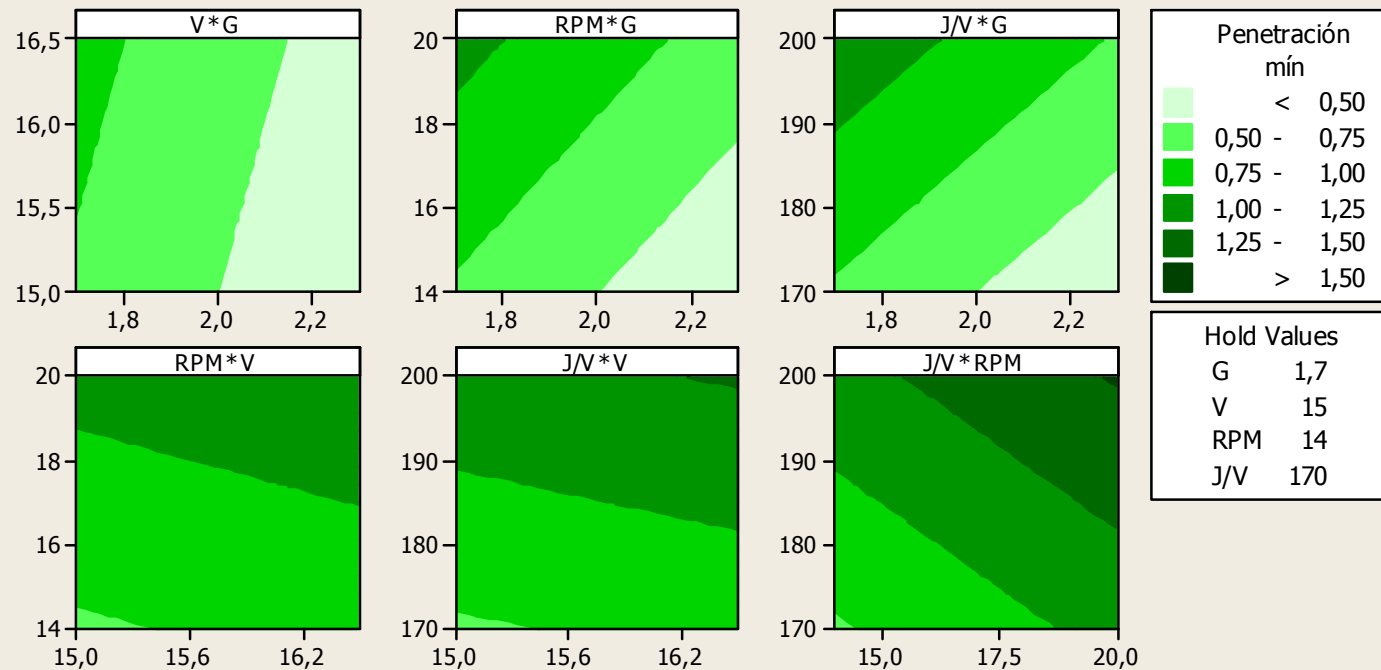
# Análisis de Variables Partículas por Fundición del Muelle (AP)

