

“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

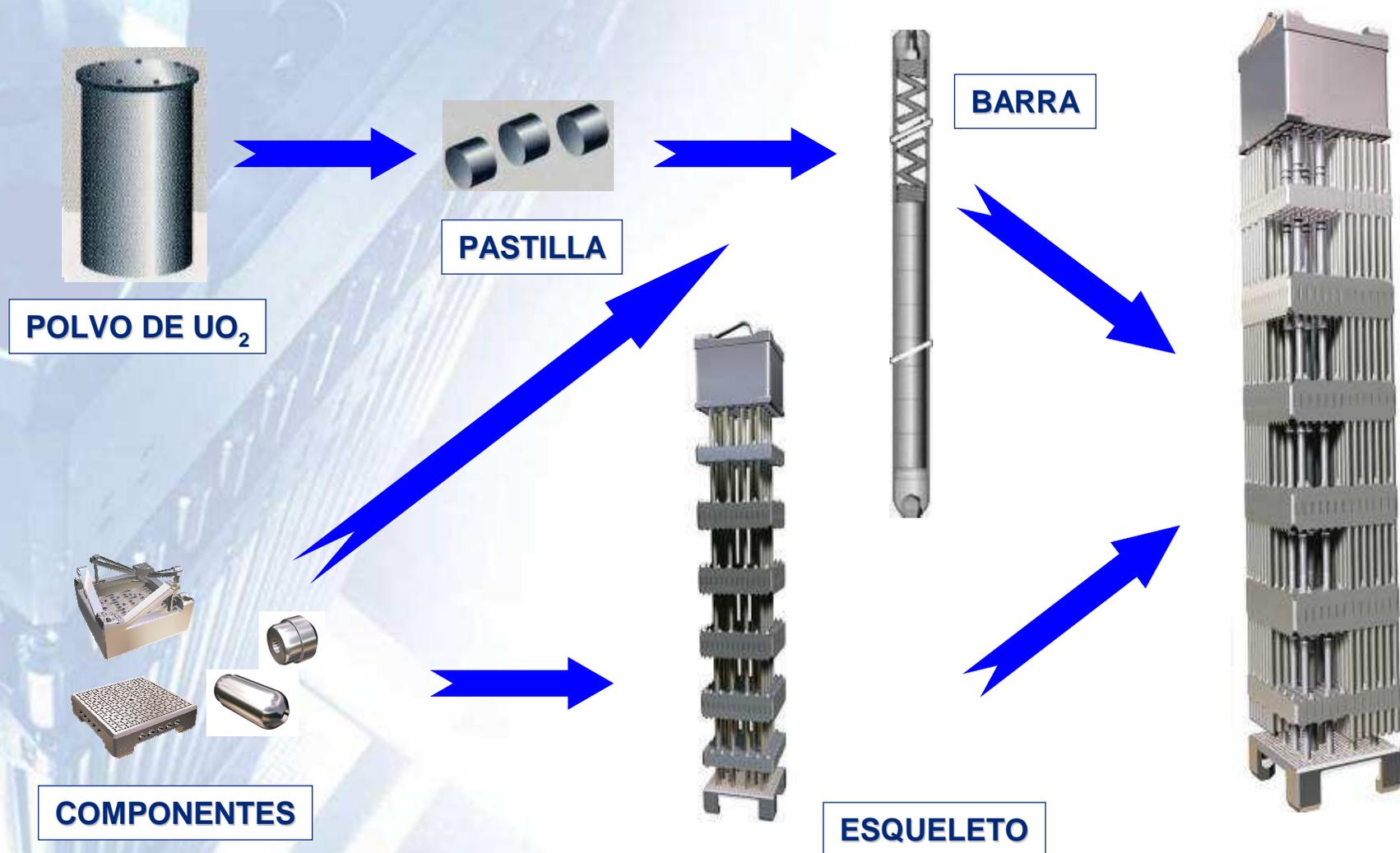
Productos a Fabricar: Elementos Combustibles PWR - BWR



