

# “Jornada sobre Mejora Competitiva con 6 Sigma / Lean”

## MIX de Proyectos 6 Sigma

*Juan Ignacio Ballesteros*  
6 Sigma "Master Black-Belt"  
Mejora Continua  
Enusa Industrias Avanzadas, S.A.  
ibg@fab.enusa.es

Fecha: 13/06/13



## Fábrica de Elementos Combustibles de Juzbado



**Puesta en marcha en 1985**

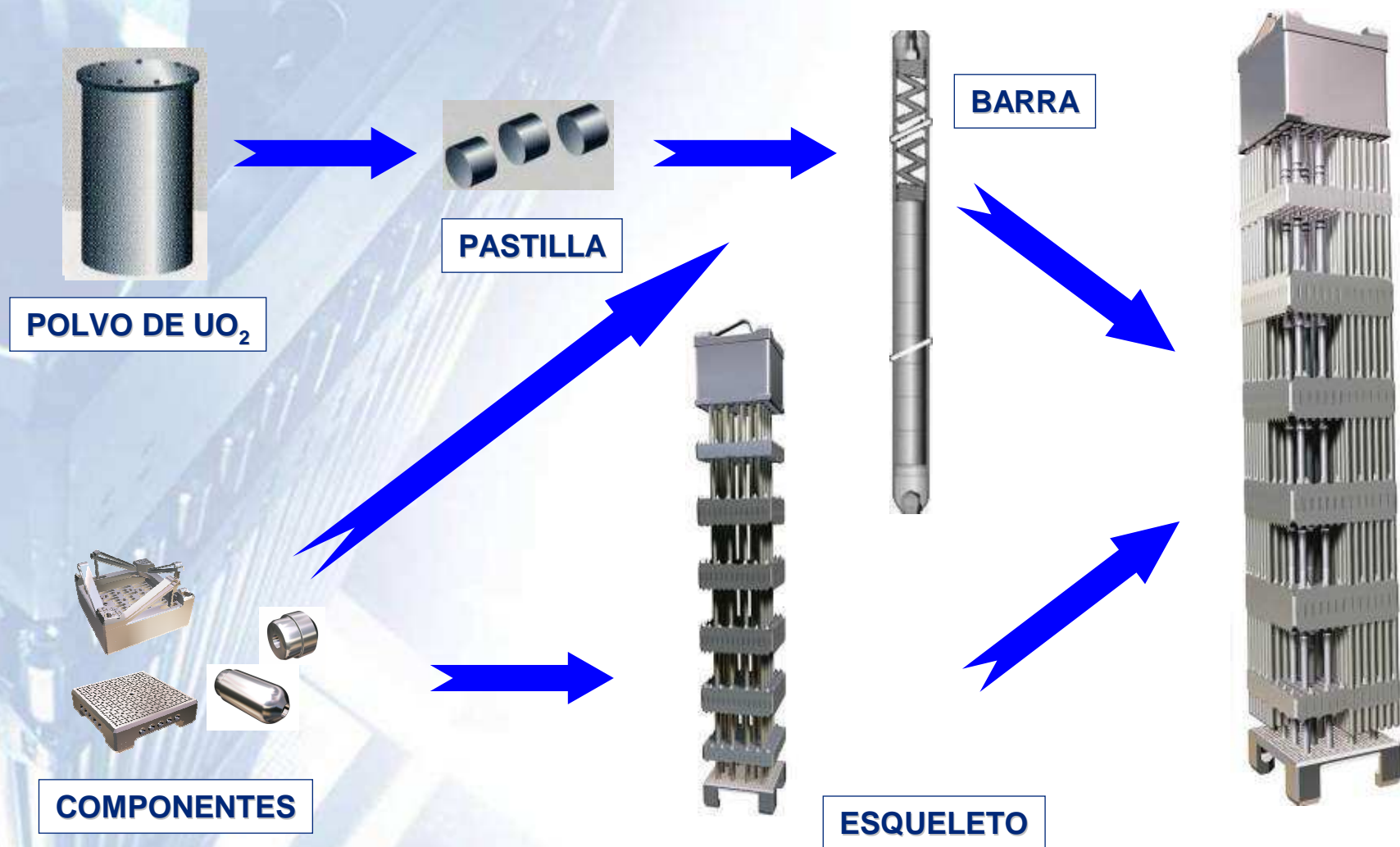
**Productos a Fabricar: Elementos Combustibles PWR - BWR**