## Relaciones Funcionales



# Análisis de Variables Penetración Mínima

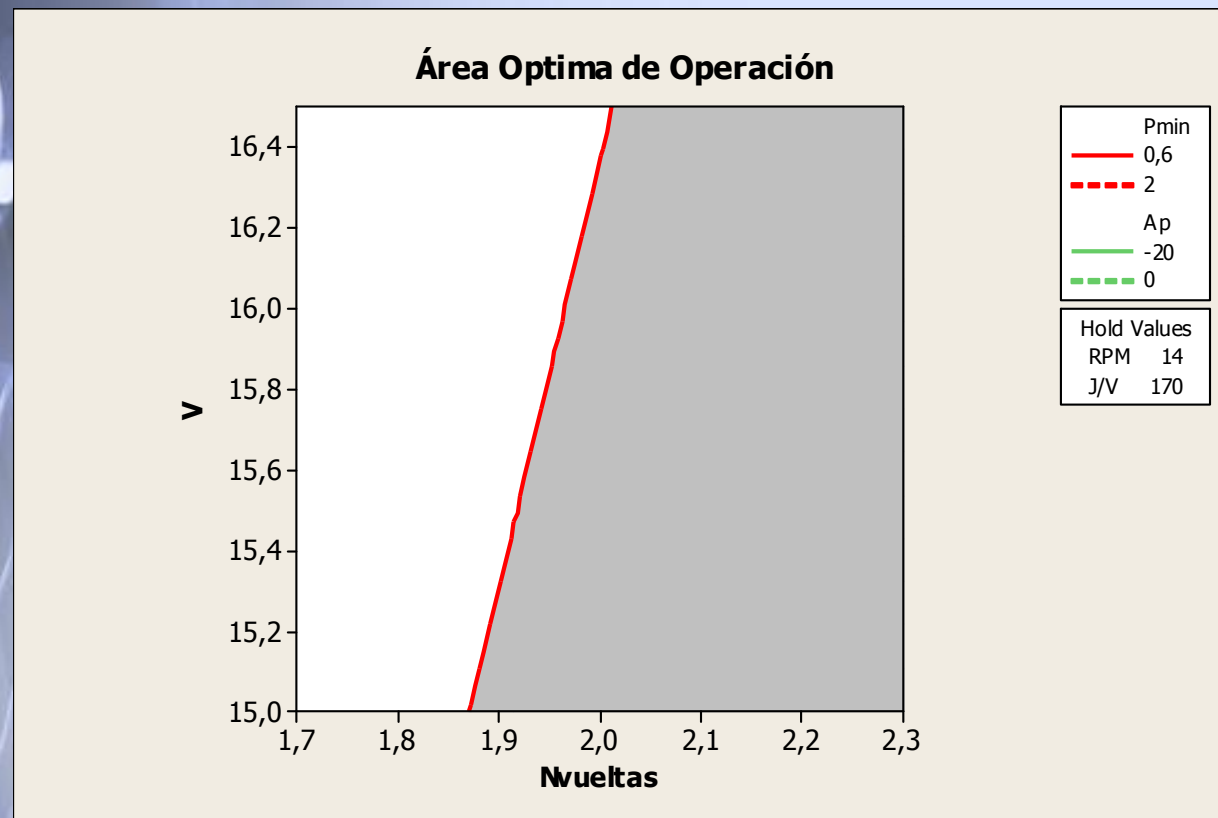
## Relaciones Funcionales





# Optimización del Proceso

- ❑ Optimización simultánea (dos resultados a conseguir con un solo punto)
- ❑ Problema “puramente” matemático → Minitab



# Optimización del Proceso

Pero, ¿qué punto del espacio posible es el óptimo?



