

# Optimización de blindaje de molino SAG por medio de función de pérdida de Taguchi



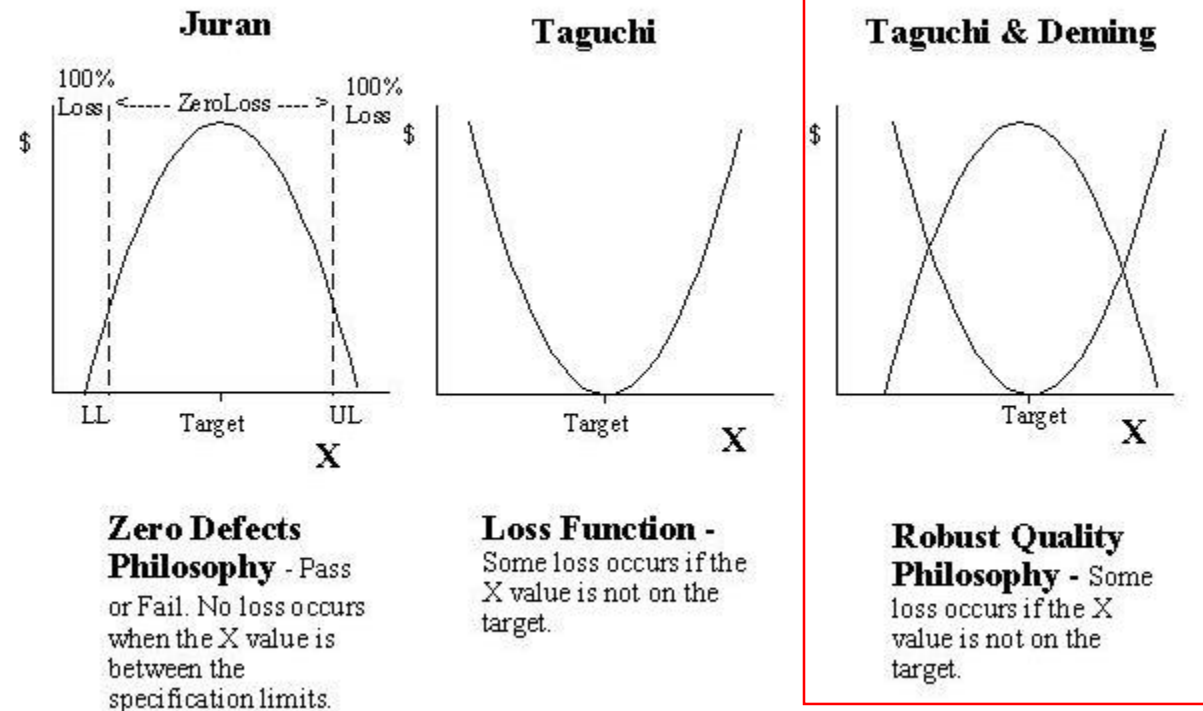
Ing. Mario Lorenzo Franco Soto  
Ing. Brenda Isabel Esparza Maldonado  
Ing. Francisco Javier Ruiz  
Minera Saucito SA de CV  
Noviembre 2016

# Función de pérdida

La filosofía de Taguchi abarca toda la función de producción, desde el diseño hasta la fabricación. Su metodología se concentra en el consumidor, valiéndose de la “función de pérdida”

*La clave para la reducción de la pérdida no consiste en cumplir con las especificaciones, sino en reducir la varianza con respecto al valor objetivo.*

## Quality Models



Evans, J. (2008). *Administración y control de la calidad. DF, Mexico: Cengage learning.*



El cliente pierde



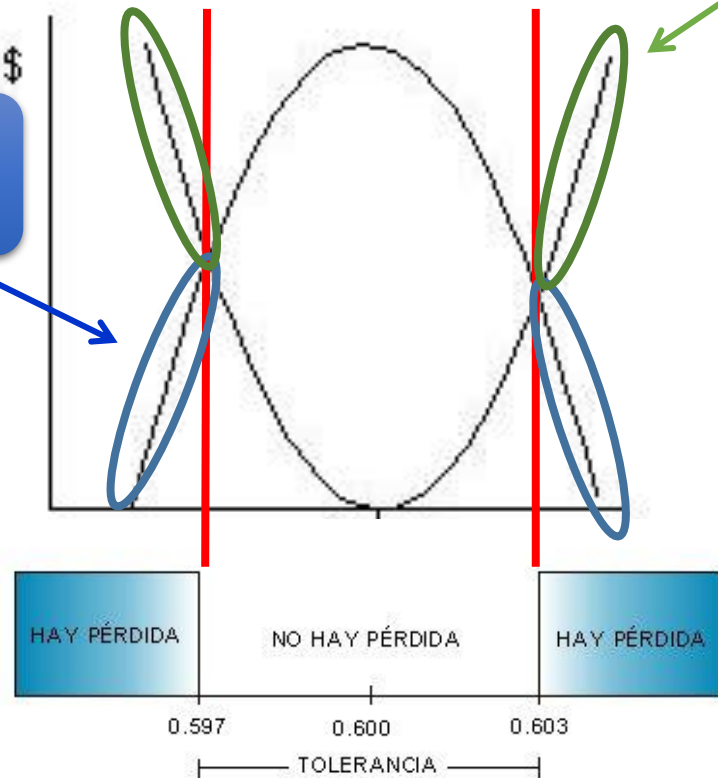
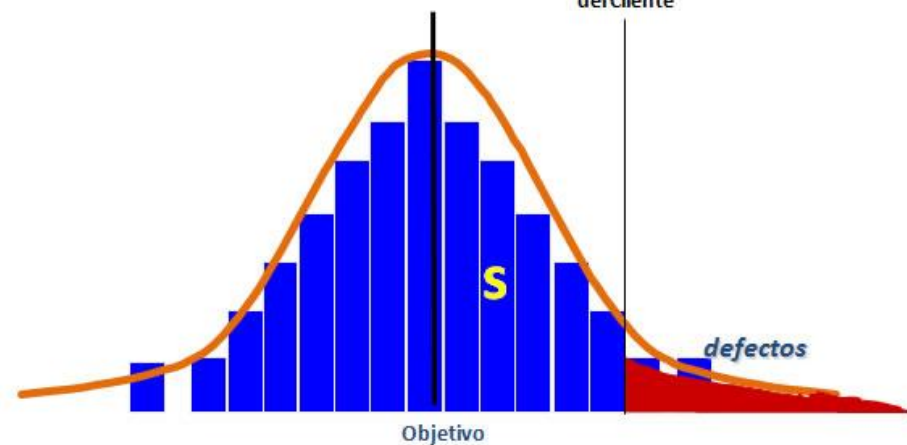
El proveedor pierde

# Taguchi & Deming

Altos costos de producción

Baja calidad del producto

Toda actividad humana tiene variabilidad...