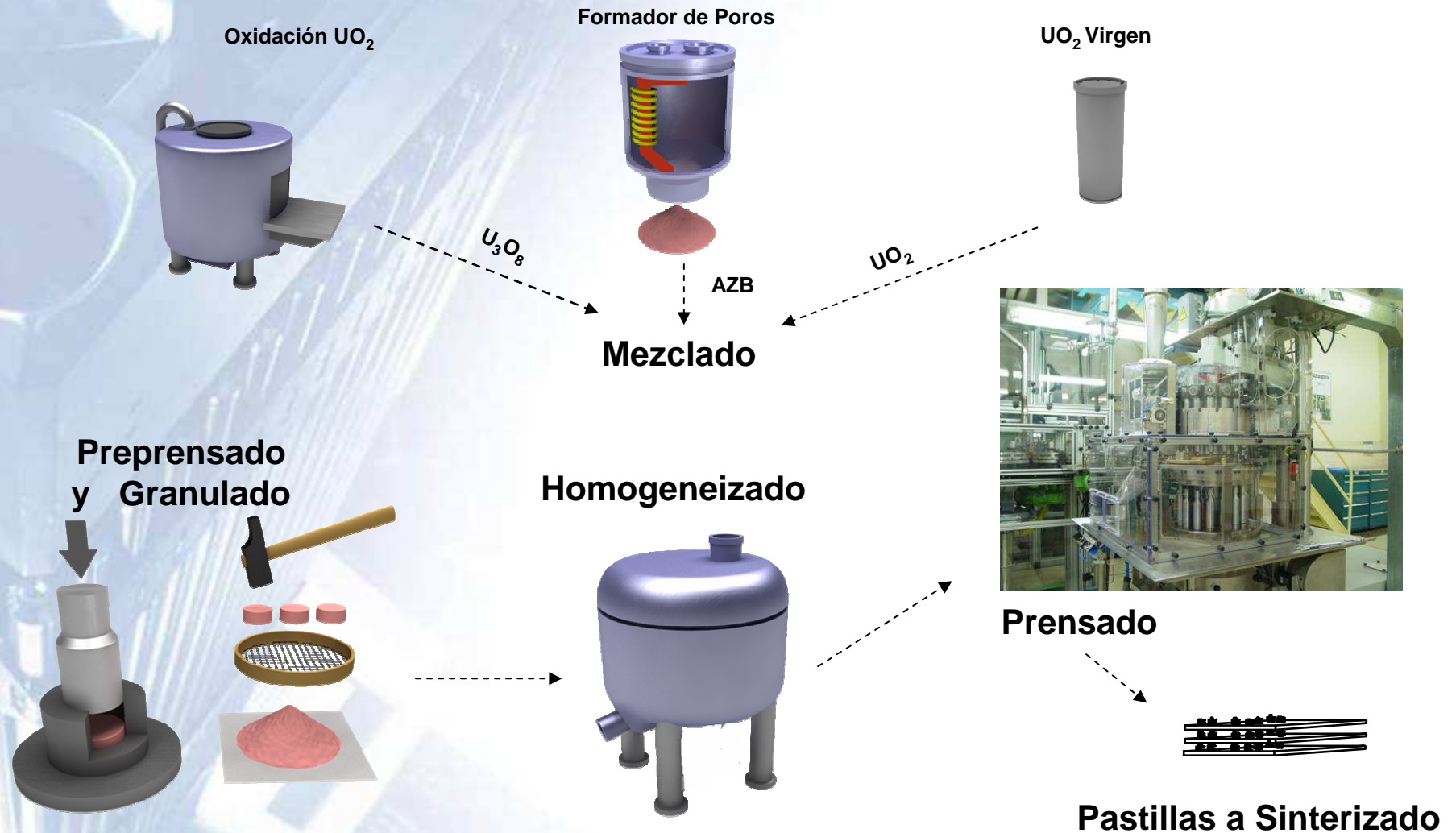
## Catálogo de Productos



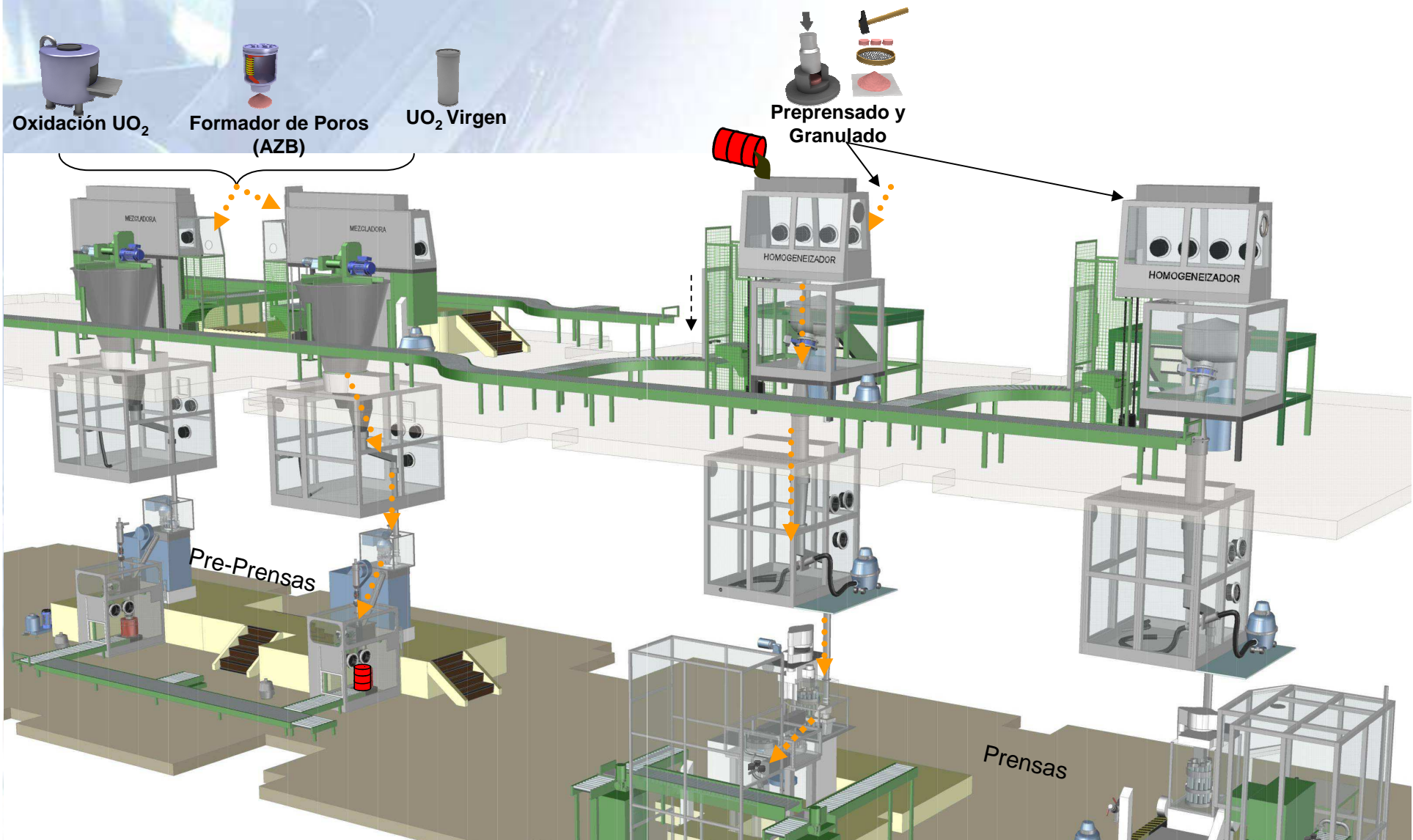
## Proceso de Fabricación



# Proceso Cerámico I: Preparación y Prensado de Polvo de Uranio



# Proceso Cerámico I: Preparación y Prensado de Polvo de Uranio



# Proceso Cerámico II: Sinterizado, Rectificado e Inspección Pastillas

Pastillas en Verde

Rectificado

Inspección  
Diámetro  
Pastillas

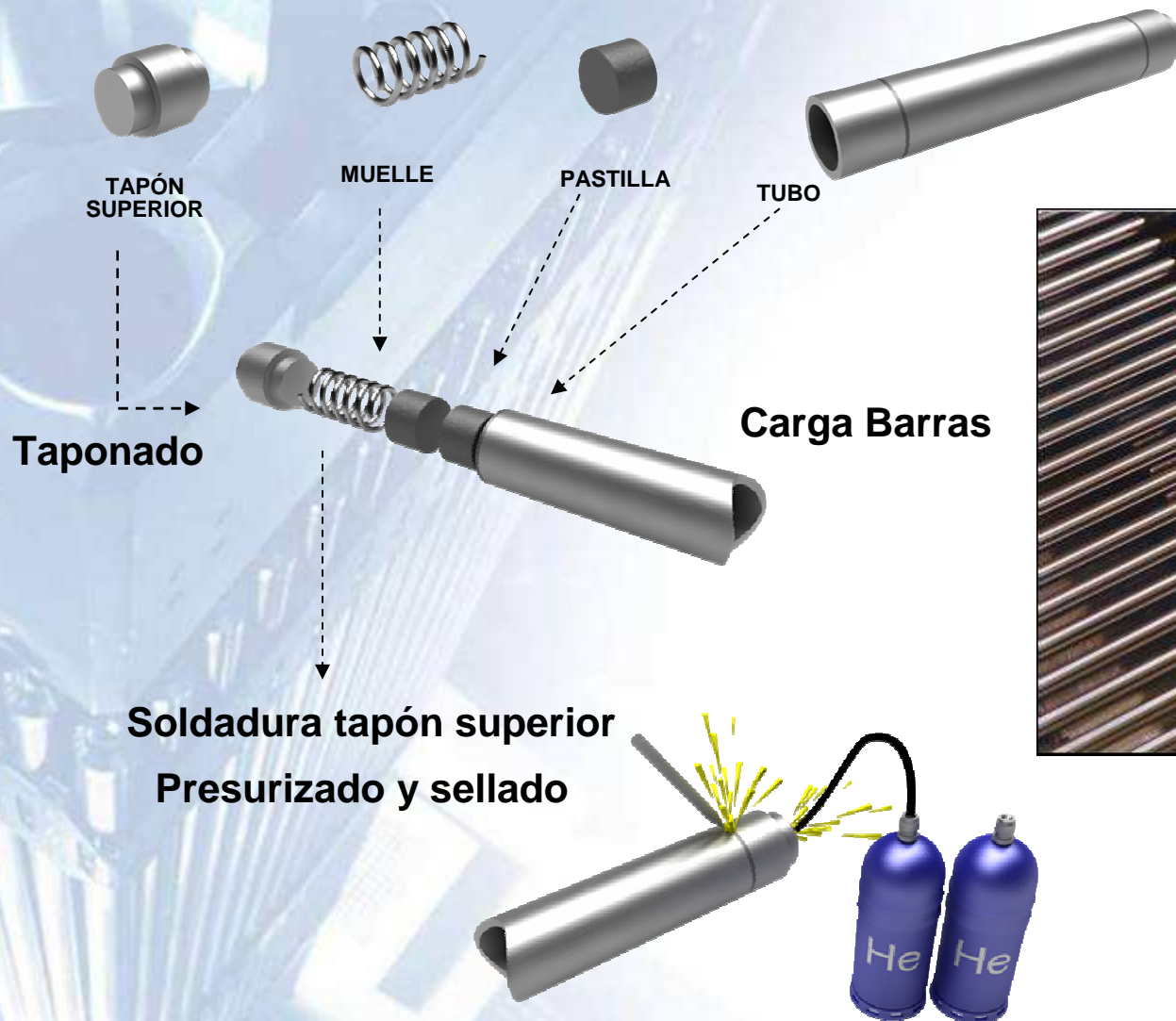
Inspección  
Visual y Final

Carga de  
Barras

Sinterizado



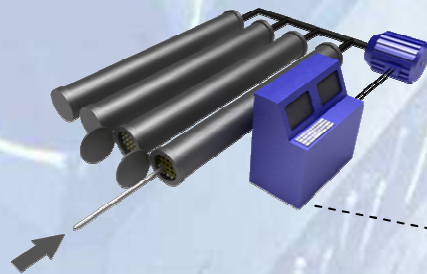
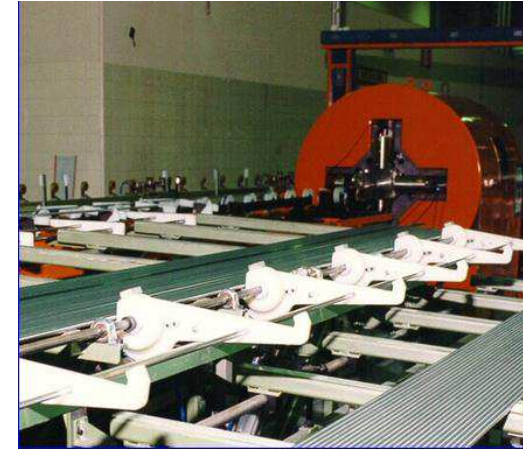
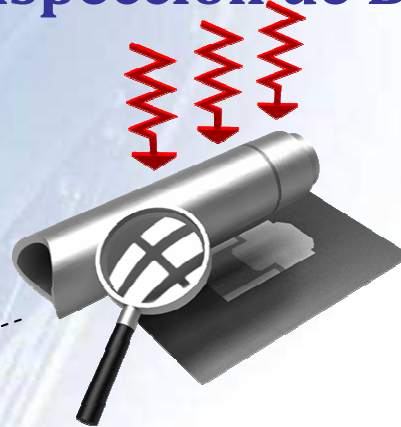
# Proceso de Fabricación de Barras Combustibles



