

# VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS: Capacidad Operacional

*Marcelino García Arias*

*Tenneco Automotive*



# Índice

- Procesos estables – Defectos
- Capacidad Dimensional y Capacidad Operacional.
- Aplicación práctica: Medibles
- Acciones de mejora: Tava map y 6 Sigma
- Conclusiones



# Procesos estables – Defectos

- **Problema:** Fabricación en serie: Líneas productivas con  $Cpk > 2.0$  en las dimensiones medidas y se obtienen rechazos internos mayores de  $PPM > 500$
- **Ejemplo:** Línea de mecanizado de vástagos, 3 dimensiones: Diámetro, longitud, brochado de hexágono  
→  $Cpk$  en cada una  $> 2.0$  medido en 10000 piezas.  
Nivel de rechazo interno  $PPM=700$
- *¿Dónde se encuentra la variabilidad (desviaciones) del proceso?*



# Procesos estables – Defectos

- **Causas:**
  - Puestas a punto.
  - Averías.
  - Paradas de producción.
  - Recuperaciones
- **Cada causa anterior puede producir piezas defectuosas:**
  - Estos defectos no continúan en el flujo productivo, y si lo hacen suponen un riesgo elevado.
  - Suponen un coste extra y una ineficiencia.
  - NO se tienen en cuenta en el cálculo tradicional del Cpk.



# Procesos estables – Defectos

- **Defectos en procesos estables:**  
**¿Cómo se miden?**
  - PPM internos (DPM)
  - % Piezas defectuosas
  - **Cpk Operacional**



## Capacidad Dimensional – Capacidad Operacional

- **Cpk Dimensional:** Indica una probabilidad de pieza defectuosa en un proceso continuo.
  - Proceso bajo control estadístico
  - Se miden, en general, dimensiones especificadas.
- **Cpk Operacional:** Indica una probabilidad de pieza defectuosa en un proceso total.
  - Tiene en cuenta averías, paradas, recuperaciones y puestas a punto.
  - No mide dimensiones sino piezas buenas/malas.