**El que tenga menos variabilidad en  $P_{mín}$  y en  $A_p$ .**

# Optimización del Proceso

$$DE P_{\min} = F(x)$$

- No depende de ninguna variable

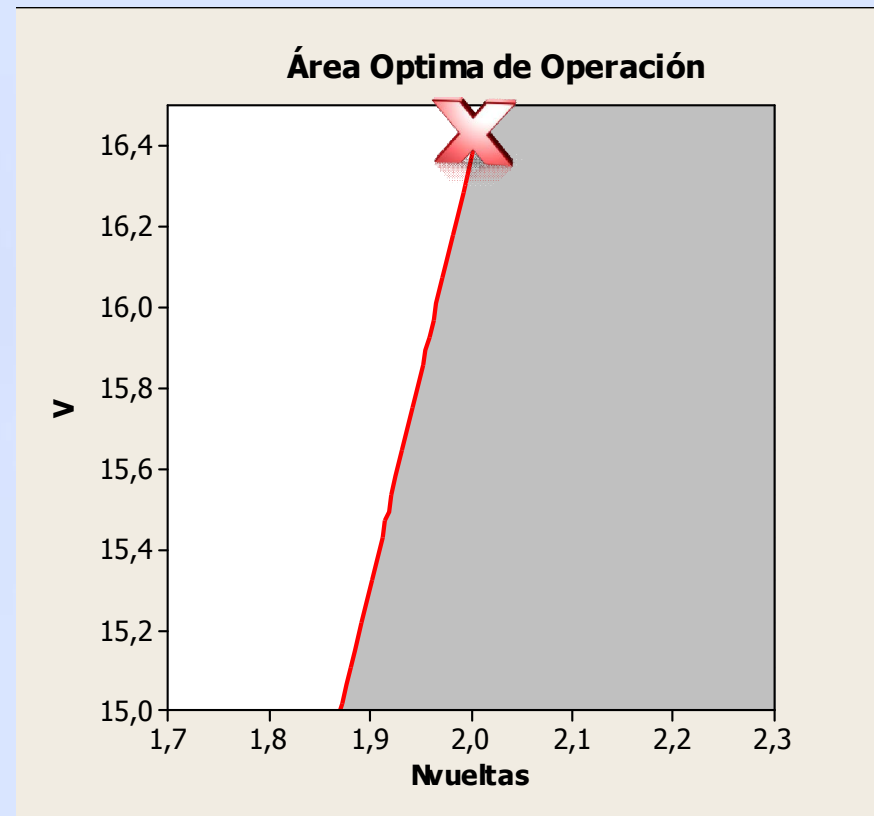
$$DE A_p = F(x)$$

- No. De Vueltas\*\*
- RPM - Valor fijo
- J/V – Valor Fijo

El valor del No. De Vueltas en la ecuación es negativo, de manera que la  $DE A_p$  disminuye cuando aumenta el no. de vueltas.

# Optimización del Proceso

Valor	Variables
2	No.Vueltas
16,5	Voltaje
14	Rpm
170	J/V



# Control del Proceso

Determinar los intervalos de variación para cada una de las variables, para asegurar:

$$Z_{P_{\min}} = 5$$

$$Z_{A_p} = 5$$





**Muchas Gracias!**



# **Máster en Gestión de Calidad**

## **ENUSA**

*Mejora del Proceso de Soldadura  
de Barras de Combustible*

**Martha de León**  
**Ariel Espejo**  
**Bileika Santana**

14/07/2009

# Aplicación de Seis Sigma al Proceso de Soldadura de Barras de Combustibles

---

**Enusa Industrias Avanzadas, S.A.** se dedica al diseño, la fabricación y el abastecimiento de combustible a centrales españolas e internacionales. Presta servicios de ingeniería y combustible, y además, suministra el uranio enriquecido necesario para el funcionamiento de las centrales nucleares.

## I. Antecedentes del Proyecto

Las barras de combustible PWR han experimentado problemas históricos en el proceso de soldadura del Tubo-Tapón superior de las barras, en dos características de aceptación importantes:

- ❖ **Penetración axial de la soldadura:** Dificultad en la soldadura del material.
- ❖ **Fusión del muelle:** Fundición del muelle en la base del tapón.

El problema radica en que no es aceptable nada de muelle fundido, lo que provoca que el input térmico aportado en la soldadura no pueda ser muy alto y no se llegue a la mínima penetración axial requerida en la inspección.

### Objetivo

En vista de lo planteado anteriormente y dada la importancia de la hermeticidad de la barra y del impacto que esto provoca en los costes de inspección, el objetivo de este proyecto es optimizar las condiciones de operación del proceso de soldadura para conseguir buena penetración y ausencia de partículas de muelle fundido, para así evitar rechazos y mantener la fiabilidad en el comportamiento del combustible.

**Z Objetivo = 5**

## II. Definición del Proyecto

El proyecto consiste en mejorar la calidad del proceso de soldadura a través del conocimiento que del mismo se obtendrá mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma.

Con este fin se crea un Grupo Operativo de Calidad (GOC) encuadrado en el Grupo de Mejora de Calidad de Fabricación (GMCF) para desarrollar el proyecto de mejora: “Cambio de Diseño de los Tapones de las Barras de Combustibles PWR”.