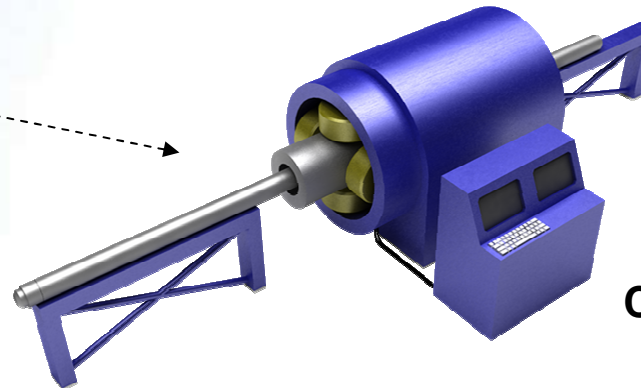


# Proceso de Inspección de Barras Combustibles

inspección  
radiológica y/o Ut

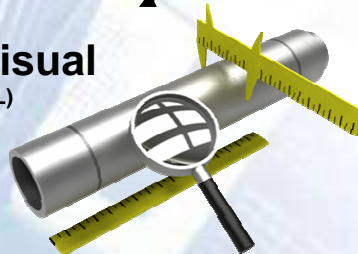


Detector de fugas



Gamma Scanner  
(Activo y Pasivo)  
+  
Corrientes Inducidas

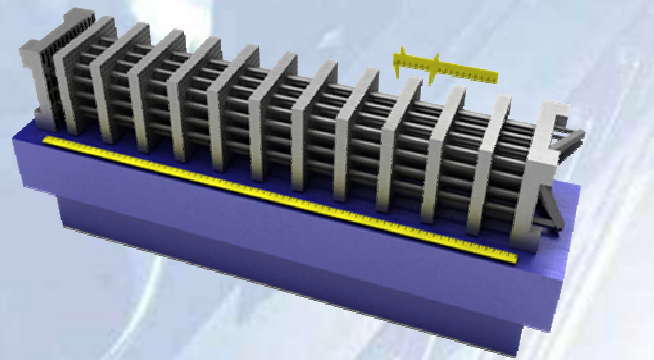
Inspección Visual  
(DIMENSIONAL & VISUAL)



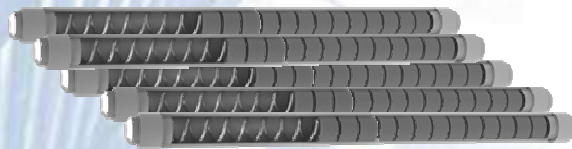
Montaje Final



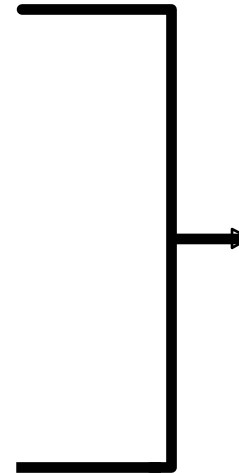
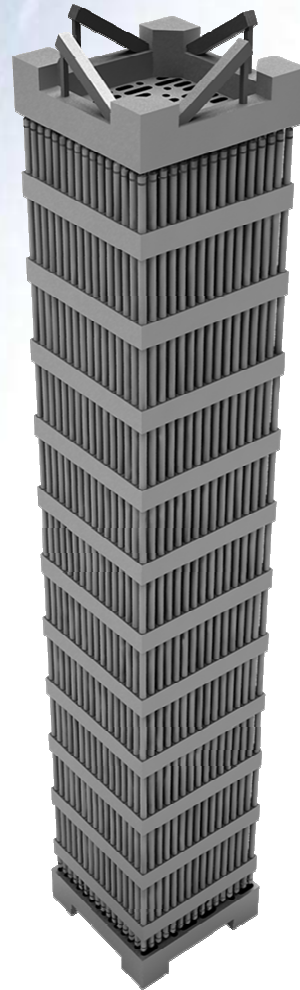
## Montaje Final del Elemento Combustible PWR