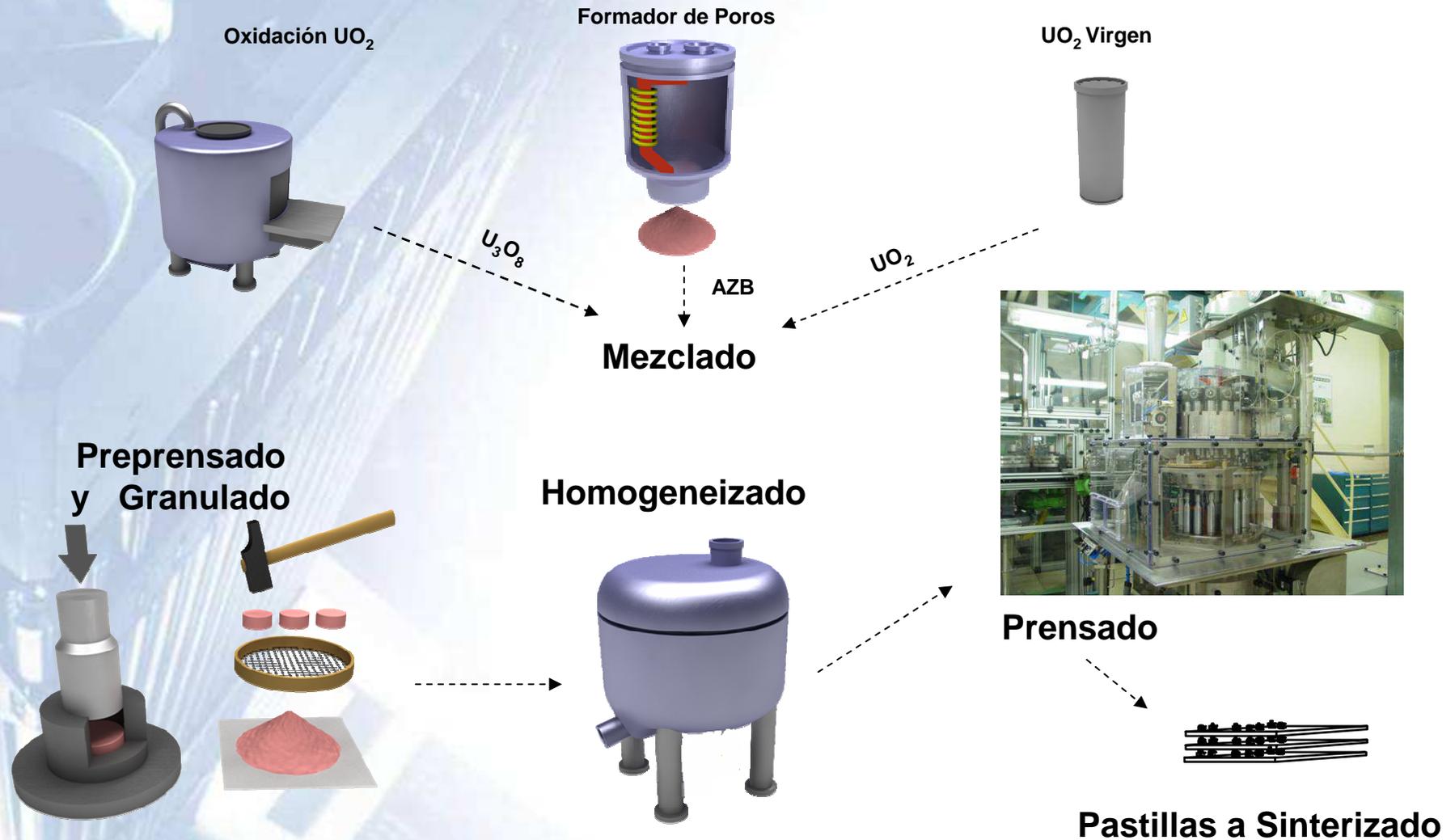
Catálogo de Productos



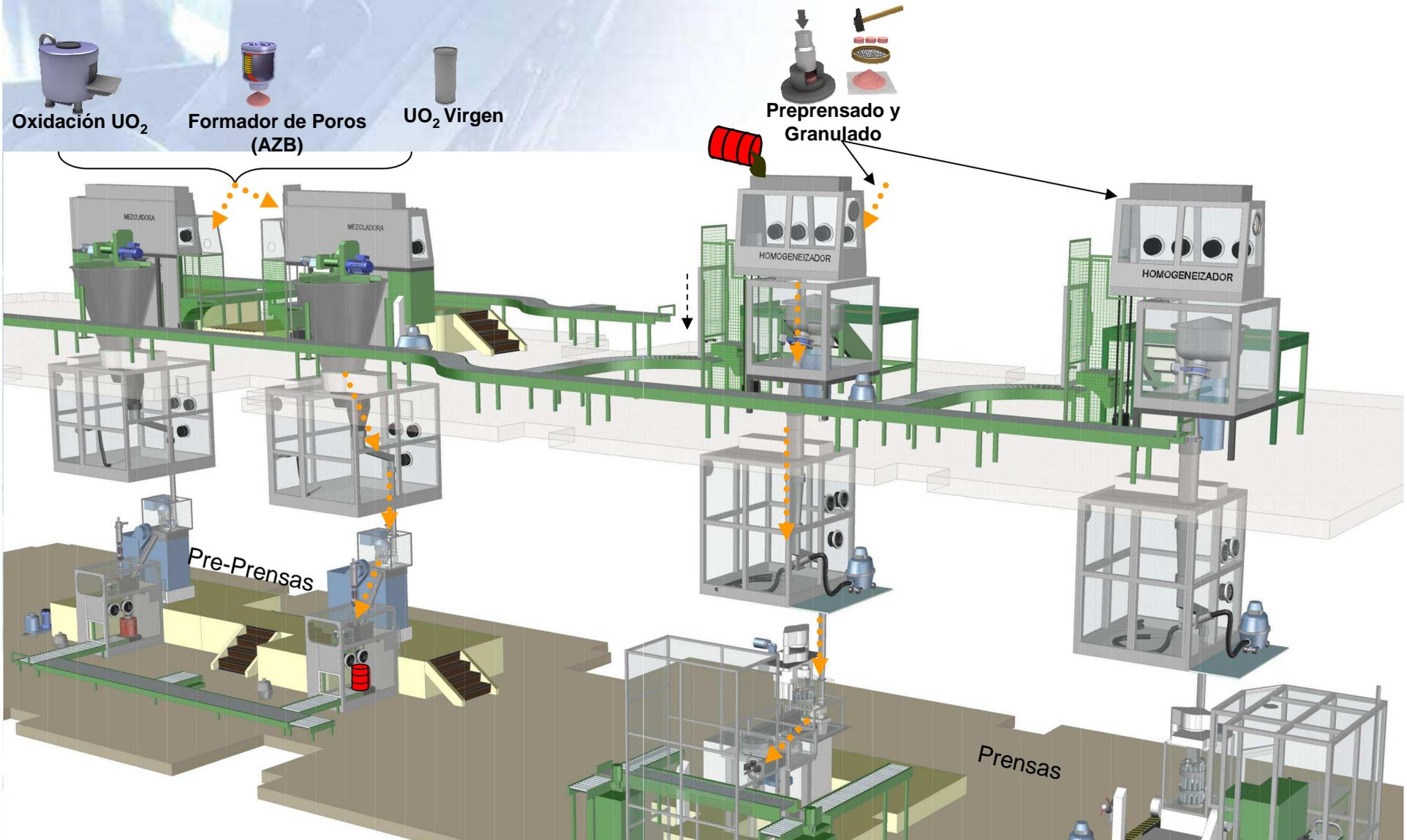
Proceso de Fabricación



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

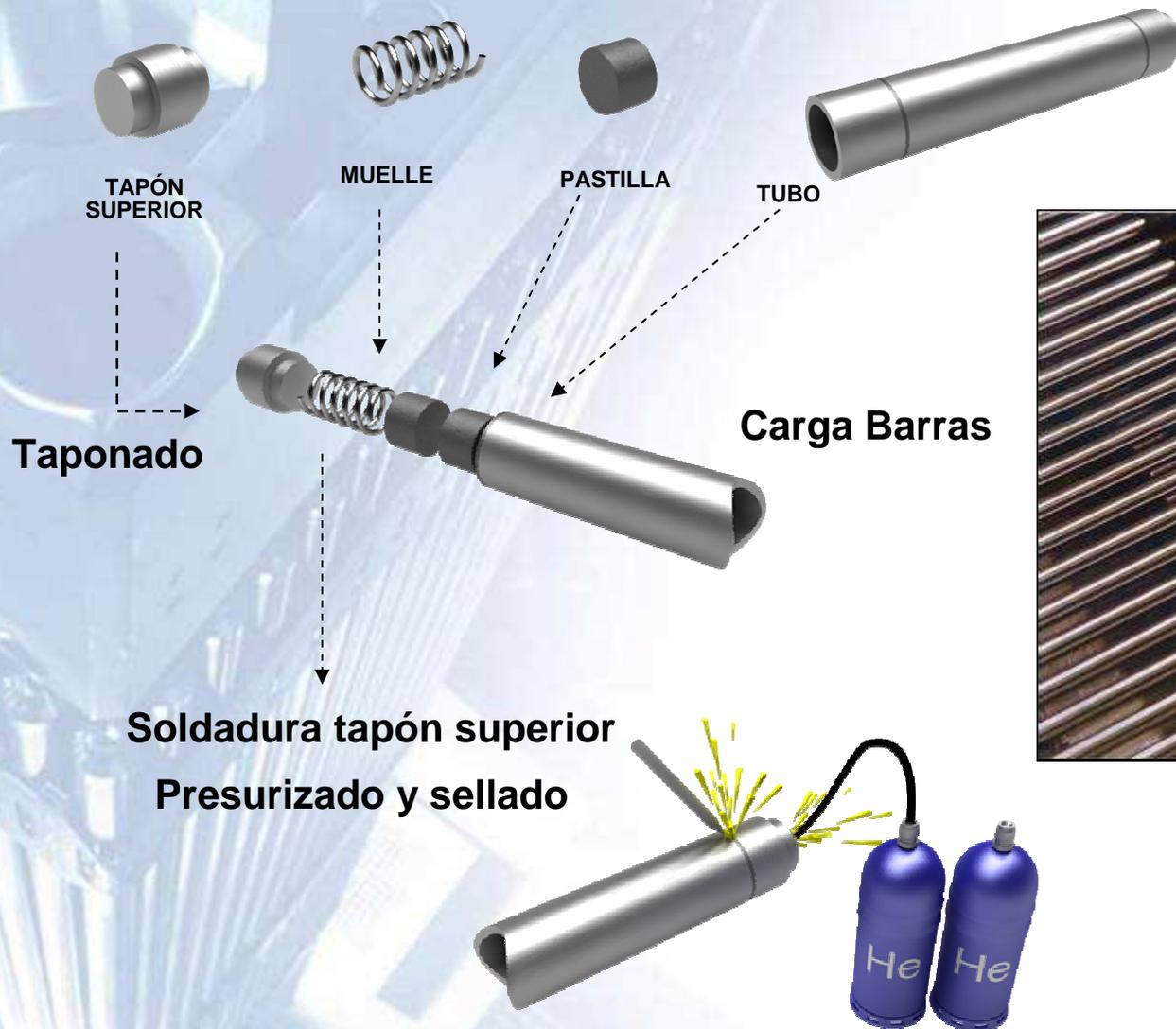
Inspección
Visual y Final

Carga de
Barras

Sinterizado

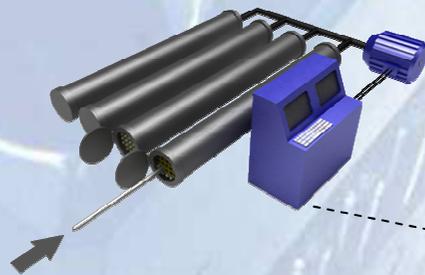
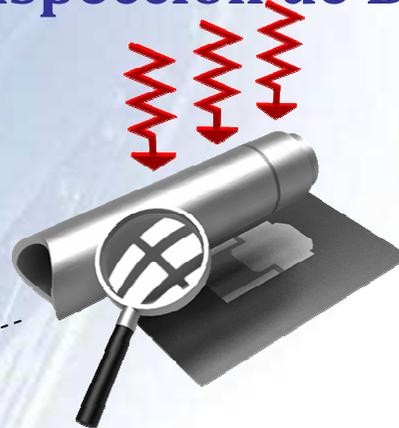


Proceso de Fabricación de Barras Combustibles

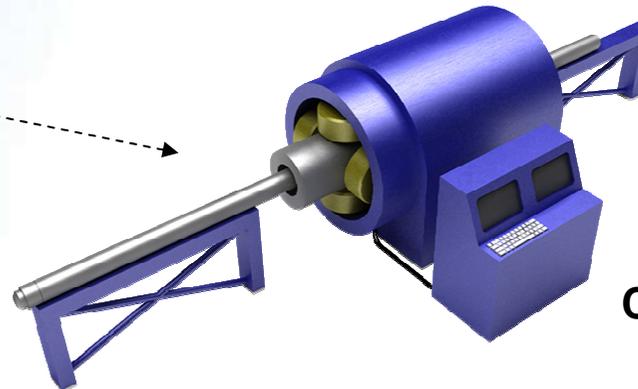