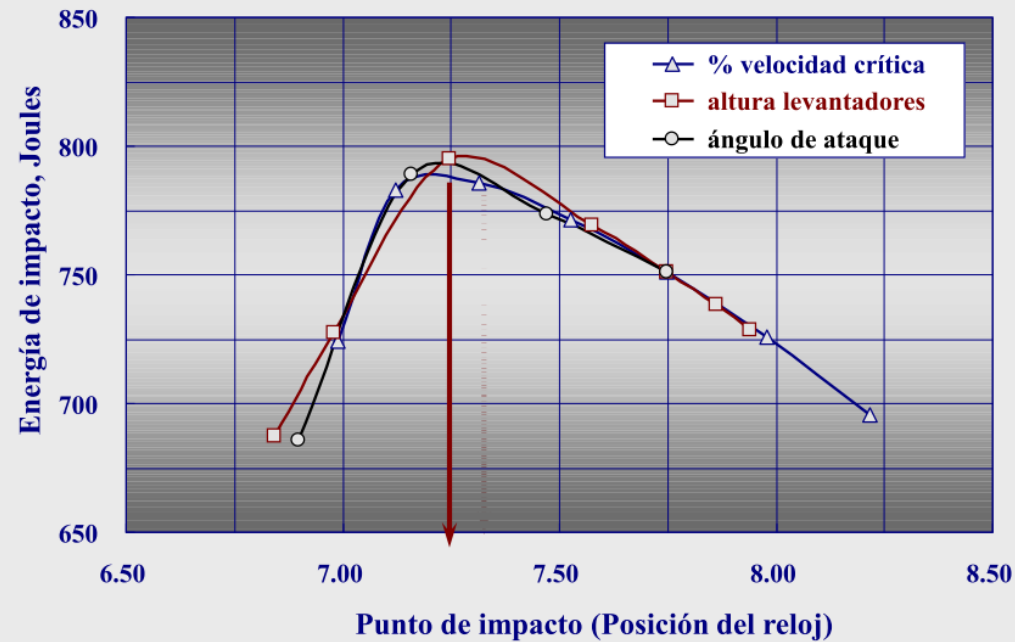


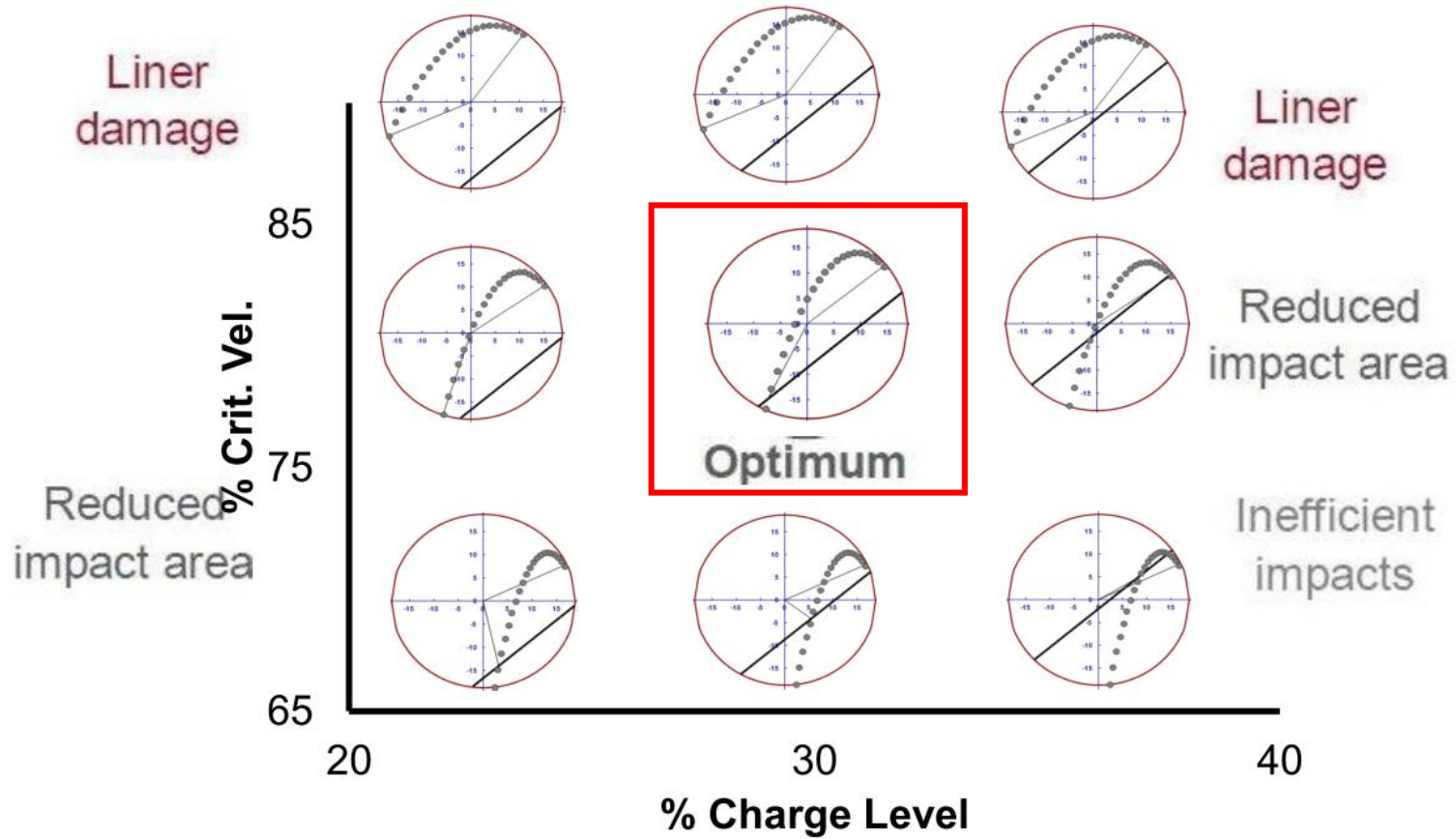
Varianza

Reducción de variabilidad es la esencia de 6 Sigma

Evans, J. (2008). *Administración y control de la calidad*. DF, Mexico: Cengage learning.

### PUNTO DE MÁXIMA ENERGÍA DE IMPACTO







## **Demanda de Potencia**

**Desde el punto de vista de la capacidad del molino, la demanda de potencia es muy relevante, por lo tanto es necesario tener una expresión matemática que nos permita estimarla en base a las dimensiones del equipo y las condiciones operativas.**

**Potencia  
Demandada**



**+ Capacidad de Tratamiento a través del molino ( Optimización)**

**+Capacidad Instalada (diseño)**





## **Demanda de Potencia**

### **GRANDY**

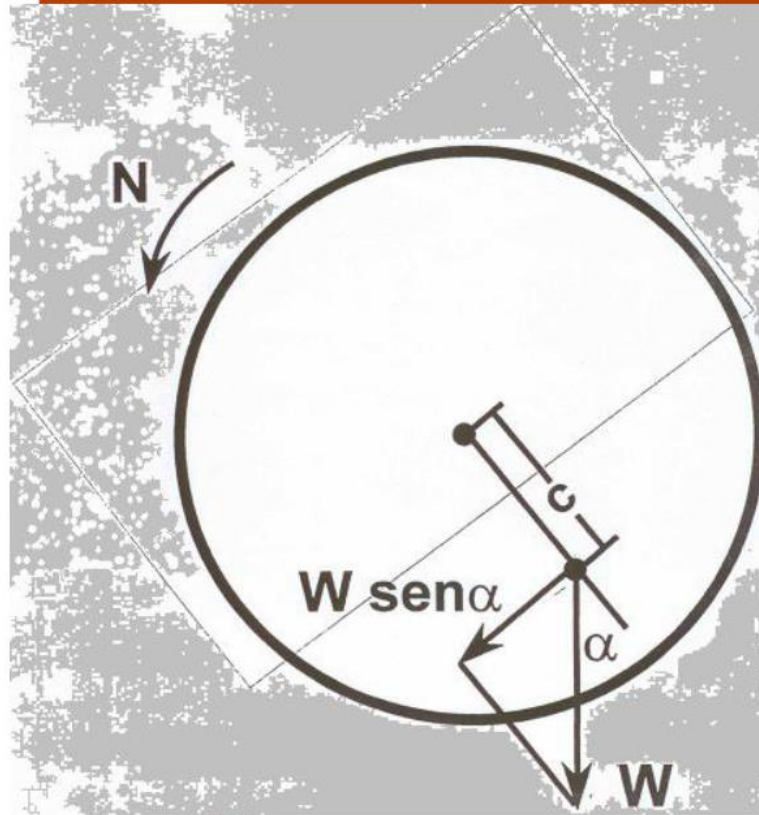
$$P = 0.2264 D^{3.5} (L/D) \rho_{ap} Nc (J - J^2) \sin \alpha$$