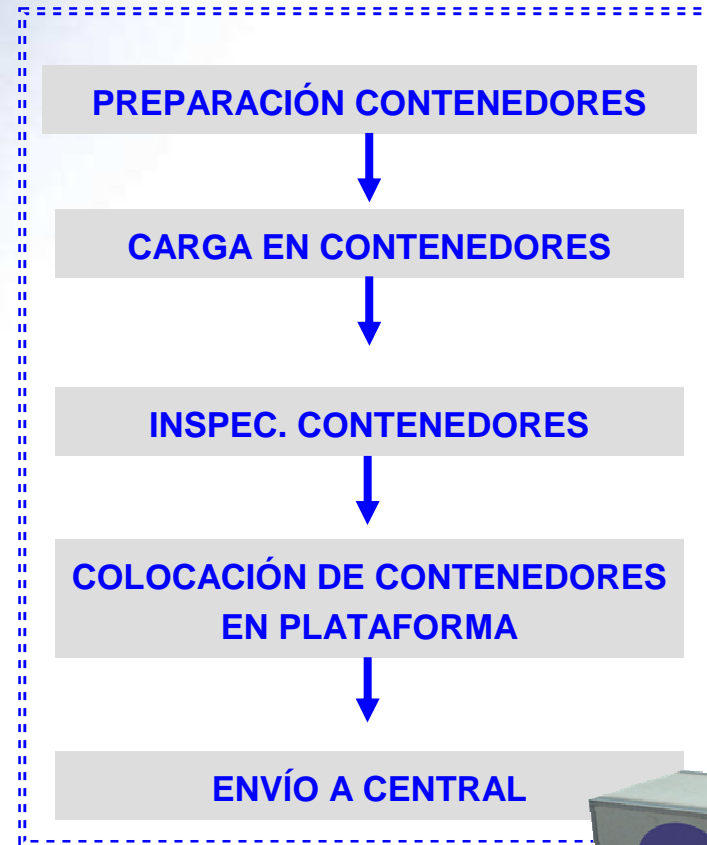
ESQUELETO



BARRAS



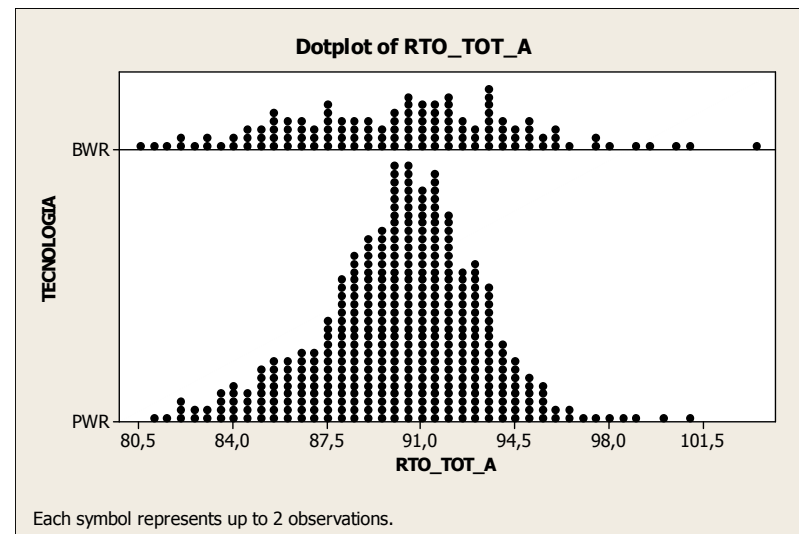
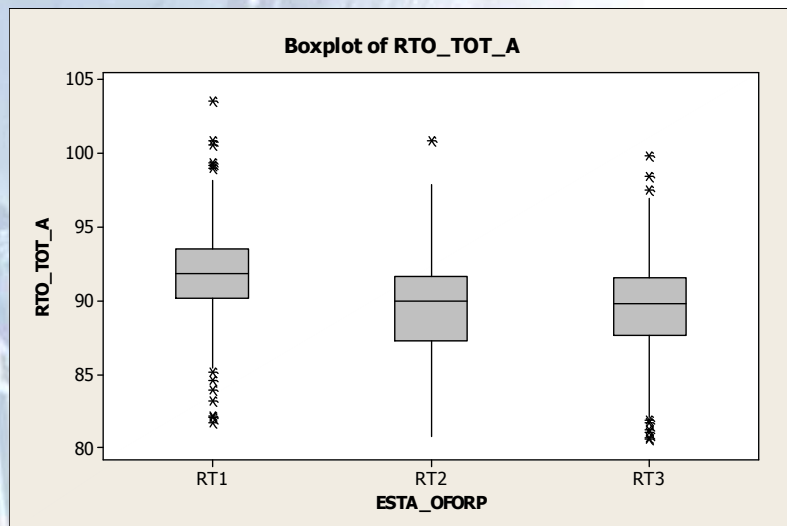
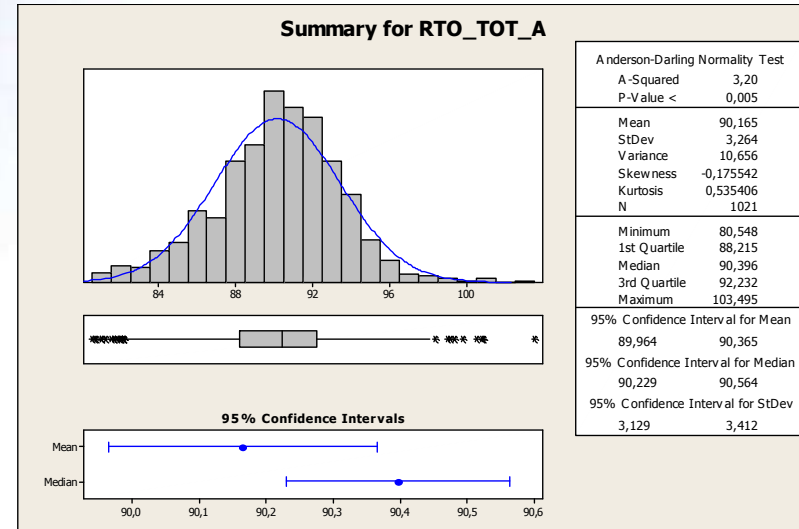
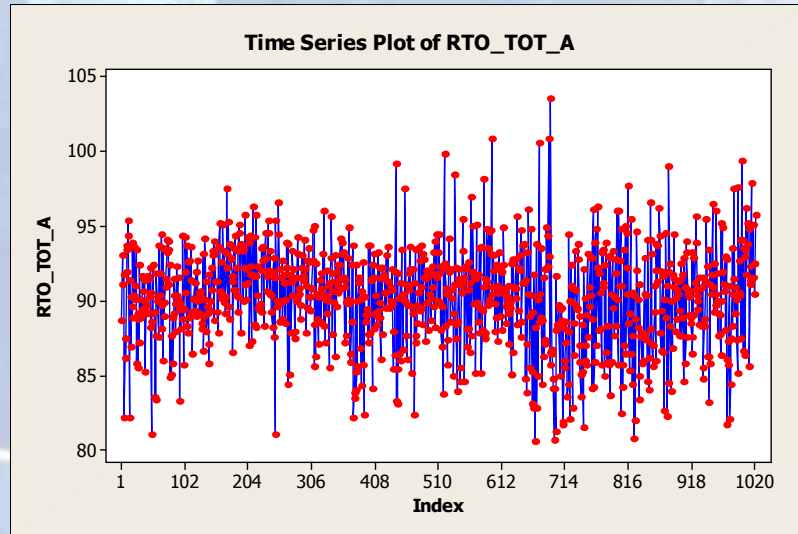
## Embalaje y Transporte



# **Resumen de Proyectos 6 Sigma realizados en la Fábrica de Juzbado utilizando MINITAB**

# Estadística Descriptiva

## Objetivo: Análisis de rendimientos



## Contrastes de Hipótesis

**Objetivo: Comparación del rendimiento del polvo de  $UO_2$  por suministradores.**

**Two-Sample T-Test and CI: RTO\_TOT\_A; TIPOPOLVO**

Two-sample T for RTO\_TOT\_A

TIPOPOLVO	N	Mean	StDev	SE Mean
GNF	129	90,22	4,30	0,38
SFL	892	90,16	3,09	0,10

Difference = mu (GNF) - mu (SFL)

Estimate for difference: 0,061

95% CI for difference: (-0,714; 0,836)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,16 **P-Value = 0,876** DF = 147

**No hay ninguna diferencia estadísticamente significativa. P-Value = 0,876**

**Objetivo: Comparación del rendimiento del polvo de  $UO_2$  por tecnologías.**

**Two-Sample T-Test and CI: RTO\_TOT\_A; TECNOLOGIA**

Two-sample T for RTO\_TOT\_A

TECNOLOGIA	N	Mean	StDev	SE Mean
BWR	224	90,06	4,13	0,28
PWR	797	90,19	2,98	0,11

Difference = mu (BWR) - mu (PWR)

Estimate for difference: -0,137

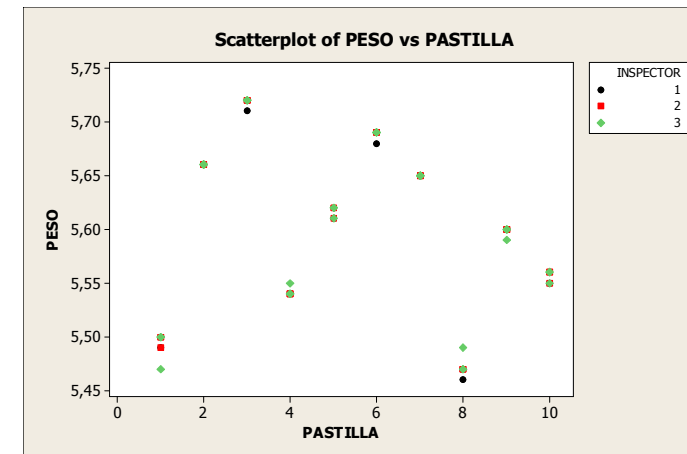
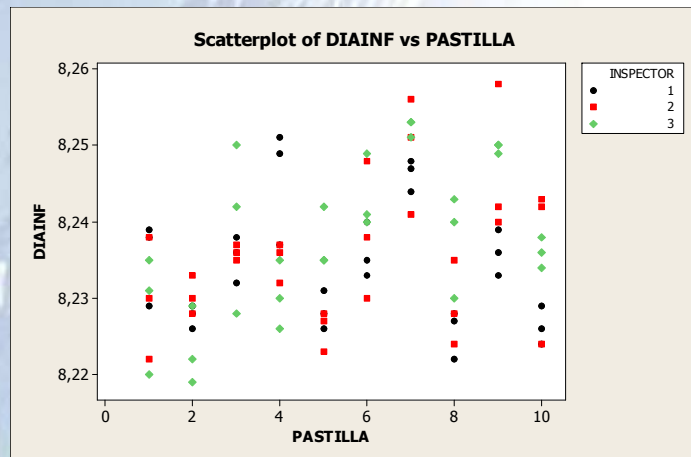
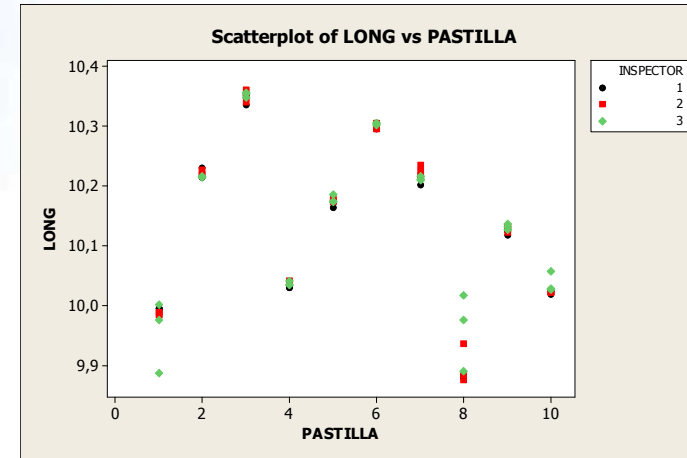
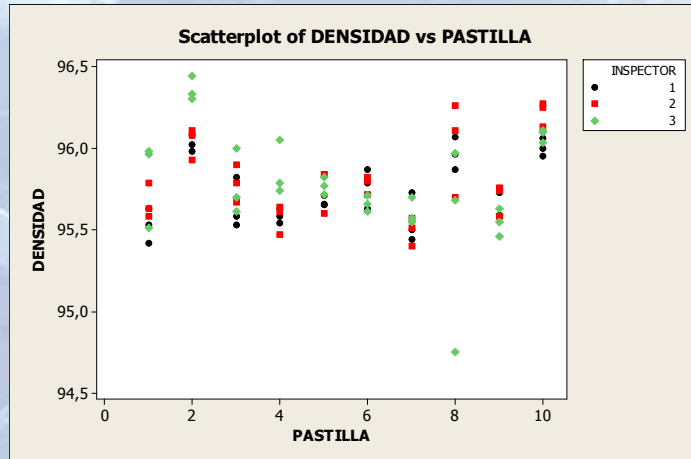
95% CI for difference: (-0,719; 0,445)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,46 **P-Value = 0,644** DF = 291