Proceso de Inspección de Barras Combustibles

inspección
radiológica y/o Ut

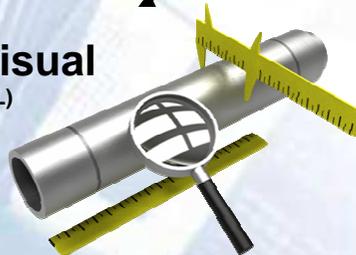


Detector de fugas



Gamma Scanner
(Activo y Pasivo)
+
Corrientes Inducidas

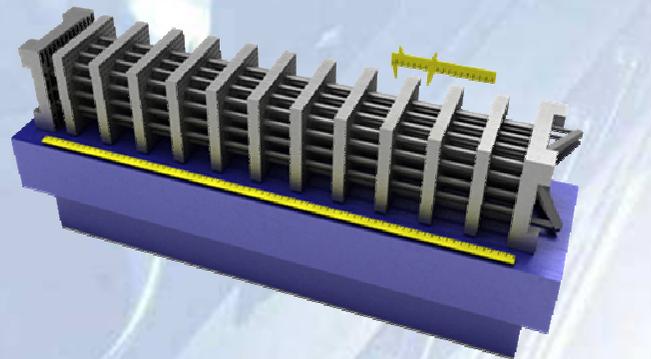
Inspección Visual
(DIMENSIONAL & VISUAL)



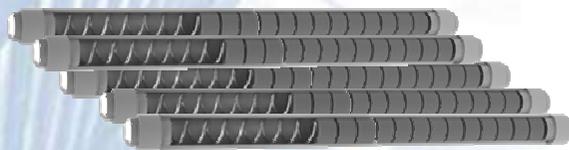
Montaje Final



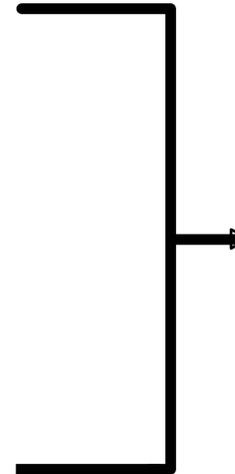
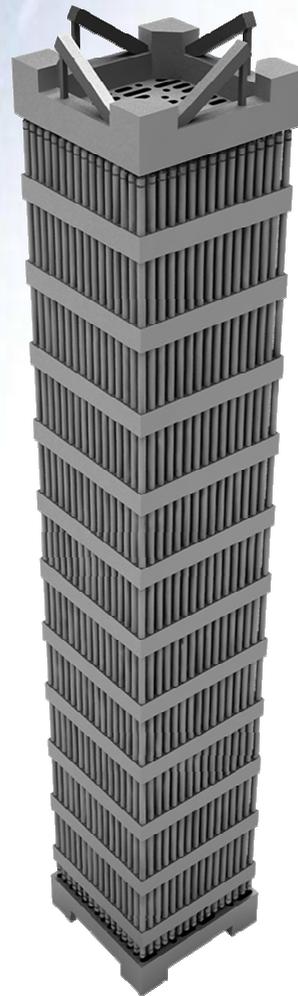
Montaje Final del Elemento Combustible PWR