**Y.....**

### **HOGG & FUERSTENAU**

$$P = 0.2380 D^{3.5} (L/D) \rho_{ap} Nc (J - 1.065 J^2) \sin \alpha$$

## Principio de Cálculo de la potencia de un molino



**Consideraciones básicas  
entre el Molino y la potencia.**

**$P = \text{Torque} \times \text{Velocidad de rotación}$**

**De la Figura:**

**Torque =  $C W \sin \alpha$**

**Velocidad de Rotación =  $N$**

**Entonces:**

$$P = N C W \sin \alpha$$

**Por lo Tanto,**

$$P = f ( J, \rho_{ap}, L, D, N )$$

**SCHEMATIC REPRESENTATION OF MILL LOAD  
FOR THEORETICAL POWER CALCULATIONS**

19 de octubre de 2016

105



## Conclusiones

---

Cada cambio en los diseños de los revestimientos, reemplazo ó desgaste trae consigo un cambio en el volumen interno del molino

Al mismo tiempo cada cambio de volumen trae consigo una variación en la Potencia generada segun la ecuación de Hugg and Fuerstenau

$$P_{\text{net}} = \eta P_{\text{gross}} = 0.2380 D^{3.5} (L/D) \rho_{\text{ap}} N_c (J - 1.065 J^2) \sin \alpha$$

# Energía Especifica

## LEY DE KICK:

Considera que  $n = 1$ , por lo que la integración de la Ecuación (1) da:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K \ln \left[ \frac{Dp_a}{Dp_p} \right]$$

Donde:

$K_K$  = Constante de Kick  
 $Dp_a$  = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)  
 $Dp_p$  = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)  
 $\frac{Dp_a}{Dp_p} = R.R.$

$E$  = Energía requerida por unidad de masa (kW-h/ton)  
 $D$  = Diámetro medio de las partículas (mm)  
 $K$  = constante  
 $P$  = Potencia consumida (kW)  
 $\dot{m}$  = flujo másico de alimentación (ton/h)  
 $n$  = potencia

## LEY DE RITTINGER:

Considera que  $n = 2$ , por lo que la integración de la Ecuación (1) da:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R \left[ \frac{1}{Dp_p} - \frac{1}{Dp_a} \right]$$

Donde:

$K_R$  = Constante de Rittinger  
 $Dp_a$  = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)  
 $Dp_p$  = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

## LEY DE BOND:

Considera que  $n = 3/2 = 1.5$  y además define un "Índice de Trabajo de Bond" ( $W_i$ )

$W_i$  = La energía total (kW-h/ton alimentación) que se necesita para reducir una alimentación muy grande hasta un tamaño tal que el 80 % del producto pase a través de un tamiz de 100  $\mu$ m.

$K_B$  = Constante de Bond  $K_B = \sqrt{100 \times 10^{-3} W_i} = 0.3162 W_i$

Y la integración de la Ecuación (1) quedará como:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = 0.3162 W_i \left[ \frac{1}{\sqrt{Dp_p}} - \frac{1}{\sqrt{Dp_a}} \right]$$

$Dp_a$  = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)  
 $Dp_p$  = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

*Usman Husni. (s/f). MEASURING THE EFFICIENCY OF THE TUMBLING MILL AS A FUNCTION OF LIFTER CONFIGURATIONS AND OPERATING PARAMETERS. colorado USA: Department of Metallurgical and Materials Engineering.*

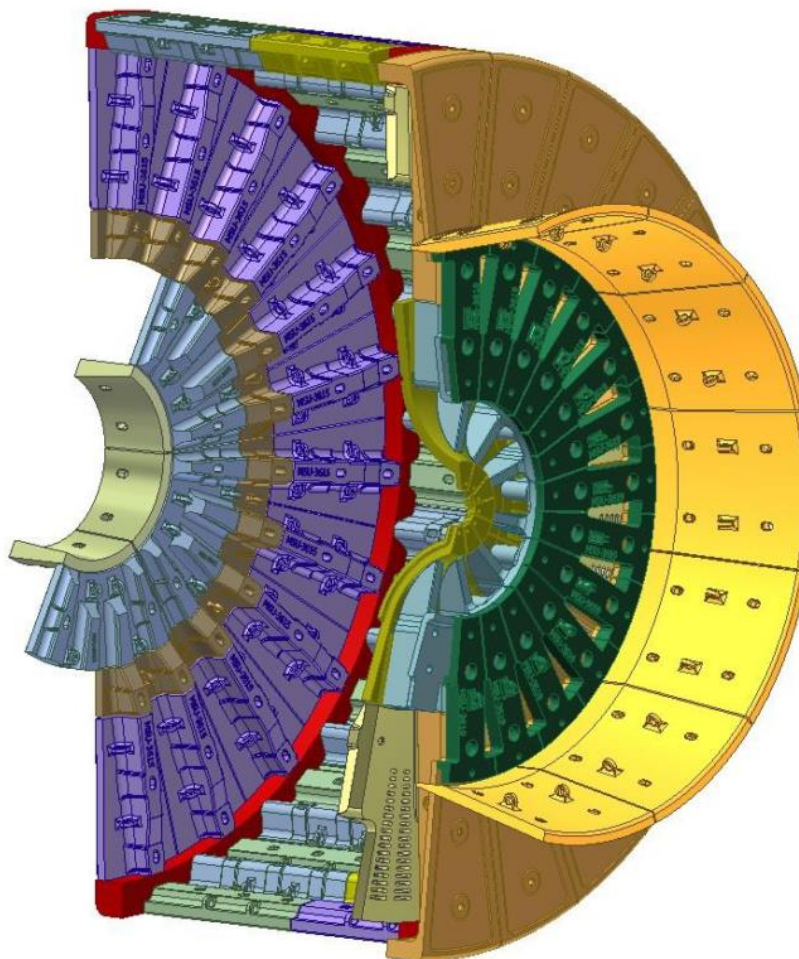
---

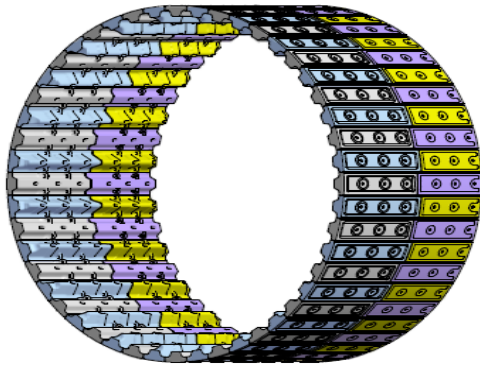
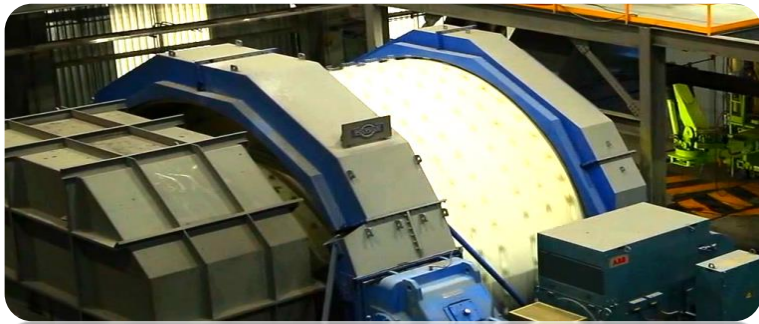
Definir y medir