**No hay ninguna diferencia estadísticamente significativa. P-Value = 0,644**

# Análisis R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad)

**Objetivo:** Analizar el sistema de medida de la densidad de las pastillas

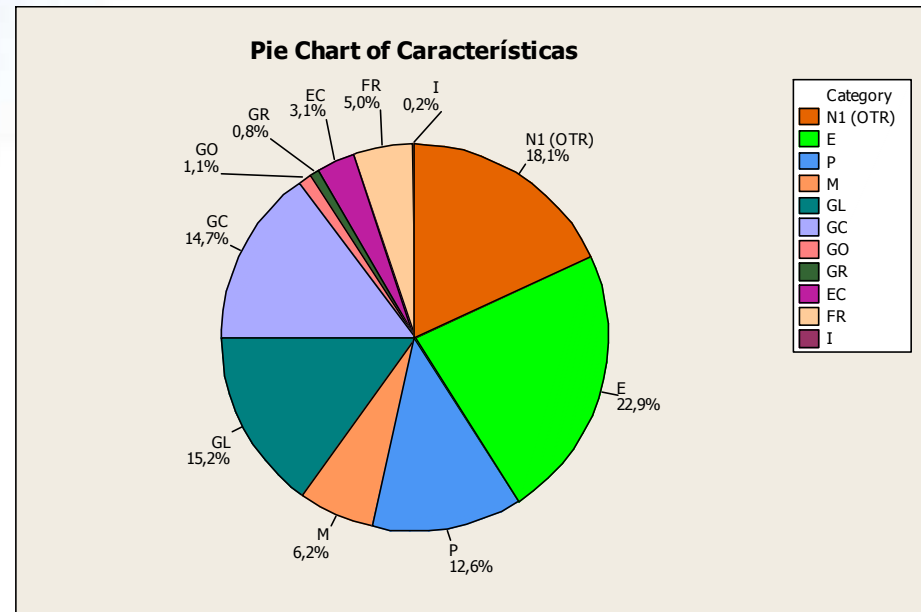
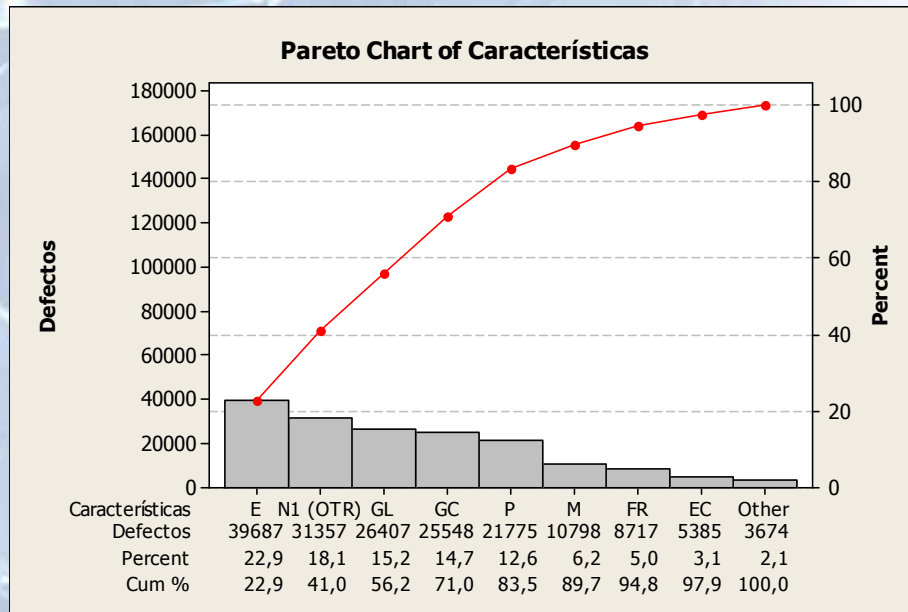


Los gráficos muestran los 9 valores (3 medidas de cada uno de los 3 inspectores) obtenidos para cada una de las 10 pastillas inspeccionadas.

Densidad = f(longitud, diámetro y peso)

## Diagramas de Pareto y pastel

Objetivo: Analizar el % de defectos Vs Las características de las pastillas



### Leyenda

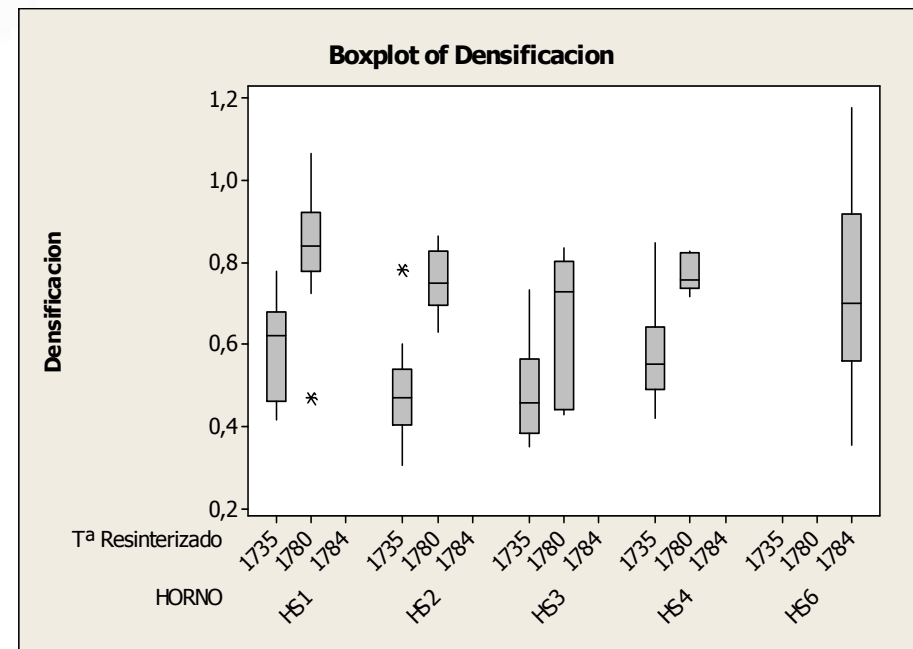
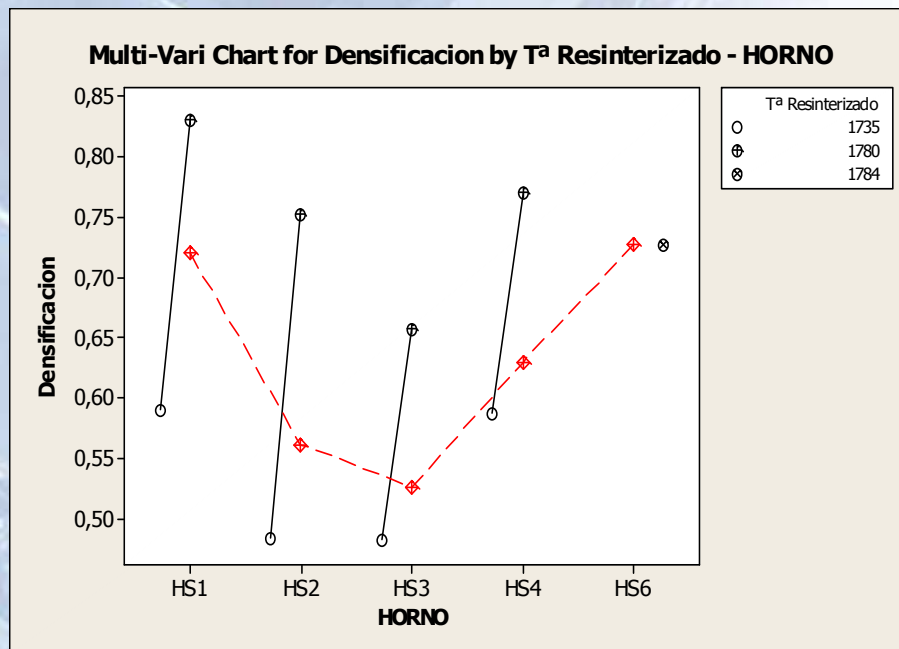
<b>N1(OTR) = Otros</b>	<b>GL = Grieta longitudinal</b>	<b>EC = "End-Capping"</b>
<b>E = Esquirlas laterales</b>	<b>GC = Grieta circular</b>	<b>FM = Falta material</b>
<b>P = Picaduras</b>	<b>GO = Grieta oblicua</b>	<b>FR = Falta rectificado</b>
<b>M = Mordeduras/Esquirla Basal</b>	<b>GR = Grieta ramificada/rechazable</b>	<b>I = Inclusión</b>



## Análisis Multivariable

**Objetivo:** Analizar la influencia de los factores : Temperatura de re-sinterizado y horno de sinterizado en el incremento de la densidad (densificación) de las pastillas.