ESQUELETO



BARRAS



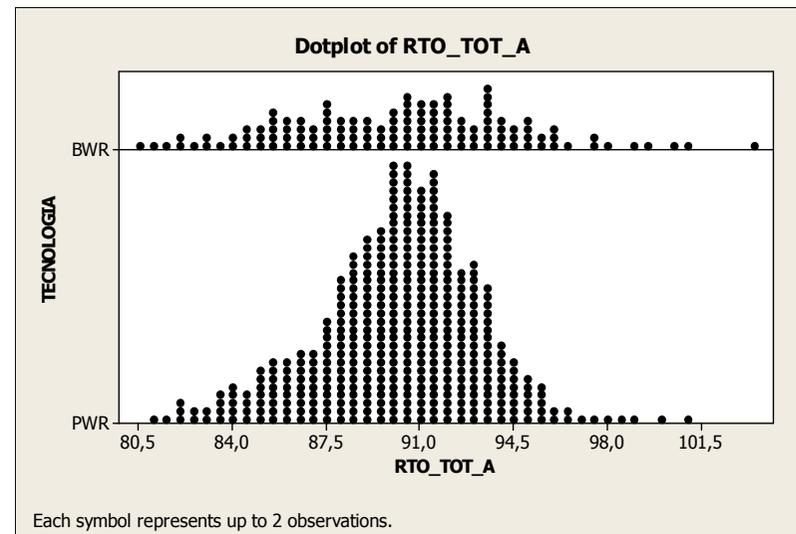
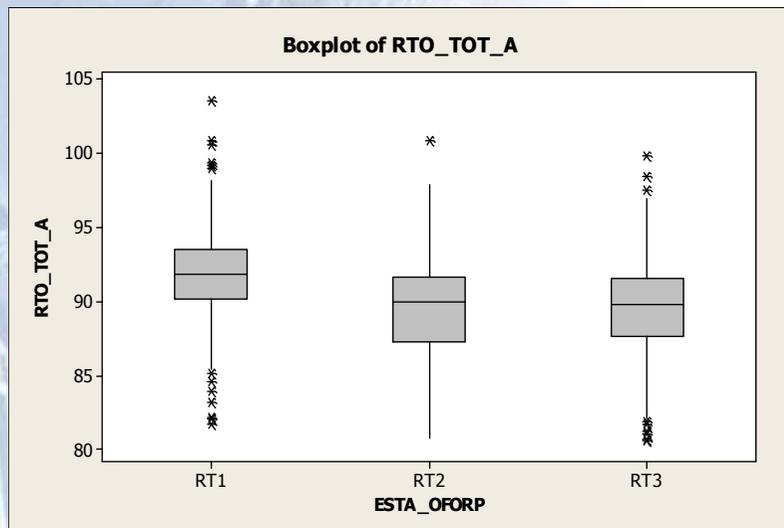
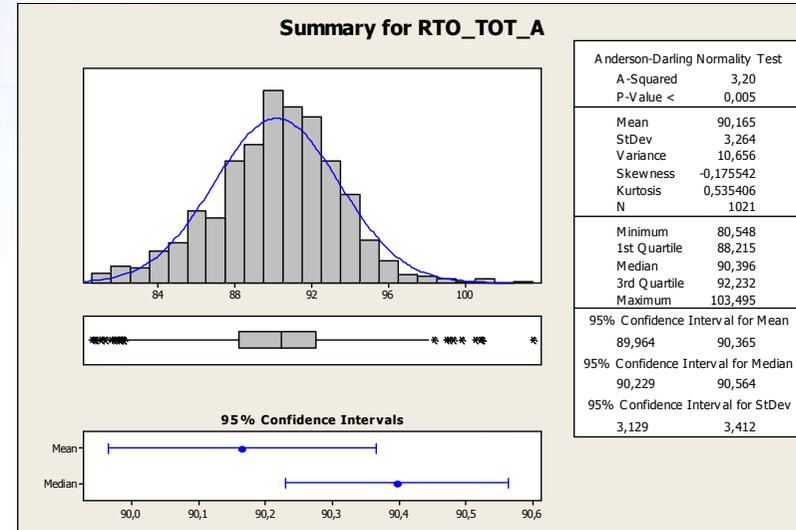
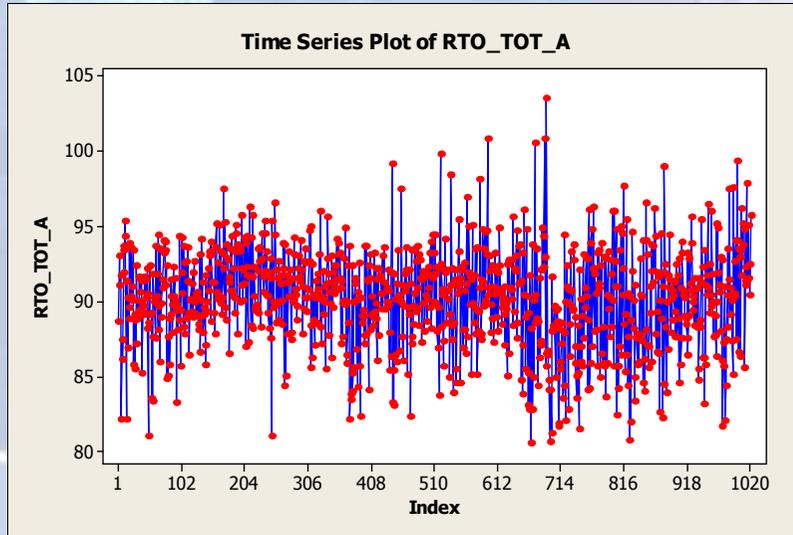
Embalaje y Transporte



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

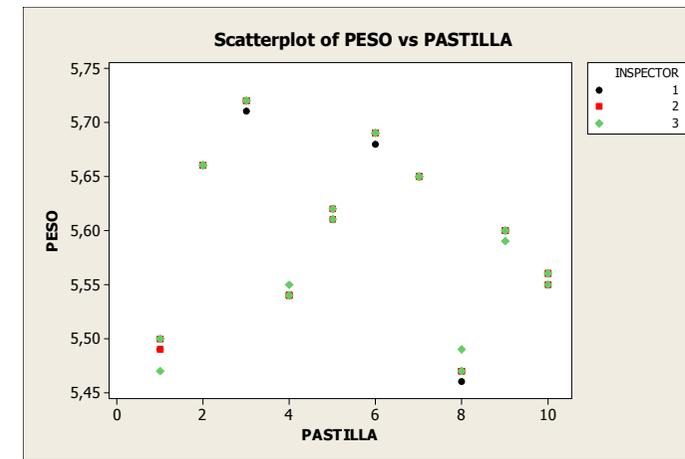
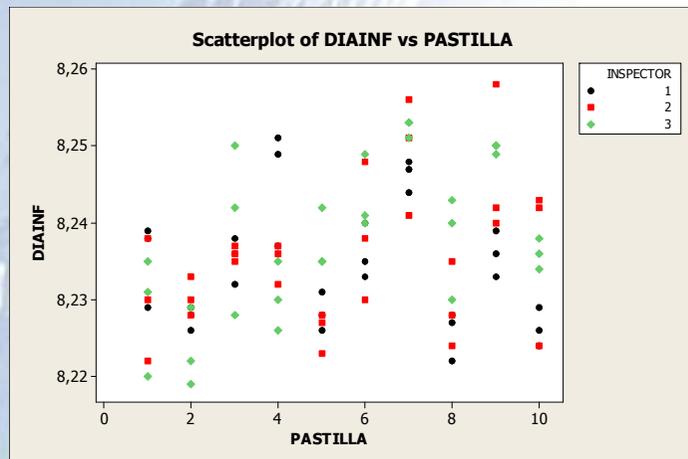
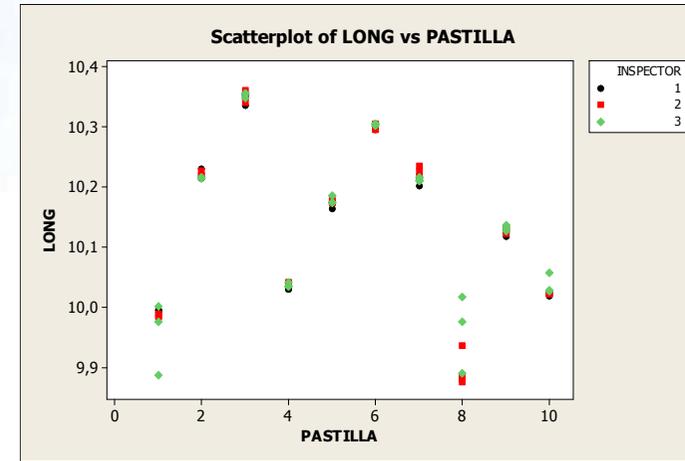
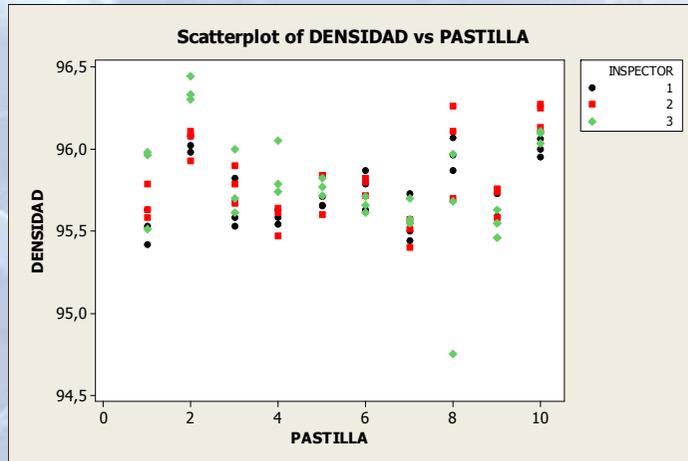
95% CI for difference: (-0,719; 0,445)