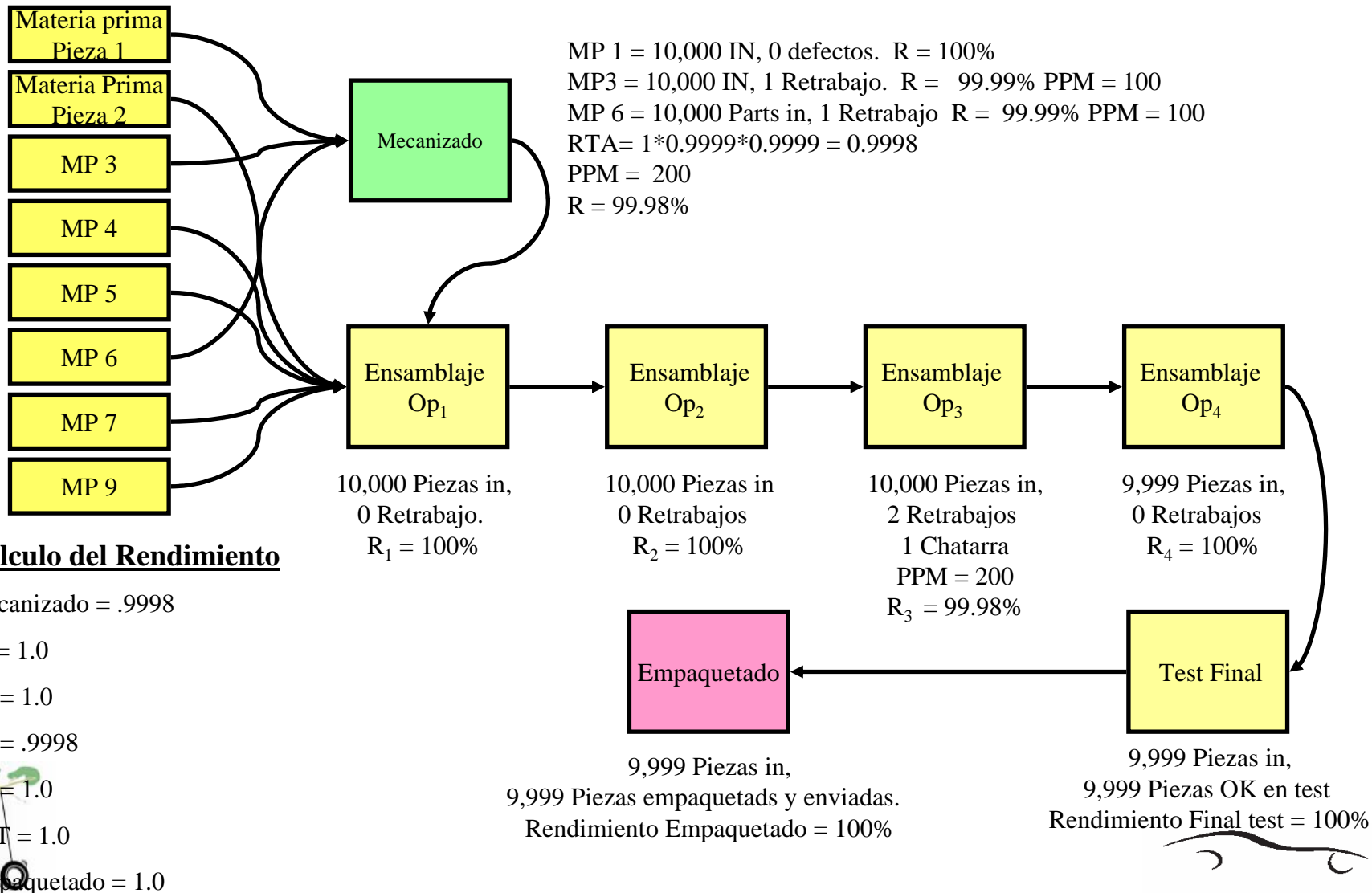


## Capacidad Dimensional – Capacidad Operacional

- ***Cpk Dimensional =***
  - *(Min (Ts-Xm)/3σ; (Xm-Ti)/3σ)*
  - *En función de la estimación de σ: Ppk, Cpk.*
- ***Cpk Operacional =***
  - *Se recogen datos de PPM (internos) de todas las fases del proceso, incluidos retrabajos, puestas a punto, etc.*
  - *Se calcula del RTY (Rendimiento Total Acumulado)*
  - *Se calcula el nivel sigma (Z en base a los PPM)*
  - *Se calcula el índice Cpk.*