Los gráficos muestran los valores de densificación cuando se re-sinterizan pastillas a diferentes temperaturas en diferentes hornos.

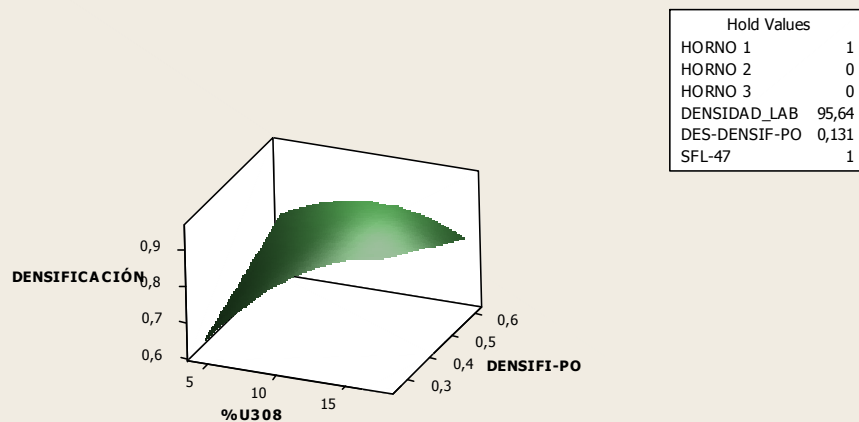


El incremento de densidad es proporcional al incremento de temperatura. La densificación, a la misma temperatura, no es igual en todos los hornos. Mediante el “Tukey Method”, se pueden comparar, dos a dos, los cuatro hornos para analizar si hay diferencias estadísticamente significativas.

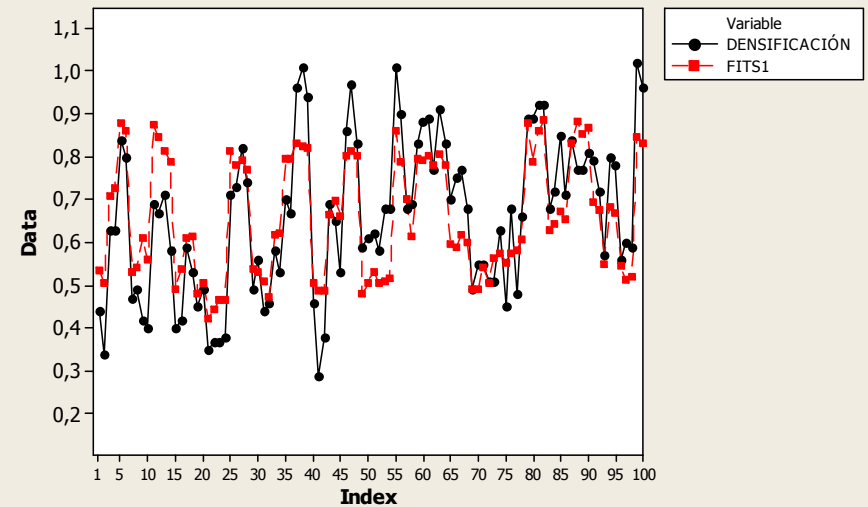
## Regresión Multifactorial

**Objetivo:** Establecer un Modelo Matemático de la densificación de las pastillas en función de los factores influyentes.

Surface Plot of DENSIFICACIÓN vs DENSIFI-PO; %U308



Time Series Plot of DENSIFICACIÓN; FITS1

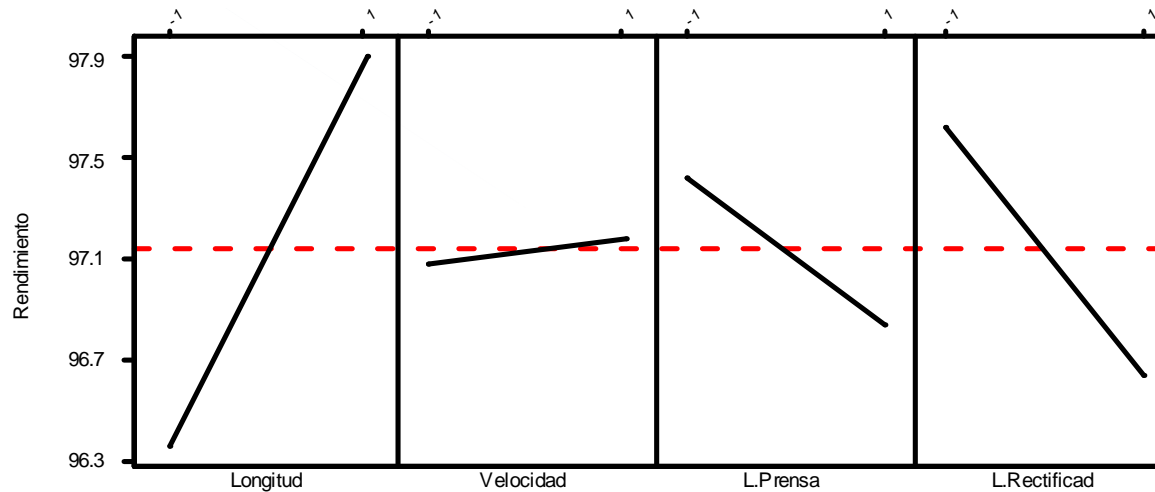


Modelo cuadrático de regresión de la densificación de las pastillas.

Se representa el valor de densificación en función de la densificación del polvo y el  $\%U_3O_8$ . (Resto de factores constantes) y se comparan los valores observados con los predichos por el modelo.

## Diseño de Experimentos DoE

Objetivo: Determinar los factores influyentes en el rendimiento.  
Experimento multifactorial completo a 2 niveles y cuatro factores.  
16 Ensayos.



### Factores

1. Longitud de la Pastilla
2. Velocidad de la prensa: Pastillas/Minuto
3. Línea Prensa.
4. Línea rectificado.

Respuesta: Rendimiento

***¡Sólo los factores longitud y línea de rectificado son significativos!***

## DoE Superficies de Respuesta

**Objetivo:** Aumentar el margen de calor de aporte en las soldaduras de las Barras Combustibles para evitar rechazos por fusión de muelle y por falta de penetración. Se aborda un cambio de diseño del tapón superior para cumplir con el objetivo.

Experimento DoE completo, 2 repeticiones y punto central. Superficie de respuesta (2º orden). Resolución completa de efectos

### Factores

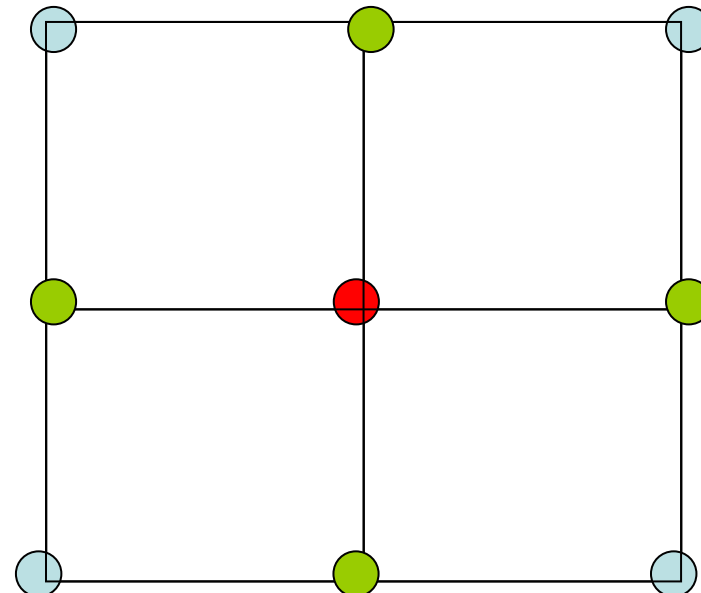
1. Recubrimiento (Nvuelatas)
2. Tensión (V)
3. RPM
4. Julios/Voltios (J/V)