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

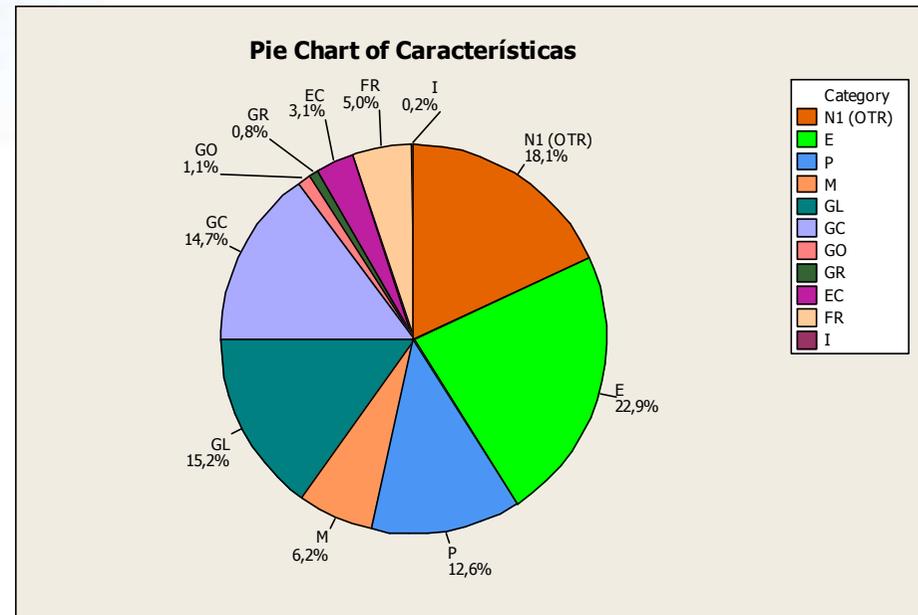
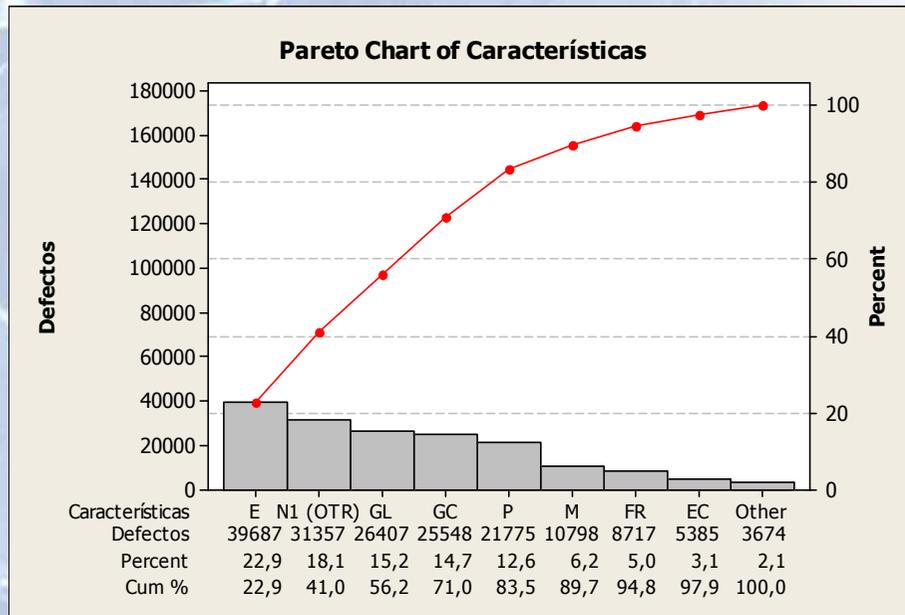


Los gráficos muestran los 9 valores (3 medidas de cada uno de los 3 inspectores) obtenidos para cada una de las 10 pastillas inspeccionadas.

Densidad = f(longitud, diámetro y peso)