## Aplicación de la Metodología DfSS al GOC

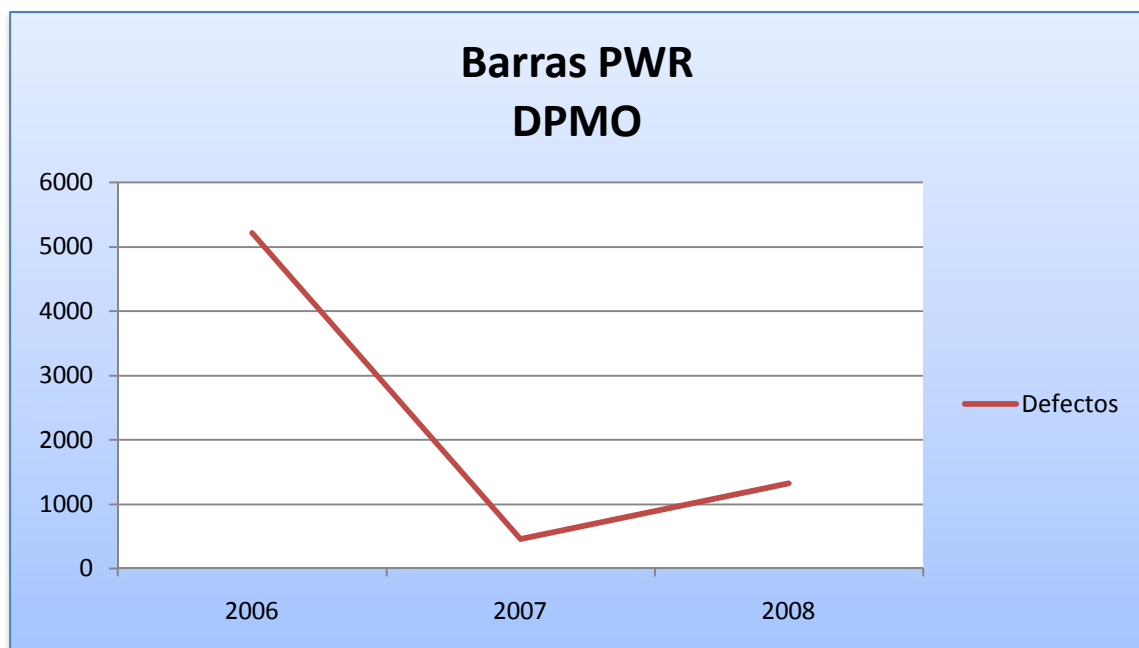
La metodología propuesta para llevar a cabo el GOC de la manera más eficiente y efectiva es una variante de Seis Sigma denominada Diseño para Seis Sigma (DfSS). Esta variante es de aplicación para los proyectos en que el producto ha de ser modificado con el fin de satisfacer determinados requisitos.

### Plan de Trabajo

El orden de trabajo a seguir es el siguiente:

- 1) Planteamiento del problema.
- 2) Recolección y validación de datos.
- 3) Determinar las relaciones de causa y efecto.
- 4) Determinar el espacio de variación de las variables críticas que satisfacen el valor medio de la salida.
- 5) Determinar las variabilidades específicas de las variables críticas.
- 6) Calcular la variabilidad de la salida como función de las variables de entrada.
- 7) Seleccionar combinaciones de variables de entrada que minimicen la variabilidad de salida.
- 8) Determinar las tolerancias en las variables de entrada que permitan conseguir el nivel de calidad deseado en la salida.

### III. Etapa de Medida



En esta etapa estudiamos los datos históricos, y lo que observamos fue que, luego de una disminución considerable de los defectos por millón de oportunidades del año 2006 al 2007, esta cantidad volvió a aumentar en el año 2008.

También calculamos la capacidad del proceso para el año 2008, y vimos que el proceso se encontraba fuera de control.

#### IV. Etapa de Análisis

Realizamos un diagrama de causa y efecto para identificar posibles causas de la mala penetración y fusión del muelle. El grupo de expertos de Enusa selecciono el conjunto de parámetros del equipo, considerando cuatro variables:

- ❖ Numero de Vueltas soldadas
- ❖ Velocidad de giro (rpm)
- ❖ Voltaje (V)
- ❖ Área de la curva Intensidad/Tiempo (J/V)

#### Planteamiento del DOE

El grupo operativo de calidad decide realizar una serie de pruebas de soldadura con el diseño actual del tapón superior y dos nuevos diseños. Los resultados de estas pruebas servirán para la elección del diseño definitivo.