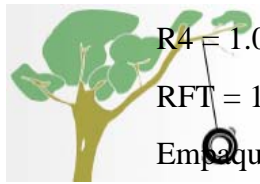


# Capacidad operacional – Mapa de proceso



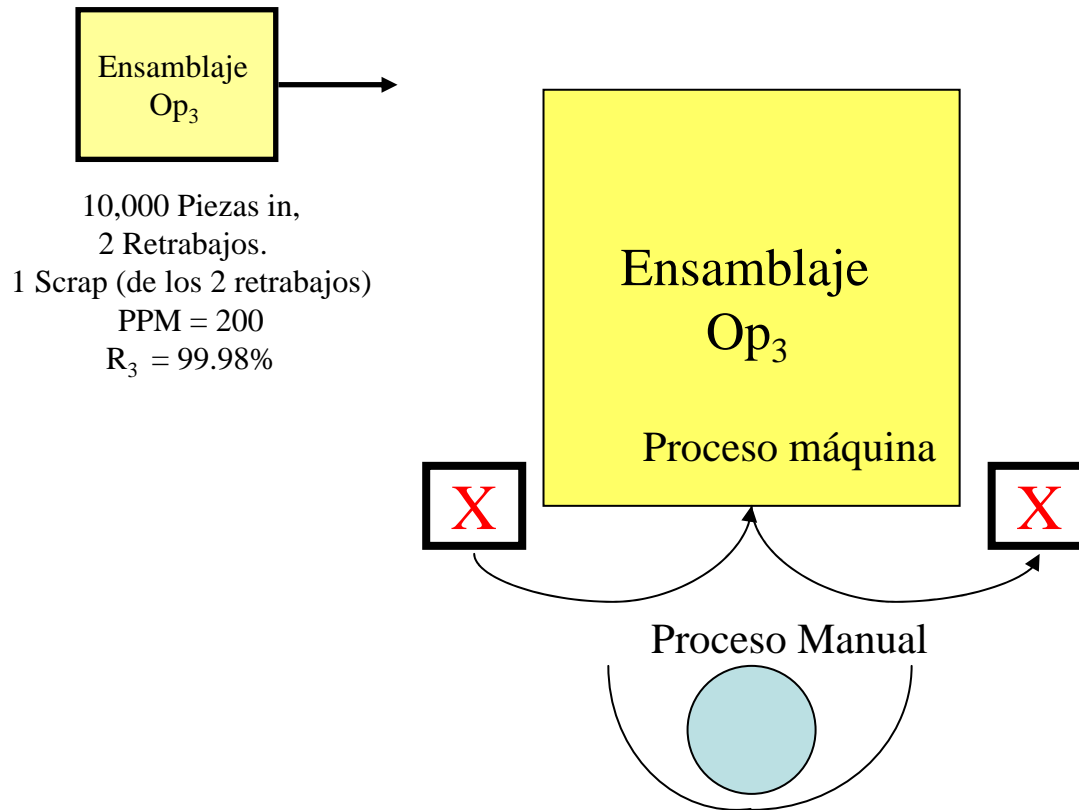
### Cálculo del Rendimiento

Mecanizado = .9998  
R<sub>1</sub> = 1.0  
R<sub>2</sub> = 1.0  
R<sub>3</sub> = .9998  
R<sub>4</sub> = 1.0  
RFT = 1.0  
Empaquetado = 1.0





# Capacidad operacional: Desglose Op3



Máquina 100% Rendimiento  
 Manual 99.98% Rendimiento  
 $\text{Normsinv}(0.9998) = 3.54$   
 $Z_{st} = 3.54$   
 $C_{pk} = Z_{st}/3 = 3.54/3 = 1.18$   
 Máquina C<sub>pk</sub> = 2.0  
 Manual C<sub>pk</sub> = 1.18

Operacional C<sub>pk</sub> = 1.18



# Pasos del estudio capacidad operacional

## Cálculo del Rendimiento

Mecanizado = .9998

R<sub>1</sub> = 1.0

R<sub>2</sub> = 1.0

R<sub>3</sub> = .9998

R<sub>4</sub> = 1.0

RFT = 1.0

Empaquetado = 1.0

Cálculo del rendimiento total acumulado (RTA):