Diagramas de Pareto y pastel

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



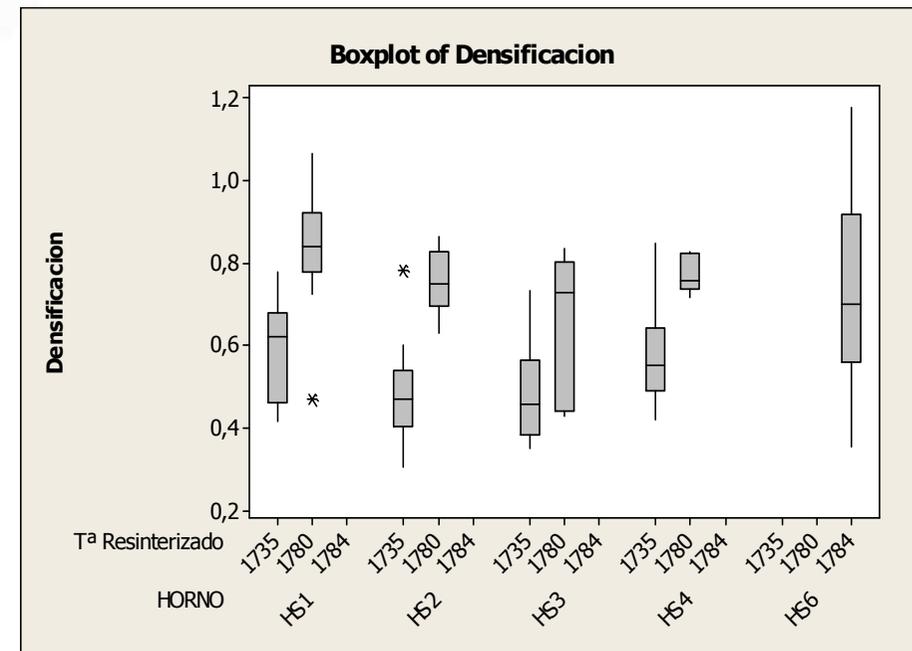
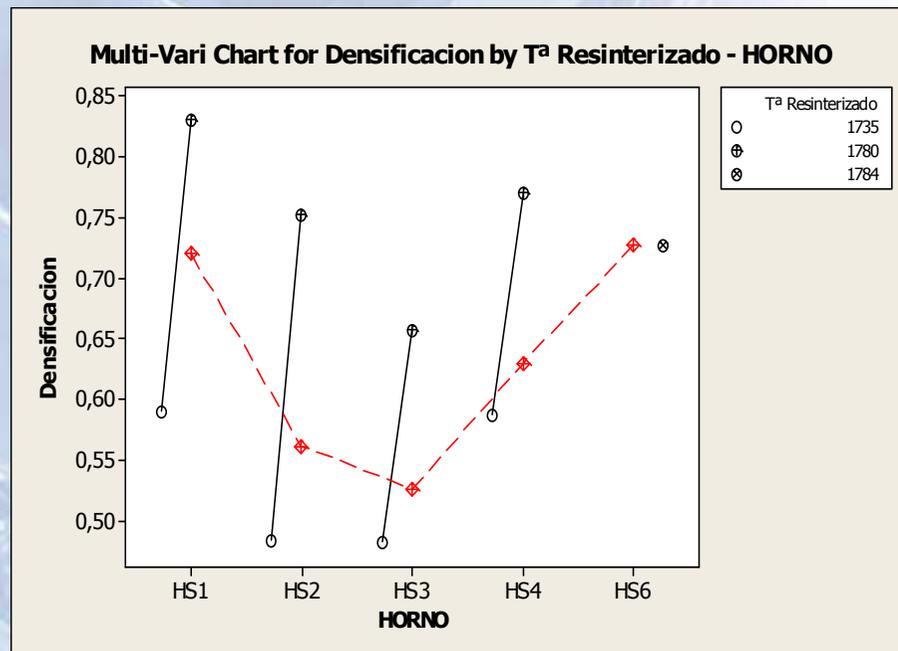
Leyenda

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

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.

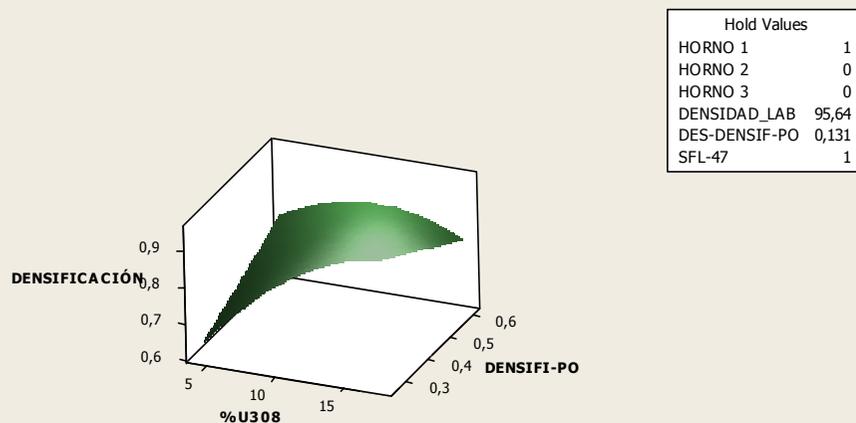


El incremento de densidad es proporcional al incremento de temperatura. La densificación, a la misma temperatura, no es igual en todos los hornos. Mediante el “Tukey Method”, se pueden comparar, dos a dos, los cuatro hornos para analizar si hay diferencias estadísticamente significativas.

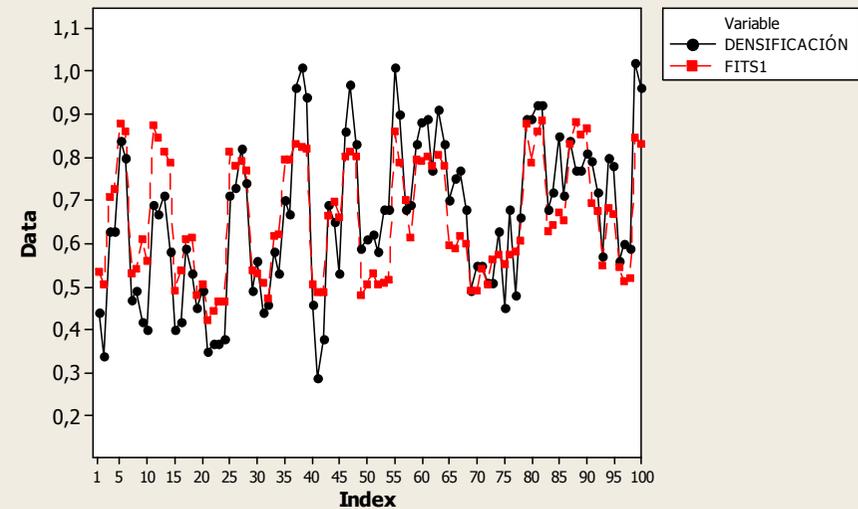
Regresión Multifactorial

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

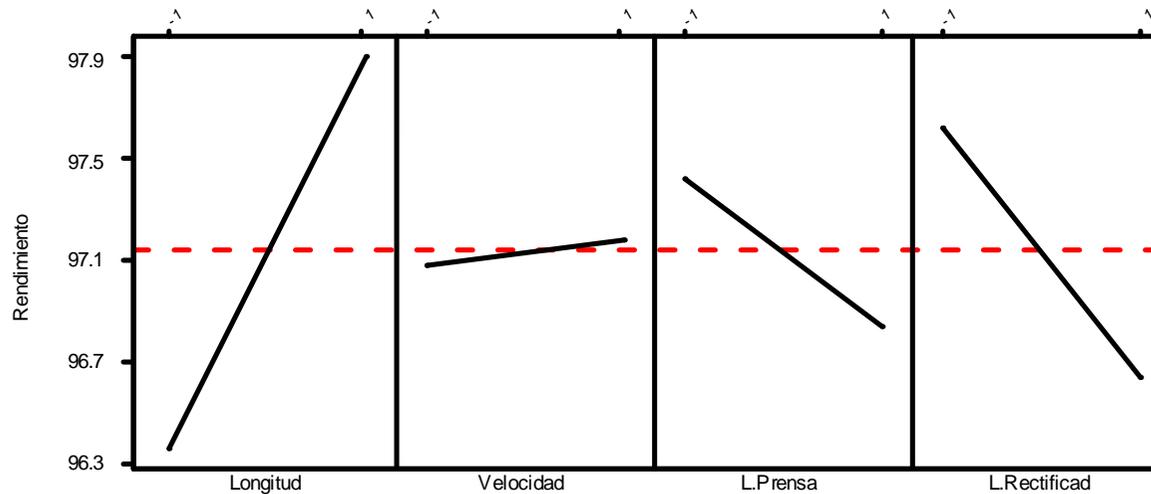


Modelo cuadrático de regresión de la densificación de las pastillas.