## Información General Del Molino.

Tipo De Molino:	Semi Autogeno (SAG)
Diámetro:	20'
Long. Efectiva:	8' - 10"
Velocidad:	13.5 RPM
Tamaño De Bola:	5"
No. Lainas	44





ENSAMBLE

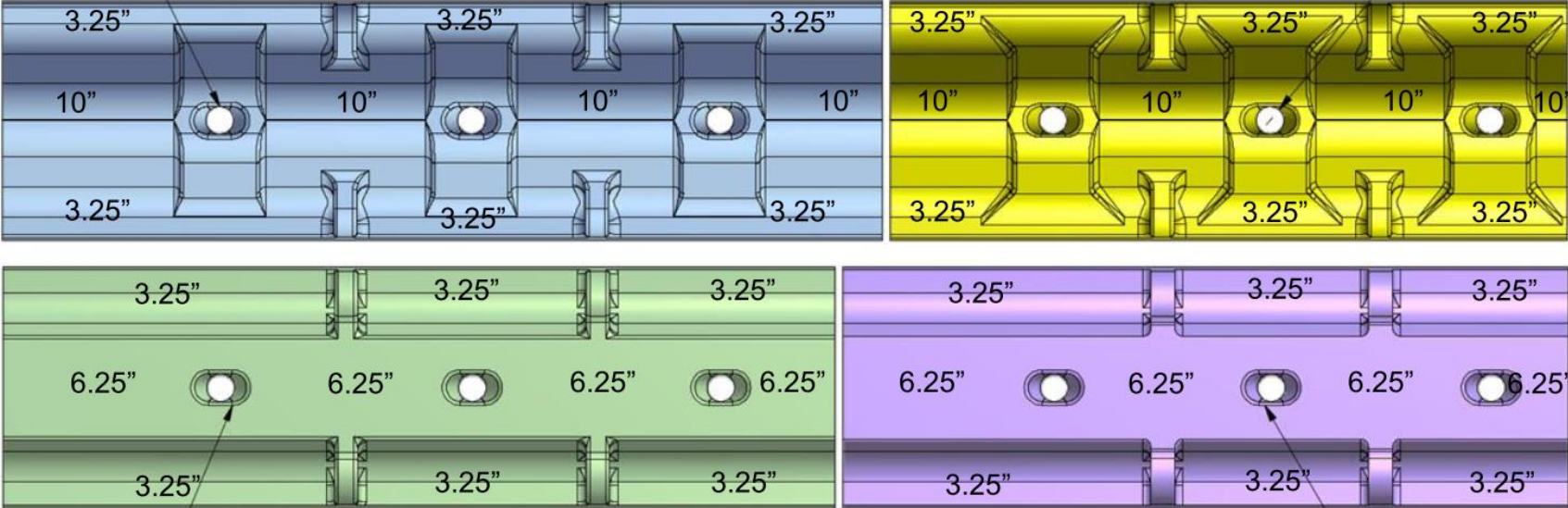
ENSAMBLE

INDICADOR	LIMITE MAX/MIN	CLIENTE/PROVEDOR
F80	2 / 6 INCHES	Mina/Molienda
Tonelaje	175 / 185 T/Hr	Mina/Molienda
P80	45 / 60 Micras	Molienda / flotación
Ley de plata	225 / 350 gr/ton	Mina/Molienda
Grado de plata en conc. De Pb	9500 / 13500 gr/ton	Flotación/ Fundición
Recuperación de plata	88.4 / 93.2 %	Flotación / Presa de jales
Numero de laines y composicion	44 configuradas A-B Acero-alto cromo al manganeso	FUCASA
Nivel de llenado bola / carga	13-16% bola / 29-35% carga	Regulado por sistema experto
Velocidad	13.5 RPM	Regulado por sistema experto

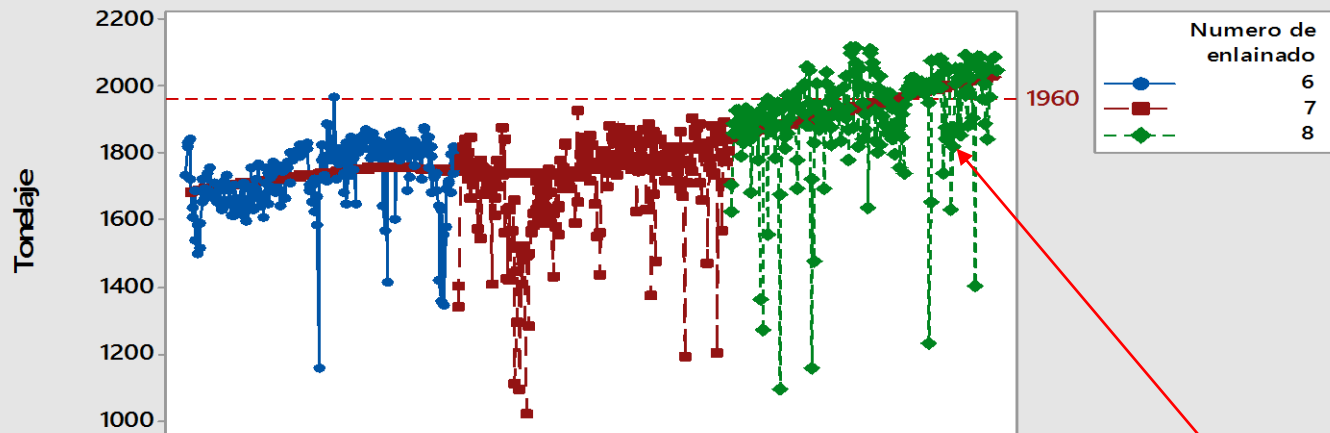


# Diseño Anterior

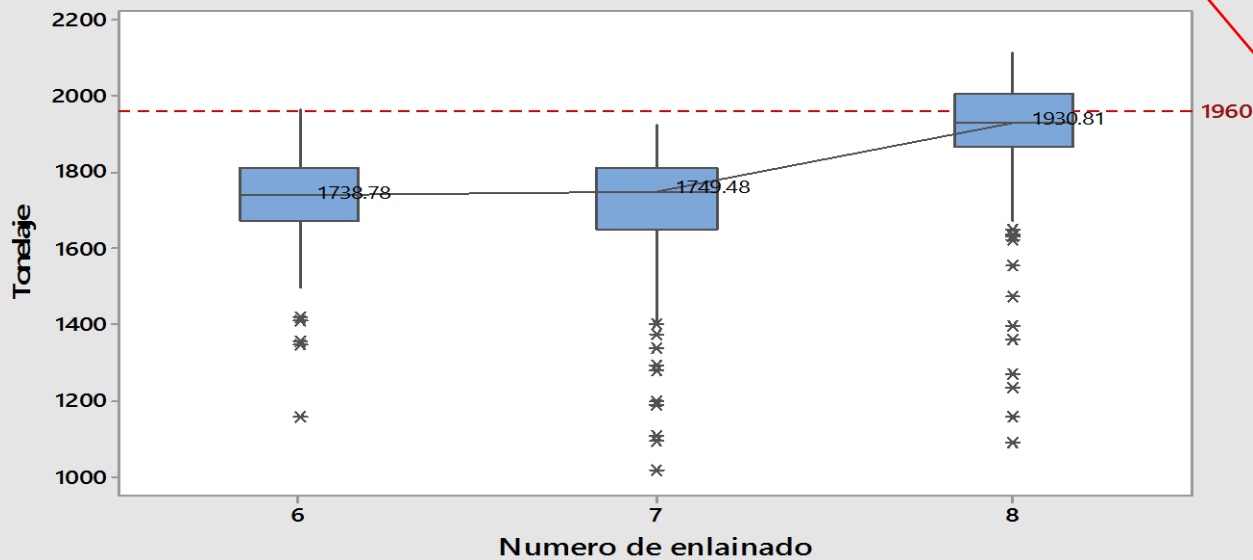
Lainas cilindro levantador alto y levantador bajo.