$$.9998 * 1.0 * 1.0 * .9998 * 1.0 * 1.0 * 1.0 = \text{RTA } 99.96\%$$

100% - Prob. piezas buenas = Prob. Piezas malas

$$1.0 - .9996 = .0004$$

$$\text{Normsinv}(0.9996) = 3.353$$

$$Z_{ST} = 3.353$$

$$Cpk = \frac{Z_{ST}}{3} = \frac{3.353}{3} = 1.117$$

*Cpk Estadístico*: Objetivo 2.0

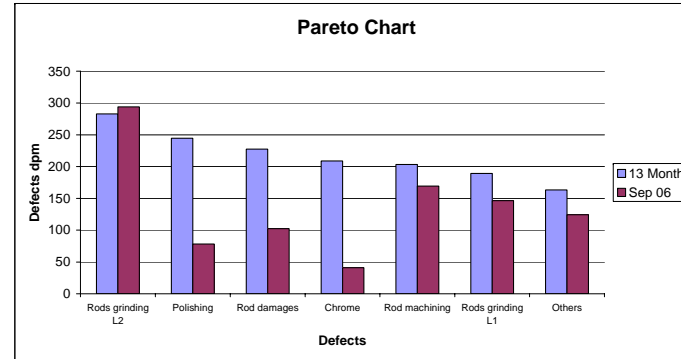
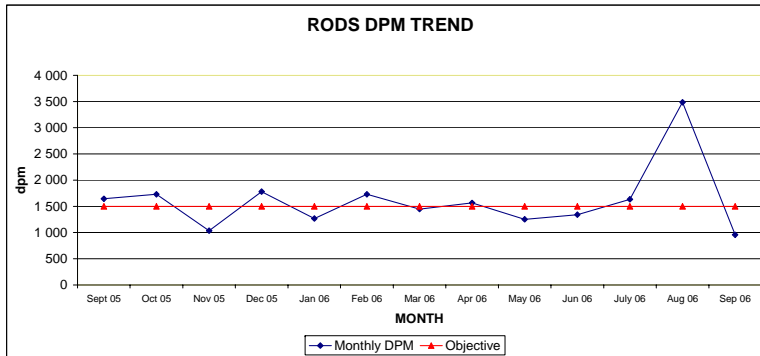
*Cpk práctico (Operacional)*: Objetivo a establecer por La Dirección.



**Nota:** RTA es la probabilidad de que una pieza sea procesada sin que “sufra” ningún defecto. En este ejemplo solo ocurre el 99.96 % de las veces.







ACTUALIZAR\_TABLA

ACTUALIZAR\_PARETO

PRODUCTION DATE															TOTAL Xm
DEFECT	CCT REF.	Sept 05	Oct 05	Nov 05	Dec 05	Jan 06	Feb 06	Mar 06	Apr 06	May 06	Jun 06	July 06	Aug 06	Sep 06	
Mecanizado CNC		42	89	1	97	30	20	80	38	19	45	86	31	37	47
Mecanizado Multihusillos		46	90	3	66	32	82	87	81	12	32	0	9	32	44
Rectificado		92	27	51	56	97	99	90	65	52	63	50	49	64	66
Pulido		85	33	17	60	64	91	89	28	62	23	95	76	17	57
Cromado		41	23	92	8	10	30	6	5	68	62	69	54	27	38
Acabado		36	83	11	13	52	82	78	98	44	78	4	42	9	49
Otros defectos (daños superf)		88	58	80	57	51	28	27	21	98	24	66	67	22	53
TOTAL SCRAPS/REWOP	=====	429	402	255	356	336	431	457	336	356	327	371	327	207	353
TREND		1 644	1 731	1 036	1 780	1 269	1 731	1 448	1 566	1 252	1 342	1 634	3 486	956	1 520

Actions/Causes of Failure current month

Acción 1: 8D 06,35
Acción 2: 8D 06,36

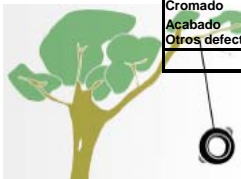
Producción total	261 149	232 528	245 767	199 993	264 585	248 806	315 795	214 536	284 191	243 522	226 976	93 835	217 003	232 295
Tendencia DPM	1 644	1 731	1 036	1 780	1 269	1 731	1 448	1 566	1 252	1 342	1 634	3 486	956	1 520
Benchmarking	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
Objetivo	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500