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

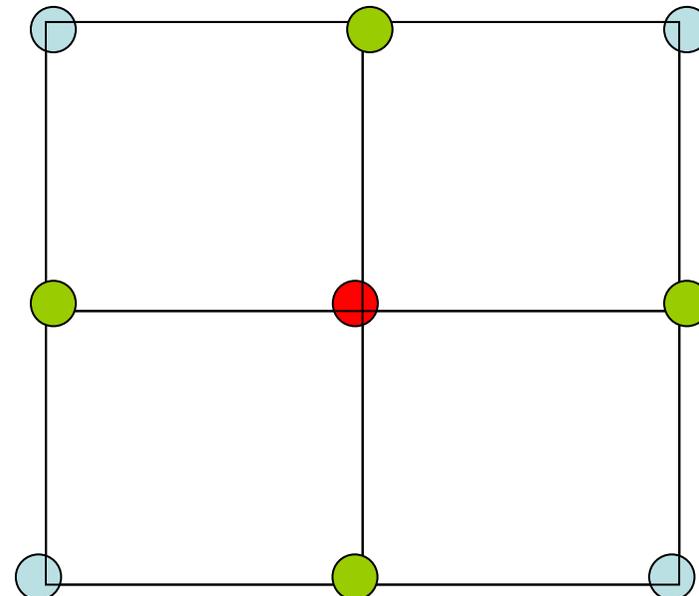
1. Recubrimiento (Nvuelatas)
2. Tensión (V)
3. RPM
4. Julios/Voltios (J/V)

Respuestas

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

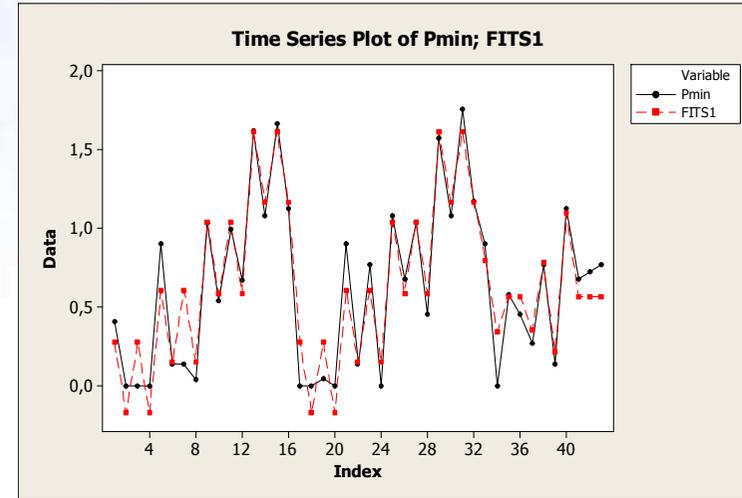
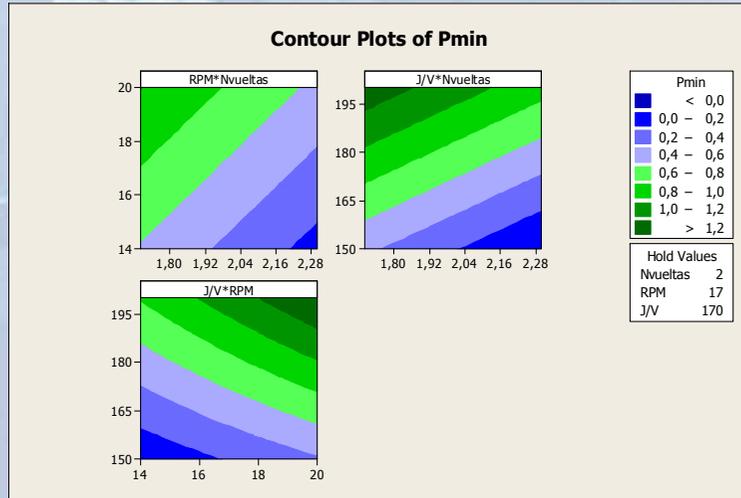
¡A más calor, mejor penetración pero aparece muelle fundido!

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

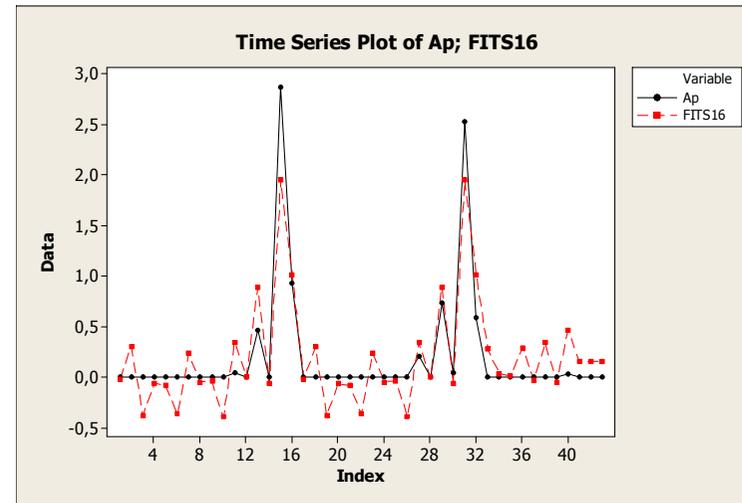
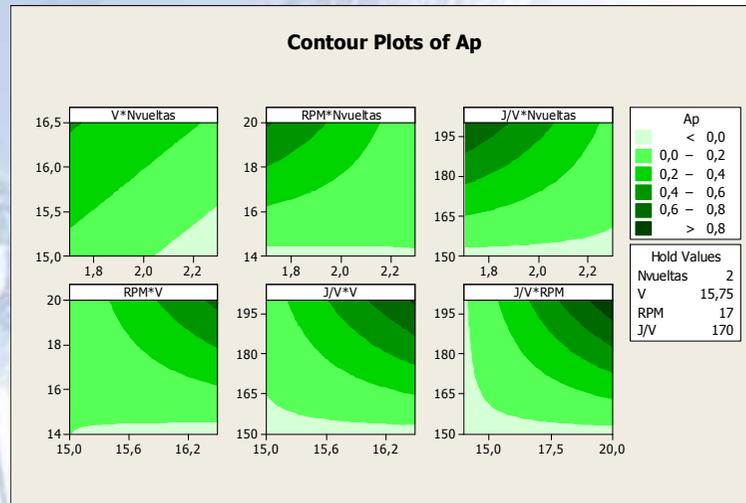