Time Series Plot of Tonelaje antes de la implementacion



Boxplot of Tonelaje antes de las mejoras



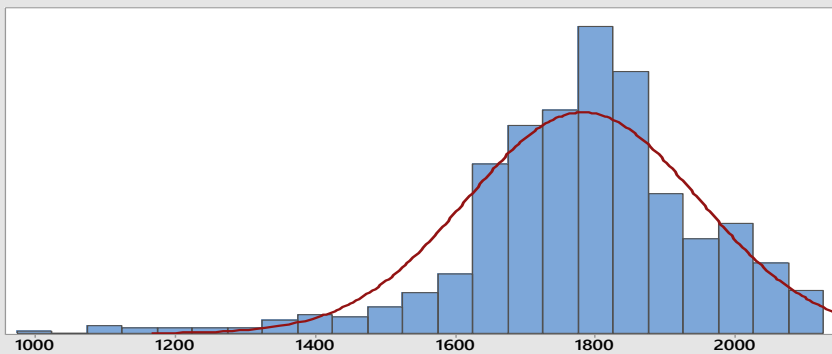
<b>ENLAINADO 6</b>		<b>413,913</b>		<b>393,218</b>
<b>FEBRERO 2014</b>	<b>95,834</b>	95,834	<b>91,043</b>	91,043
<b>MARZO 2014</b>	<b>109,917</b>	205,751	<b>104,421</b>	195,464
<b>ABRIL 2014</b>	<b>108,522</b>	314,273	<b>103,096</b>	298,560
<b>MAYO 2014</b>	<b>110,273</b>	424,547	<b>104,760</b>	403,319
<b>JUNIO 2014</b>	<b>102,666</b>	527,213	<b>97,533</b>	500,852
<b>ENLAINADO 7</b>		<b>527,213</b>		<b>500,852</b>
<b>JULIO 2014</b>	<b>100,148</b>	100,148	<b>95,140</b>	95,140
<b>AGOSTO 2014</b>	<b>107,849</b>	207,996	<b>102,456</b>	197,597
<b>SEPTIEMBRE 2014</b>	<b>108,299</b>	316,295	<b>102,884</b>	300,481
<b>OCTUBRE 2014</b>	<b>120,108</b>	436,404	<b>114,103</b>	414,583
<b>ENLAINADO 8</b>		<b>436,404</b>		<b>414,583</b>
<b>NOVIEMBRE 2014</b>	<b>113,087</b>	113,087	<b>107,433</b>	107,433
<b>DICIEMBRE 2014</b>	<b>113,222</b>	226,309	<b>107,560</b>	214,993
<b>ENERO 2015</b>	<b>121,721</b>	348,030	<b>115,635</b>	330,628
<b>FEBRERO 2015</b>	<b>97,575</b>	445,605	<b>92,696</b>	423,325
<b>ENERO 2012</b>	<b>95,252</b>	442,802	<b>85,838</b>	453,352
<b>ENERO 2012</b>	<b>151,151</b>	348,030	<b>112,832</b>	330,858
<b>DICIEMBRE 2014</b>	<b>113,555</b>	558,303	<b>101,280</b>	514,333
<b>NOVIEMBRE 2014</b>	<b>108,081</b>	101,433	<b>101,433</b>	101,433

Lainas fracturadas



08) ¿Cómo fue la brecha u oportunidad que atrajo la atención del grupo que identificó el proyecto?

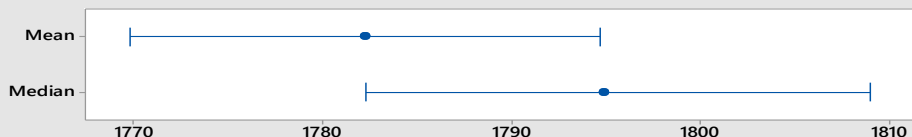
Summary Report for Tonelaje



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	5.72
P-Value	<0.005
Mean	1782.2
StDev	165.6
Variance	27430.1
Skewness	-0.94264
Kurtosis	2.49358
N	681
Minimum	1014.8
1st Quartile	1698.8
Median	1794.9
3rd Quartile	1875.0
Maximum	2112.6
95% Confidence Interval for Mean	
	1769.8 1794.7
95% Confidence Interval for Median	
	1782.2 1809.0
95% Confidence Interval for StDev	
	157.3 174.9



95% Confidence Intervals



El área de oportunidad es subir la duración promedio por blindaje en ambos molinos a 500,000 t/blindaje

Duración promedio de los blindajes entre ambos molinos:  
426,593 toneladas/blindaje

Enlainado Cilindro SAG				
MES	PI HUMEDAS		PI SECAS	
	TON	ACUM	TON	ACUM
NOVIEMBRE 2014	0	0	0	0
DICIEMBRE 2014	58,047	58,047	55,145	55,145
ENERO 2015	95,392	153,439	90,622	145,767
FEBRERO 2015	87,727	241,166	83,341	229,108
MARZO 2015	95,146	336,312	90,388	319,496
ABRIL 2015	34,257	370,569	32,544	352,040
<b>ENLAINADO 1</b>		<b>370,569</b>		<b>352,040</b>
ABRIL 2015	61,270	61,270	58,206	58,206
MAYO 2015	99,192	160,462	94,232	152,439
JUNIO 2015	91,064	251,526	86,511	238,949
JULIO 2015	93,588	345,113	88,908	327,858
<b>ENLAINADO 2</b>		<b>345,113</b>		<b>327,858</b>
AGOSTO 2015	96,244	96,244	91,432	91,432
SEPTIEMBRE 2015	93,843	190,087	89,150	180,582
OCTUBRE 2015	92,467	282,554	87,844	268,426
NOVIEMBRE 2015	33,749	316,303	32,061	300,488
<b>ENLAINADO 3</b>		<b>316,303</b>		<b>300,488</b>
NOVIEMBRE 2015	67,745	67,745		
DICIEMBRE 2015	103,816	171,560	98,625	98,625
ENERO 2016	107,919	279,480	102,523	201,148
FEBRERO 2016	101,921	381,400	96,825	300,000
MARZO 2016	42,244	423,644	40,131	336,956
<b>ENLAINADO 4</b>		<b>423,644</b>		<b>336,956</b>
MARZO 2016	58,641	58,641	55,709	55,709
ABRIL 2016	115,401	174,043	109,631	165,341
MAYO 2016	118,771	292,814	112,832	278,173
JUNIO 2016	104,611	397,425	99,381	377,554
JULIO 2016	114,647	512,072	108,915	486,469
AGOSTO 2016	102,900	614,972	97,755	584,224
<b>ENLAINADO 5</b>		<b>614,972</b>		<b>584,224</b>