Cpk values

PROCESS/MONTH	Sept 05	Oct 05	Nov 05	Dec 05	Jan 06	Feb 06	Mar 06	Apr 06	May 06	Jun 06	July 06	Aug 06	Sep 06
Mecanizado CNC	1,20	1,12	1,47	1,10	1,23	1,26	1,16	1,19	1,27	1,19	1,12	1,14	1,19
Mecanizado Multihusillos	1,19	1,12	1,41	1,14	1,22	1,14	1,15	1,12	1,31	1,22	1,56	1,25	1,21
Rectificado	1,13	1,23	1,18	1,15	1,13	1,12	1,15	1,14	1,19	1,16	1,17	1,09	1,15
Pulido	1,14	1,21	1,27	1,14	1,16	1,13	1,15	1,22	1,17	1,24	1,11	1,05	1,26
Cromado	1,20	1,24	1,12	1,32	1,32	1,23	1,37	1,35	1,16	1,16	1,14	1,08	1,22
Acabado	1,21	1,13	1,30	1,28	1,18	1,13	1,16	1,11	1,20	1,14	1,37	1,11	1,31
Otros defectos (daños superf)	1,13	1,16	1,14	1,15	1,18	1,23	1,25	1,24	1,13	1,24	1,15	1,06	1,24
Total Cpk	0,98	0,97	1,03	0,97	1,01	0,97	0,99	0,98	1,01	1,00	0,98	0,90	1,03

Last month:

	FTY	Z	Cpk
1	0,9998	3,5838	1,19
2	0,9999	3,6216	1,21
3	0,9997	3,4373	1,15
4	0,9999	3,7806	1,26
5	0,9999	3,6635	1,22
6	1,0000	3,9371	1,31
7	0,9999	3,7131	1,24
RTV	0,9990	3,1037	1,03



## Ejemplo; Cálculo Cpk Operacional: Procesos y Líneas

	DEFECT	CCT REF.	Sept 05	Oct 05	Nov 05	Dec 05	Jan 06	Feb 06	Mar 06	Apr 06	May 06	Jun 06	July 06	Aug 06	Sep 06	TOTAL Xm	Actions/Causes of Failure current month
1	Mecanizado CNC		42	89	1	97	30	20	80	38	19	45	86	31	37	47	Acción 1: 8D 06,35  Acción 2: 8D 06,36
2	Mecanizado Multihusillos		46	90	3	66	32	82	87	81	12	32	0	9	32	44	
4	Rectificado		92	27	51	56	97	99	90	65	52	63	50	49	64	66	
3	Pulido		85	33	17	60	64	91	89	28	62	23	95	76	17	57	
7	Cromado		41	23	92	8	10	30	6	5	68	62	69	54	27	38	
5	Acabado		36	83	11	13	52	82	78	98	44	78	4	42	9	49	
6	Otros defectos (daños superf)		88	58	80	57	51	28	27	21	98	24	66	67	22	53	
8																0	
9																0	
10																0	
11																0	
	<b>TOTAL SCRAPS /REWORK</b>	=====	429	402	255	356	336	431	457	336	356	327	371	327	207	353	
	<b>TREND</b>		1 644	1 731	1 036	1 780	1 269	1 731	1 448	1 566	1 252	1 342	1 634	3 486	956	1 520	
	Producción total		261 149	232 528	245 767	199 993	264 585	248 806	315 795	214 536	284 191	243 522	226 976	93 835	217 003	232 295	
	Tendencia DPM		1 644	1 731	1 036	1 780	1 269	1 731	1 448	1 566	1 252	1 342	1 634	3 486	956	1 520	
	Benchmarking		1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	
	Objetivo		1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	