Experimento completo de superficie de respuesta

Superficies de Respuesta. Modelos Matemáticos



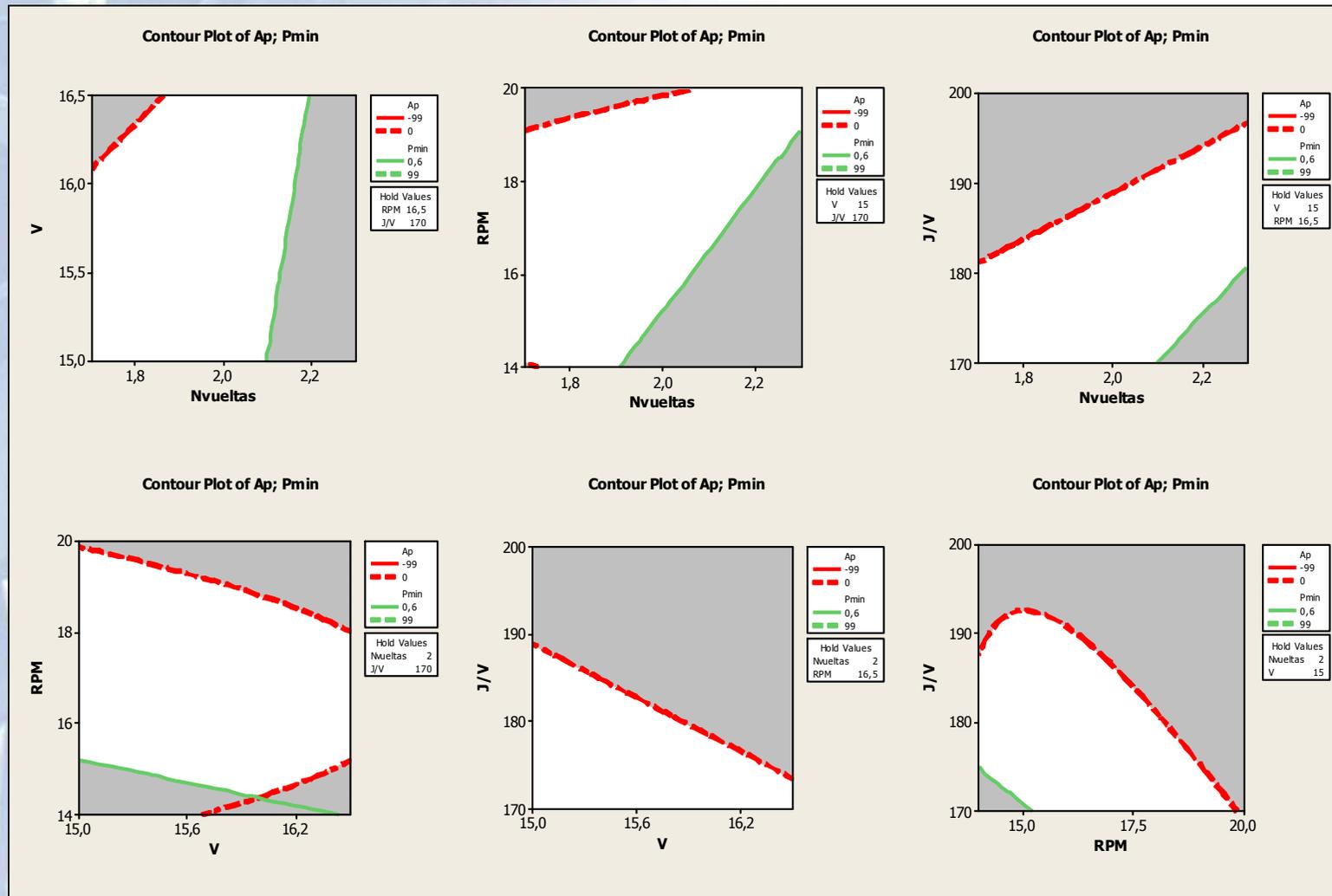
Resultados: Penetración de soldadura (Pmin)



Resultados: Muelle fundido (Ap)

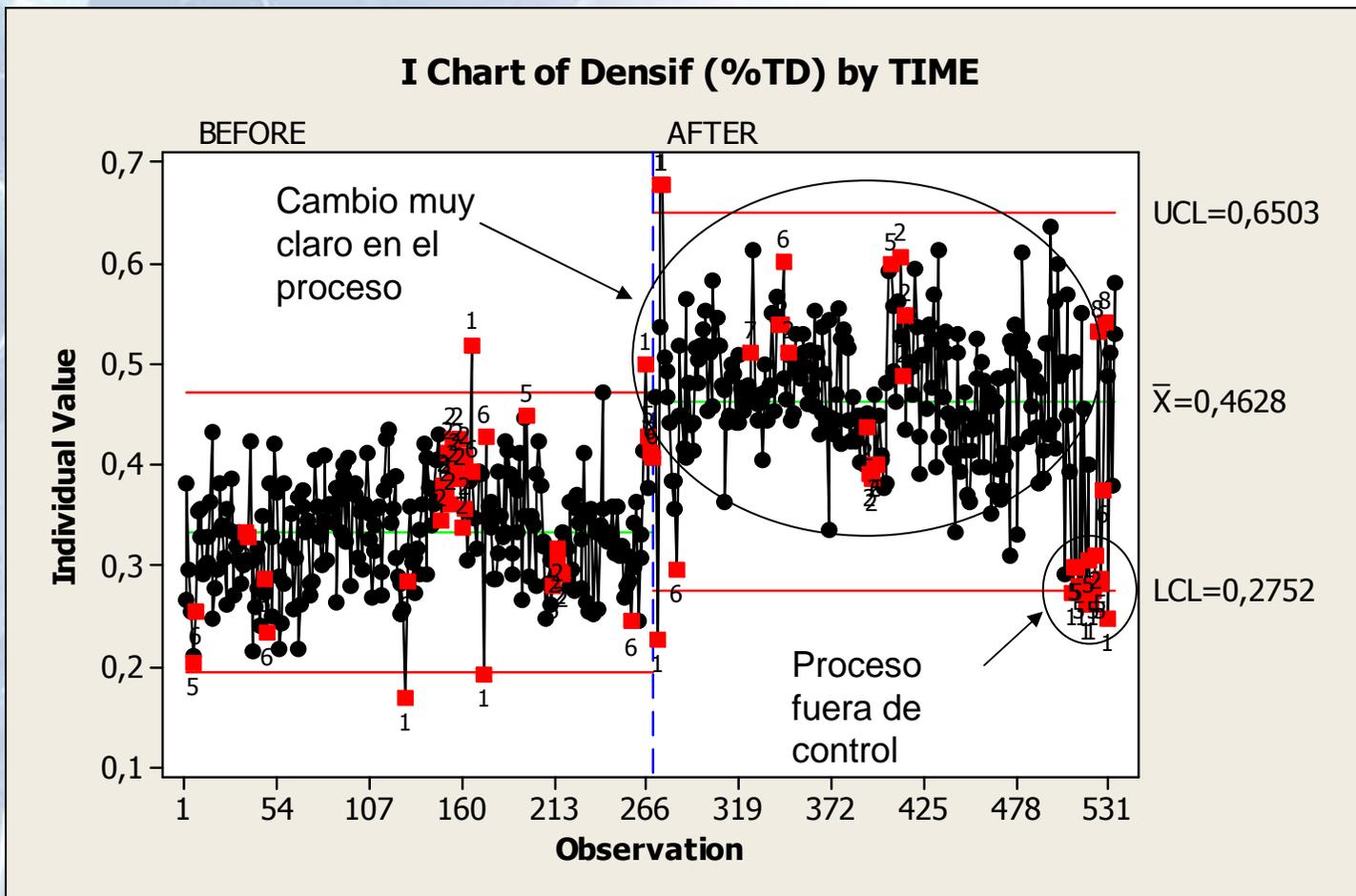
Superficies de Respuesta. Espacio de Operación

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