### Respuestas

1. Penetración de soldadura (Pmin)
2. Muelle fundido (Ap)

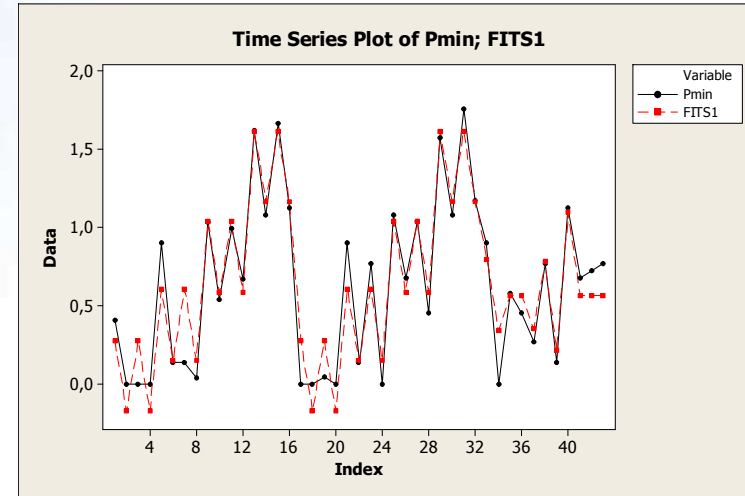
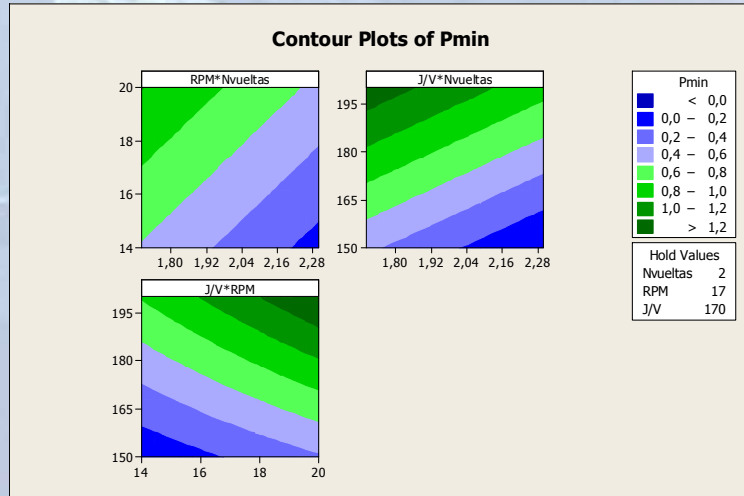
*¡A más calor, mejor penetración pero aparece muelle fundido!*

*¡A menos calor, peor penetración pero no aparece muelle fundido!*

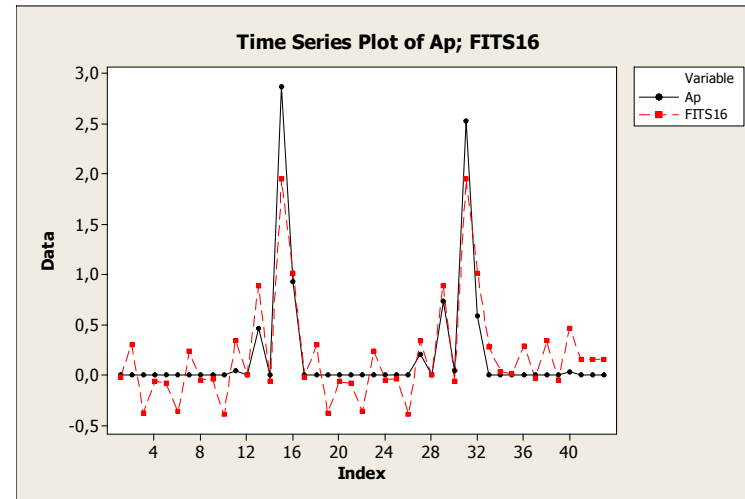
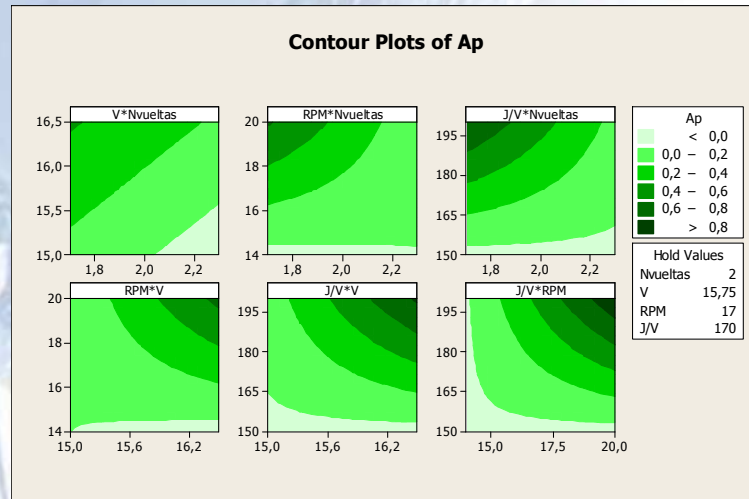


Experimento completo de superficie de respuesta

# Superficies de Respuesta. Modelos Matemáticos



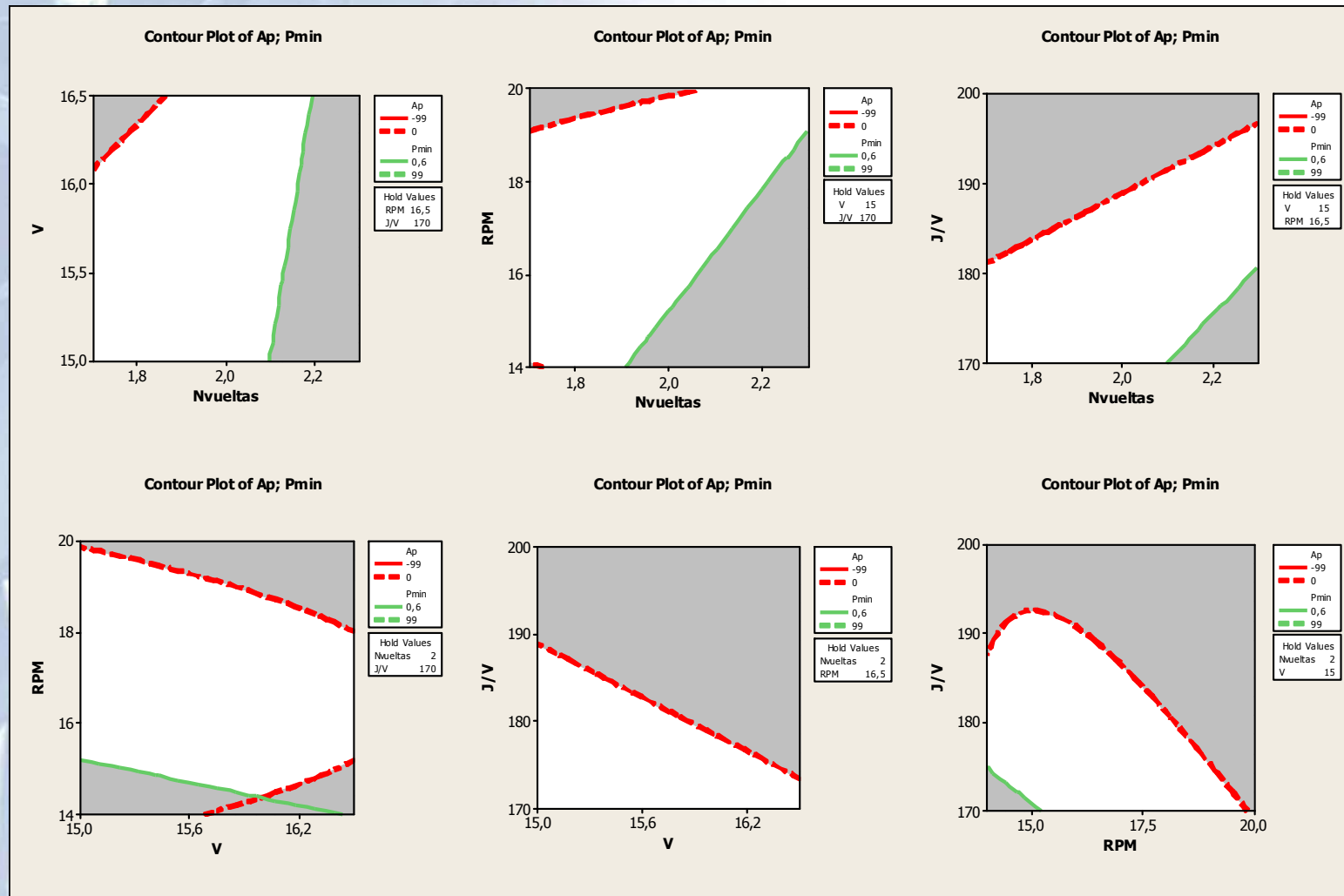
## Resultados: Penetración de soldadura (Pmin)