**Cpk values**

PROCESS/MONTH	Sept 05	Oct 05	Nov 05	Dec 05	Jan 06	Feb 06	Mar 06	Apr 06	May 06	Jun 06	July 06	Aug 06	Sep 06
1 Mecanizado CNC	1,20	1,12	1,47	1,10	1,23	1,26	1,16	1,19	1,27	1,19	1,12	1,14	1,19
2 Mecanizado Multihusillos	1,19	1,12	1,41	1,14	1,22	1,14	1,15	1,12	1,31	1,22	1,56	1,25	1,21
3 Rectificado	1,13	1,23	1,18	1,15	1,13	1,12	1,15	1,14	1,19	1,16	1,17	1,09	1,15
4 Pulido	1,14	1,21	1,27	1,14	1,16	1,13	1,15	1,22	1,17	1,24	1,11	1,05	1,26
5 Cromado	1,20	1,24	1,12	1,32	1,32	1,23	1,37	1,35	1,16	1,16	1,14	1,08	1,22
6 Acabado	1,21	1,13	1,30	1,28	1,18	1,13	1,16	1,11	1,20	1,14	1,37	1,11	1,31
7 Otros defectos (daños superf)	1,13	1,16	1,14	1,15	1,18	1,23	1,25	1,24	1,13	1,22	1,15	1,06	1,24
<b>Total Cpk</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>1,03</b>	<b>0,97</b>	<b>1,01</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>0,98</b>	<b>0,90</b>	<b>1,03</b>

**Last month:**

	FTY	Z	Cpk
1	0,9998	3,5838	1,19
2	0,9999	3,6216	1,21
3	0,9997	3,4373	1,15
4	0,9999	3,7806	1,26
5	0,9999	3,6635	1,22
6	1,0000	3,9371	1,31
7	0,9999	3,7131	1,24
RTV	0,9990	3,1037	1,03

**Cpk total de la línea: 1.03**

**(Distribución Normal Std Inversa ( 1 - 37 / 217003 ) / 3)**



# Cpk Operacional: Información aportada

- Resultado real y total de la capacidad de cada proceso.
- Fácilmente se conoce el Cpk final de una línea de producción.
- De una manera sencilla y sistemática se puede conocer el Cpk total de la fábrica.
- Guía excelente para oportunidades de mejora.
- **NOTA:** Se deben esperar valores muy bajos de Cpk ( $Cpk_{Op} = 1.0 \leftrightarrow Cpk_{Dim} = 1.67$ )



## Acciones de Mejora:

- Ambos índices Cpk dim y Cpk Op pueden agruparse para ayudar en la toma de decisiones.
- Las áreas elegidas se mejoran con 8Ds y/o proyectos 6 Sigma.
- Cada área se puntúa para establecer prioridades.

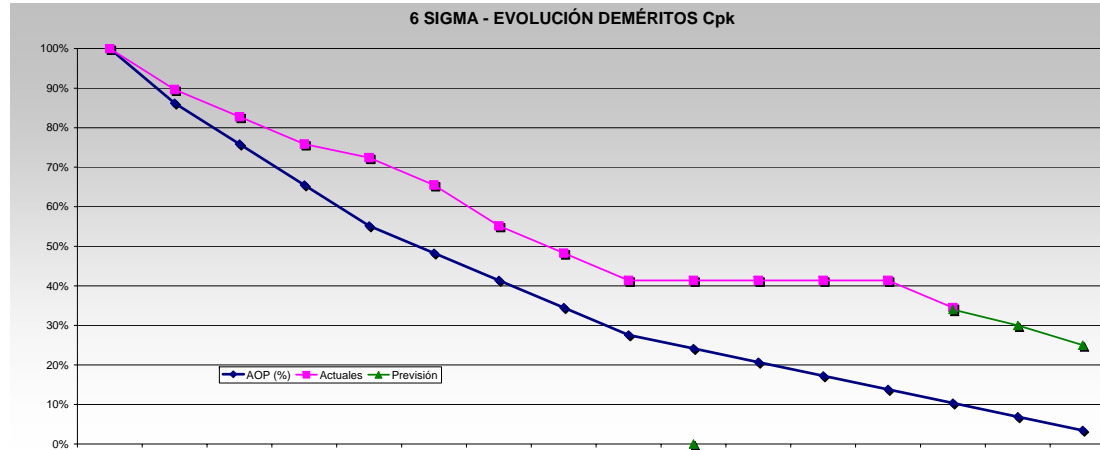
Tabla de Deméritos	DIMENSIONAL Cpk		OPERACIONAL Cpk	
	Cpk < 1	2 Demerit	Cpk < 0.85	2 Demerit
1 < Cpk < 1.33	1 Demerit	0.85 < Cpk < 1.0	1 Demerit	