---

Analizar y mejorar

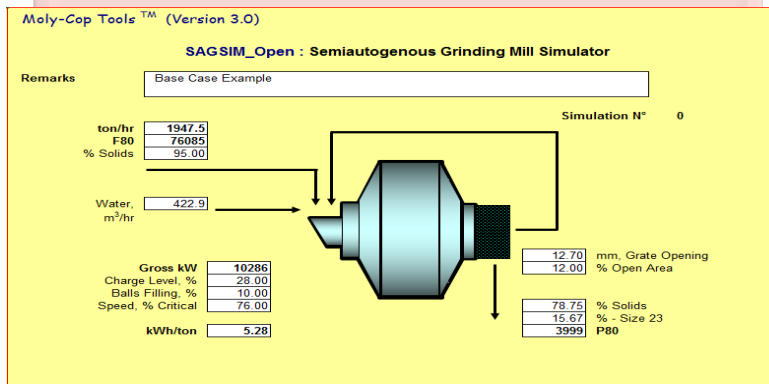
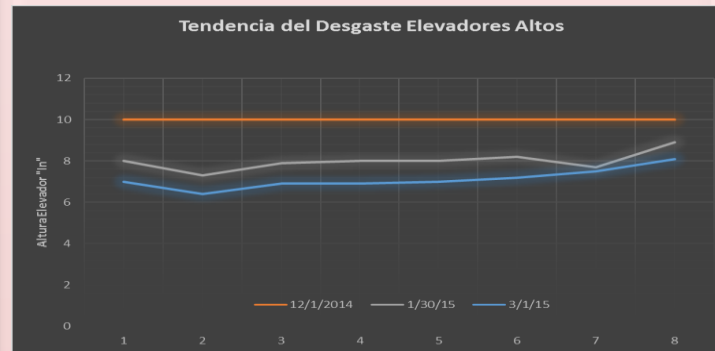


## Base de datos



Factor	Nombre	Tipo	Bajo	Alto
A	cabeza	Número	287	487
B	7310	Número	25	45
C	Aerofina	Número	325	450
D	ZnSO4	Número	1700	2600
E	Espumante	Número	155	195

## Análisis



## Mejoras potenciales

- Modificación de bola para reducir impacto
- Cambio de parrillas de descarga
- **Modificación a espesor de levantadores**
- Disminución del ritmo de molienda
- Cambio en el gradiente de bola



Moly-Cop Tools™ (Version 3.0)

Antes de la implementación

**SAGSIM\_Open : Semiautogenous Grinding Mill Simulator**

Remarks

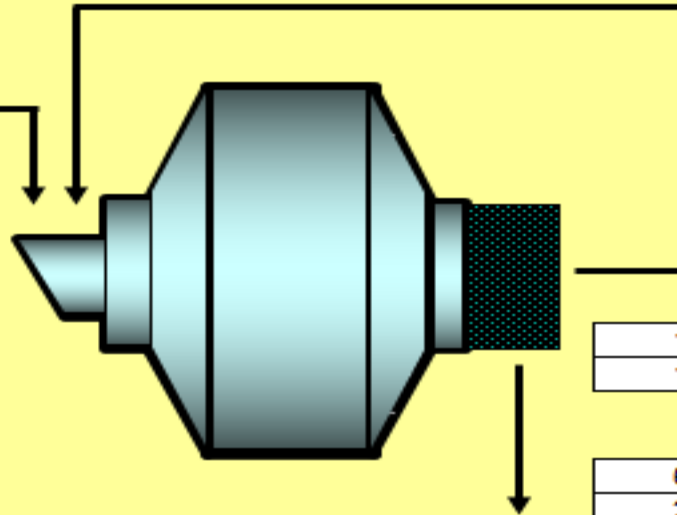
Minera Saucito

Simulation N° 0

ton/hr	182.8
F80	76085
% Solids	95.00

Water, m<sup>3</sup>/hr 94.9

Gross kW	1131
Charge Level, %	29.00
Balls Filling, %	13.00
Speed, % Critical	75.00
kWh/ton	6.19



19.00 mm, Grate Opening  
12.00 % Open Area

63.63 % Solids  
20.88 % - Size 23  
3326 P80

Moly-Cop Tools™ (Version 3.0)

Después de la implementación

SAGSIM\_Open : Semiautogenous Grinding Mill Simulator

Remarks

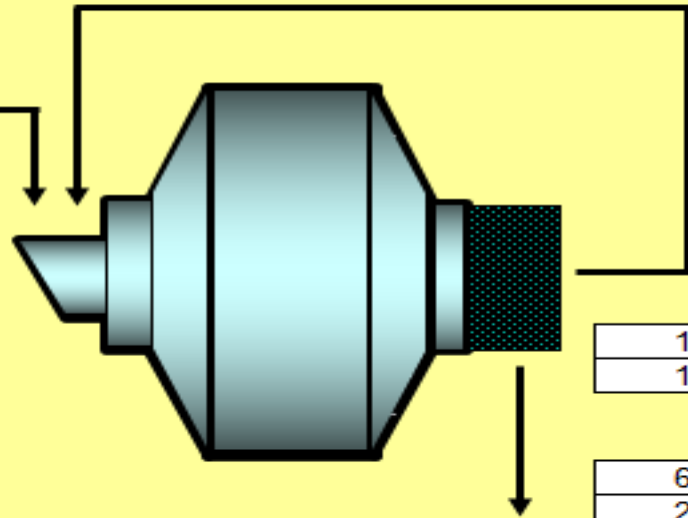
Minera Saucito

Simulation N° 0

ton/hr	176.9
F80	76085
% Solids	95.00

Water, m<sup>3</sup>/hr 91.6

Gross kW	1083
Charge Level, %	29.00
Balls Filling, %	13.00
Speed, % Critical	75.00
kWh/ton	6.12



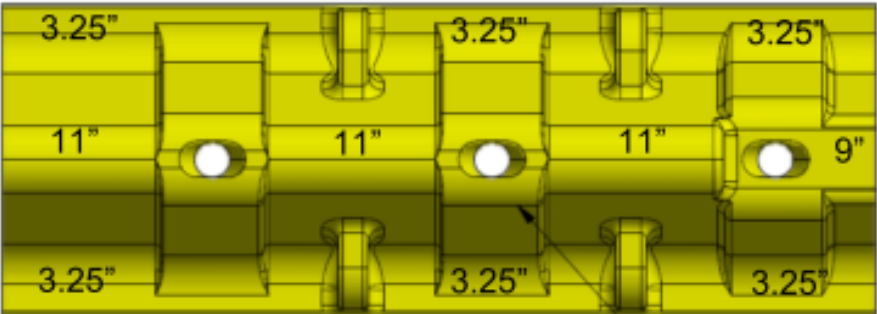
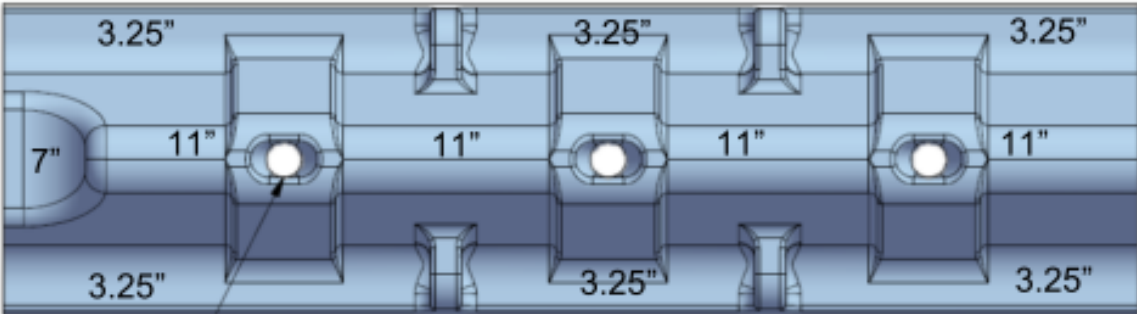
19.00 mm, Grate Opening  
12.00 % Open Area