## Resultados: Muelle fundido (Ap)

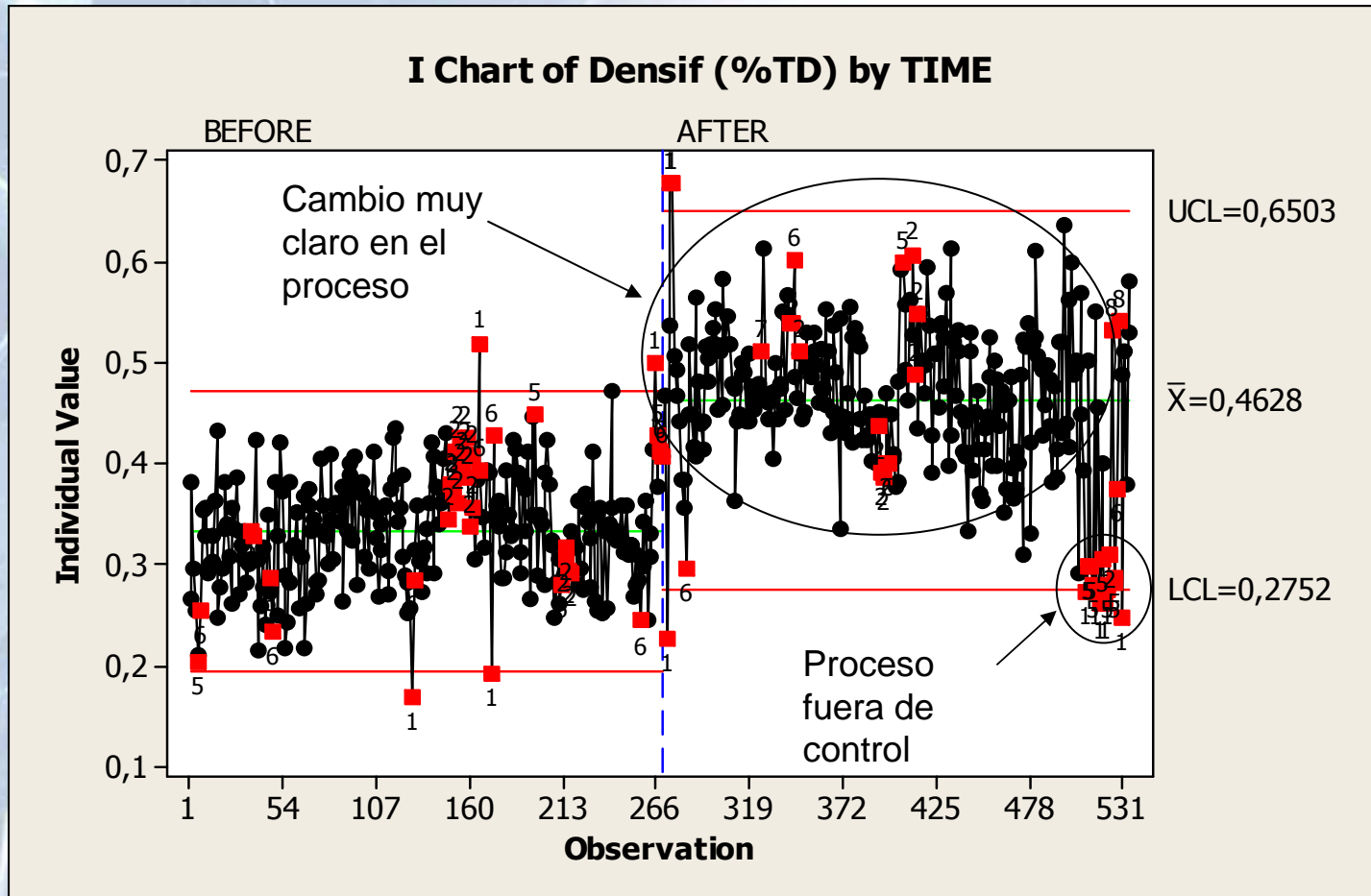
# Superficies de Respuesta. Espacio de Operación

Conjunto de puntos que satisfacen los requisitos operativos de forma simultánea. Por ejemplo:  $A_p = 0$  y  $P_{min} \geq 0,6$



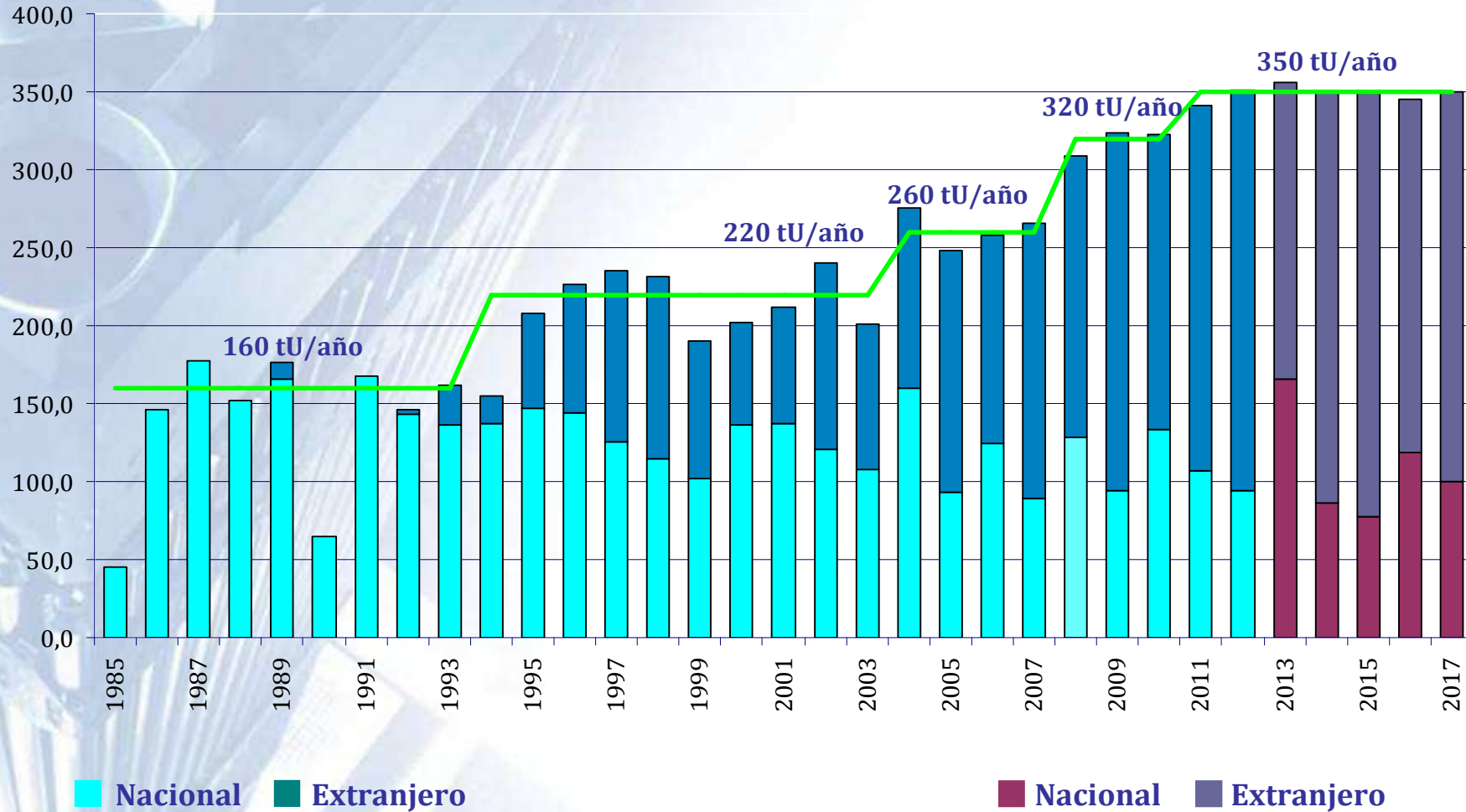
# Control de Proceso por Variables

Objetivo: Control de Proceso al Suministrador de Polvo de  $UO_2$ .



# Resultados: Fabricación Anual desde 1985

tU equivalentes





Fin de la presentación  
Gracias por su atención  
Mejora Continua ENUSA