Luego de seleccionar el tubo combustible, el muelle y plenum de barra, más representativos del producto PWR, se procede a realizar las pruebas.

Para las pruebas se variaran las variables de proceso antes mencionadas: Número de Vueltas, Velocidad de giro (rpm), Voltaje (V), Área de la curva Intensidad/Tiempo (J/V).

La matriz de ensayos para cada uno de los tres tipos de tapón es un diseño factorial, con cuatro parámetros, a dos niveles más un punto central y tres repeticiones. Esto supone 81 ensayos, 27 ensayos por cada tipo de tapón.

Variable	Mínimo	Medio	Máximo
Numero de vueltas soldadas	1,7	2	2,3
Velocidad de giro (rpm)	14	17	20
Voltaje (V)	15	15,75	16,5
Área de la curva Intensidad / tiempo (J/V)	170	185	200

Con los datos que arrojaron estas pruebas, realizamos una serie de análisis estadísticos para descartar alguna de las múltiples variables que pudiera afectar al proceso. Lo que descubrimos fue que las cuatro variables son significativas y que además las relaciones funcionales de estas son complejas.

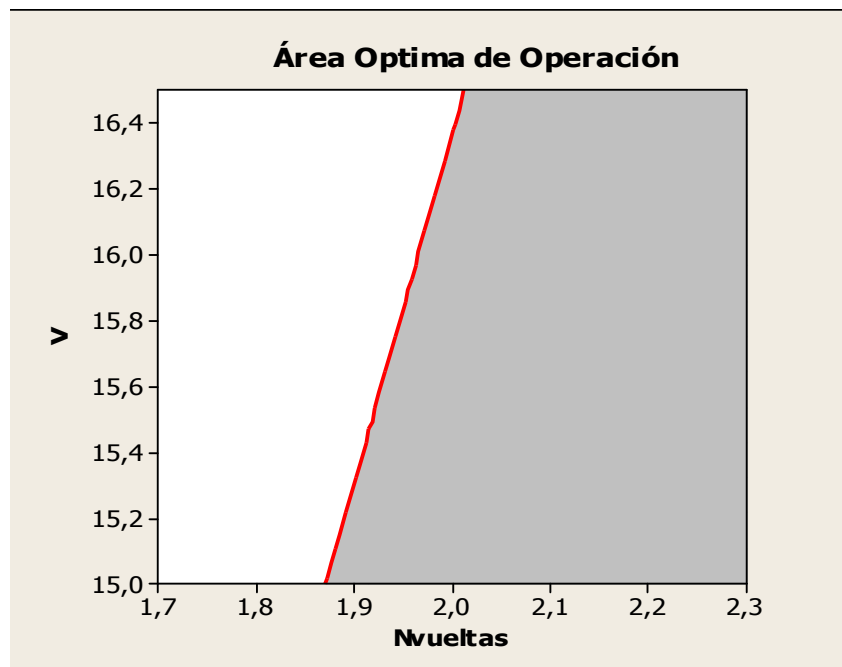
El diseño del tapón que decide optimizar el grupo de expertos de Enusa es el actual, ya que luego de las pruebas se observó que el diseño del tapón no es lo que afecta al proceso, sino las cuatro variables analizadas.

## V. Optimización del Proceso

Para optimizar el proceso necesitamos un punto óptimo para dos resultados: penetración y fusión del muelle, es decir, buscamos una optimización simultánea.

Este punto será el que tenga menos variabilidad para la penetración mínima y las partículas de la fusión del muelle, dentro del área aceptable.

Mediante pruebas estadísticas, observamos que la variabilidad de la penetración no depende de ninguna de las variables, mientras que la variabilidad del área de las partículas de la fusión del muelle disminuye cuando aumenta el número de vueltas. De esta manera encontramos el punto óptimo buscado.



El siguiente paso para el equipo de mejora de Enusa, será determinar los intervalos de variación de cada una de las variables, para asegurar el control del proceso, garantizando el objetivo de: **Z Penetración min = 5 y Z Área Partículas Fusión = 5**