63.67 % Solids  
20.53 % - Size 23  
3421 P80

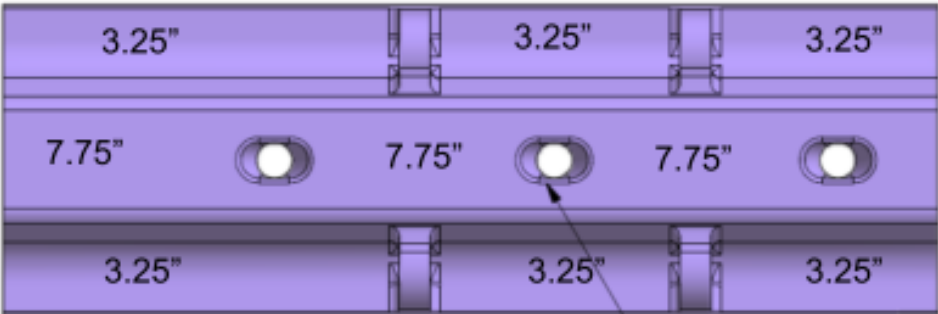
# Diseño actual

Lainas cilindro levantador alto y levantador bajo.

25° de levante con radio de ataque

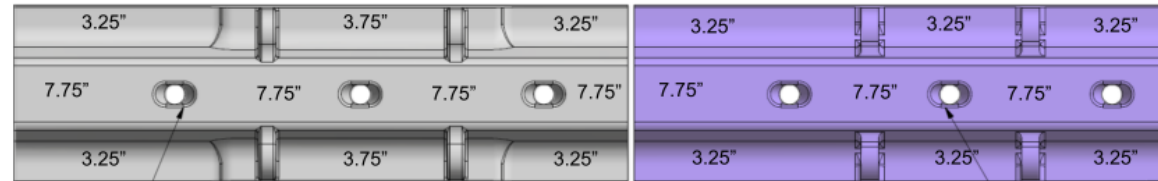
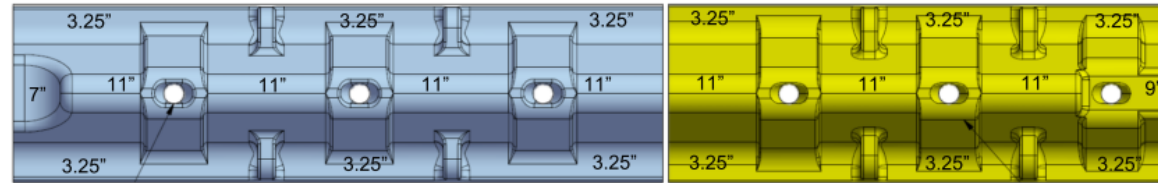


25° de levante



# Diseño actual

Lainas cilindro levantador alto y levantador bajo.

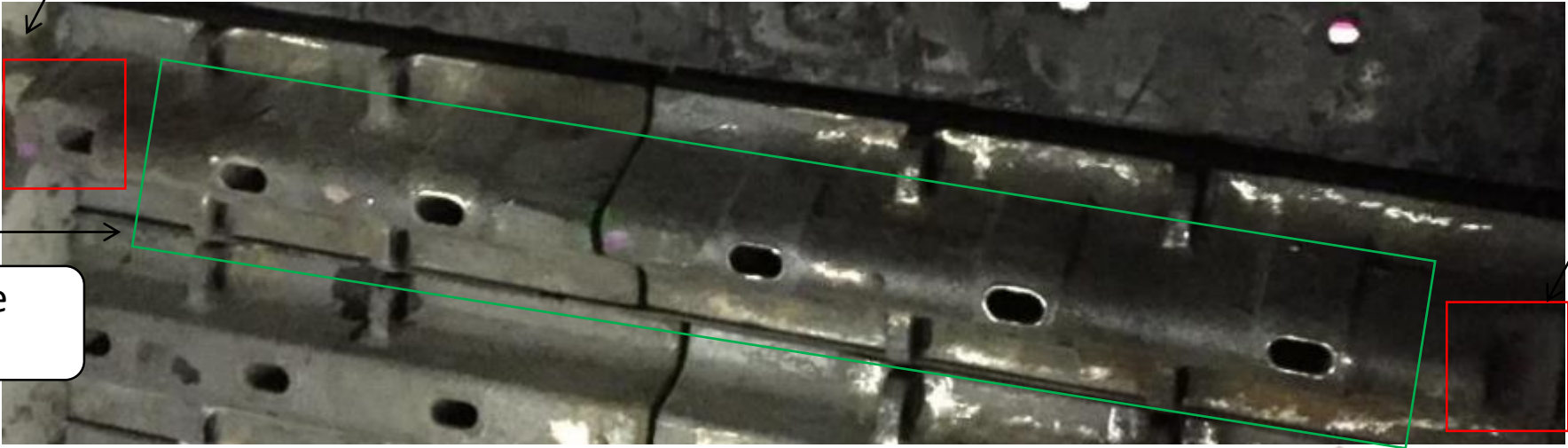


Aumento total de peso  
2 toneladas por cilindro

Disminución de  
espesores

Disminución de  
espesores

Aumento de  
espesores



Nuevo periodo: 20/04/2016 al 01/11/2016

Enlainado 13



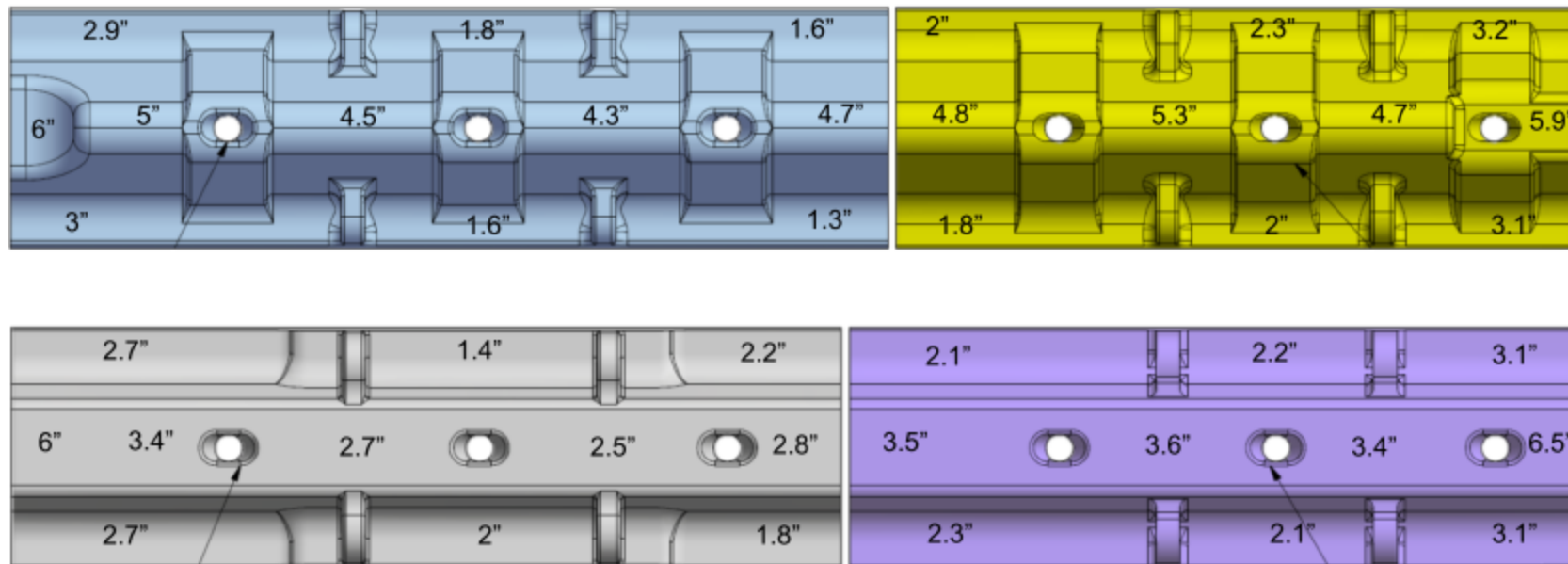


# Ultima inspección

Medición realizada el 1 de Noviembre 2016

Enlainado 13

Lainas cilindro levantador alto y levantador bajo.  
Fecha de instalación: 19 – Abril – 2016