OPERACIONAL		DIMENSIONAL		Nivel Capacidad esperada	Estado actual		Deméritos	Acciones	Control de cambios
Cpk > 1.33		Cp or Cpk >= 1.67			Cpk				
Cpk > 1.0		1.33 < Cp or 1.33 <= Cpk < 1.67			Mejor	Peor			
0.85 < Cpk < 1.0		1 < Cp or 1 <= Cpk < 1.33							
Cpk < 0.85		Cp or Cpk < 1							
Type	Number								
Operacional	1	Cromo eje A25			0,93	0,85	1	6S Cr A25	22/11/06
Dimensional	2	Cromo eje B80			0,93	0,85	1	8D 06,24	22/11/06
Operacional	3	Cromo eje J55			0,93	0,91	1		
Operacional	4	Mecanizado eje A25			0,80	0,78	2	6S Mec A25	
Dimensional	5	Mecanizado eje B80			0,80	0,78	2	8D 06,26	
Operacional	6	Rectificado L1			0,95	0,92	1		
Operacional	7	Rectificado L2			0,98	0,93	1		



PLANT  
MONTH

GIJÓN  
October



	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
AOP 2005-06	100%	86%	76%	66%	55%	48%	41%	34%	28%	24%	21%	17%	14%	10%	7%	3%
ACT 2005-06	100%	90%	83%	76%	72%	66%	55%	48%	41%	41%	41%	41%	41%	34%	0%	0%
Previsión 2005-06		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	34%	30%	25%

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
DEMÉRITOS	29															
Mejora previstas AOP (Mes)			4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Mejoras previstas AOP (Acumulado)			4	7	10	13	15	17	19	21	22	23	24	25	26	27
AOP (%)		100%	86%	76%	66%	55%	48%	41%	34%	28%	24%	21%	17%	14%	10%	7%
Actuales		100%	90%	83%	76%	72%	66%	55%	48%	41%	41%	41%	41%	41%	34%	3%
Previsión															34%	25%
Mejoras reales (mes)		0	3	2	2	1	2	3	2	2	0	0	0	0	2	0
Mejoras reales (Acumuladas)		0	3	5	7	8	10	13	15	17	17	17	17	17	19	19
Total deméritos (Actual)	29	29	24	22	21	19	16	14	12	12	12	12	12	12	10	10

PROYECTOS 6 SIGMA	EQUIPO	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS	DEMÉRITOS
Mecanizado piston 24 mm	O. Paniagua M.G. Arias E. Rabanal						2									
Mecanizado concentricidad: Todas aplicaciones	O. Paniagua M.G. Arias E. Rabanal								2							
Cromado A25	R. Garcia E. Rabanal O. Paniagua M. Sanz		1													
Cromado B80	E. Rabanal J.M. Arias M. Sanz O. Paniagua J.G. Viso														2	
Rectificado L1	E. Rabanal J.M. Arias M. Sanz O. Paniagua J.G. Viso															
Rectificado L2	E. Rabanal M. Sanz O. Paniagua J.G. Viso							1								





# CONCLUSIONES

- La Capacidad Operacional permite una visión rápida y global de la variabilidad de los procesos productivos.
- El cálculo es sencillo a partir de las medibles de rechazo interno (PPM int.)
- Admite una interacción con la Capacidad Dimensional ayudando en la toma de decisiones para priorizar proyectos 6S.
- Permite conocer el Cpk Total de una planta de fabricación a partir de datos existentes.