Periodo:  
19/04/2016 al  
01/11/2016

Enlainado 13

### Lainas Del Cilindro



# Análisis grafico de comportamiento de laines



Periodo:  
19/04/2016 al  
01/11/2016

Enlainado 13

## Desgaste elevadores altos



	Elevadores Altos									
	Lado Alimentación					Lado Descarga				
Perfil Nuevo 19/Abr/16	7	11	11	11	11	11	11	11	11	9
Inspección 12/May/16	7	10	9.75	10.2	10.1	10.2	10.3	10	10	9
Inspección 31/May/16	7	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4	9.5	9.5	9.4	8.9
Inspección 1/Ago/16	7	7.8	7.4	7.5	7.5	7.4	8.3	7.4	8.7	8.4
Inspección 1/Sep/16	7	7.2	6.1	6.5	6.7	7	7	6.4	7.1	7.1
Inspección 1/Oct/16	6	6	5.2	5.3	5.5	6	6.1	5.5	5.4	6.1
Inspección 1/Nov/16	6	5	4.5	4.3	4.7	4.8	5.3	4.7	4.7	5.9
Desgaste puntual total en 6 meses de operación	1	6	6.5	6.7	6.3	6.2	5.7	6.3	6.3	3.1
Tasa de desgaste mensual promedio	0.17	1.00	1.08	1.12	1.05	1.03	0.95	1.05	1.05	0.52

\*Dimensiones expresadas en Plg



Periodo:  
19/04/2016 al  
01/11/2016

Enlainado 13

## Desgaste elevadores bajos



	Elevadores Bajos							
	Lado Alimentación				Lado Descarga			
Perfil Nuevo 19/Abr/16	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75
Inspección 12/May/16	7.6	7.5	7.6	7.3	7.4	7.4	7.3	7.7
Inspección 31/May/16	7.3	7	7	7	7	6.9	7	7.5
Inspección 1/Ago/16	7	5.5	5.6	5.5	5.8	5.8	5.7	6.9
Inspección 1/Sep/16	6.7	4.7	4.7	4.7	5.1	5.1	5	6.9
Inspección 1/Oct/16	6	3.8	3.76	3.76	4.2	4.3	4.1	6
Inspección 1/Nov/16	6	2.7	2.5	2.8	3.5	3.6	3.4	6.5
Desgaste puntual total en 6 meses de operación	1.75	5.05	5.25	4.95	4.25	4.15	4.35	1.25
Tasa de desgaste mensual promedio	0.29	0.84	0.88	0.83	0.71	0.69	0.73	0.21

\*Dimensiones expresadas en Plg

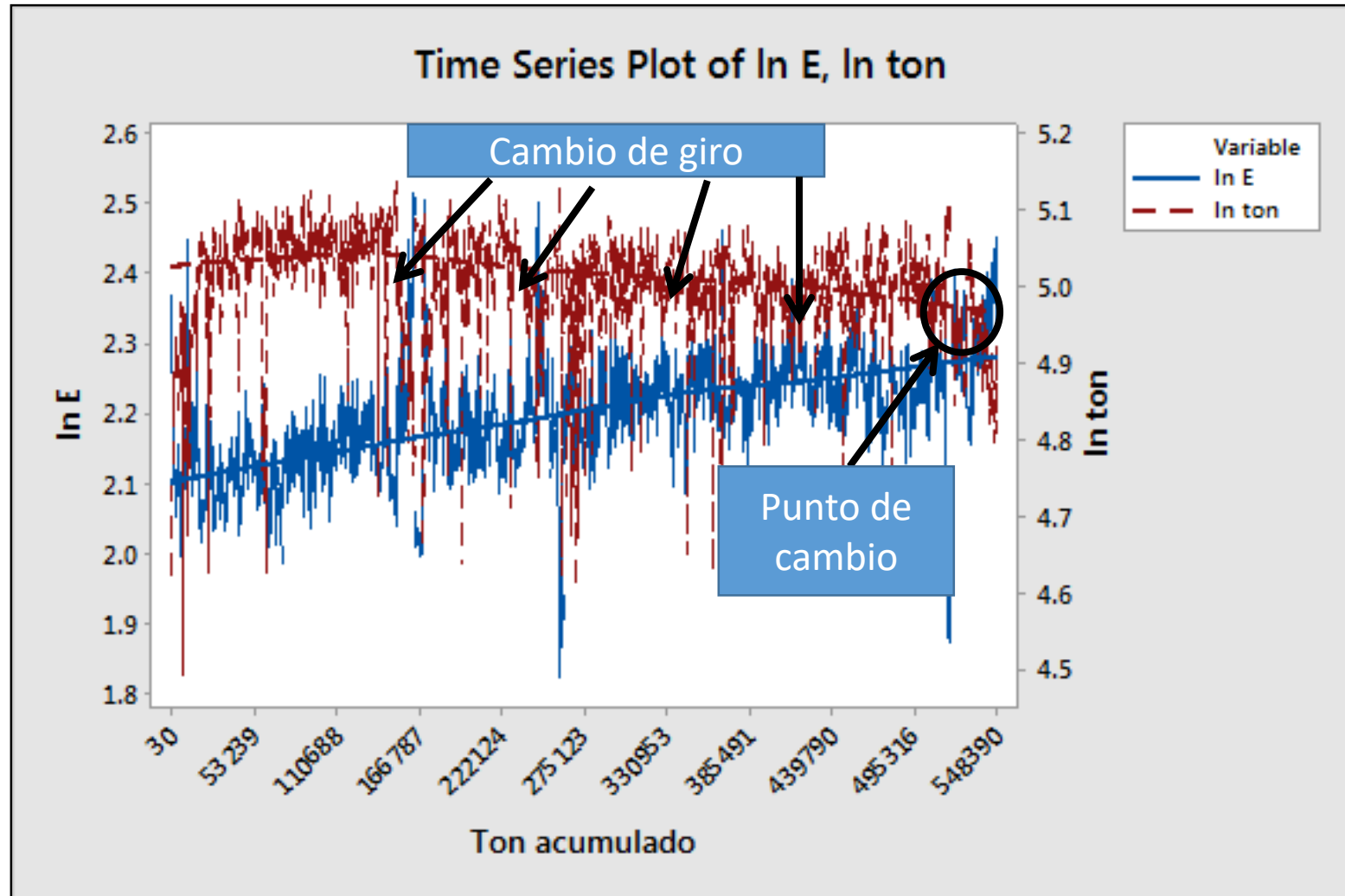


$E = \text{potencia/ton} = \text{Energía específica}$

Periodo:  
02/05/2012 al  
12/11/2012

Cilindro 2

Duración: 547,430  
ton/cilindro  
6 meses 13 días

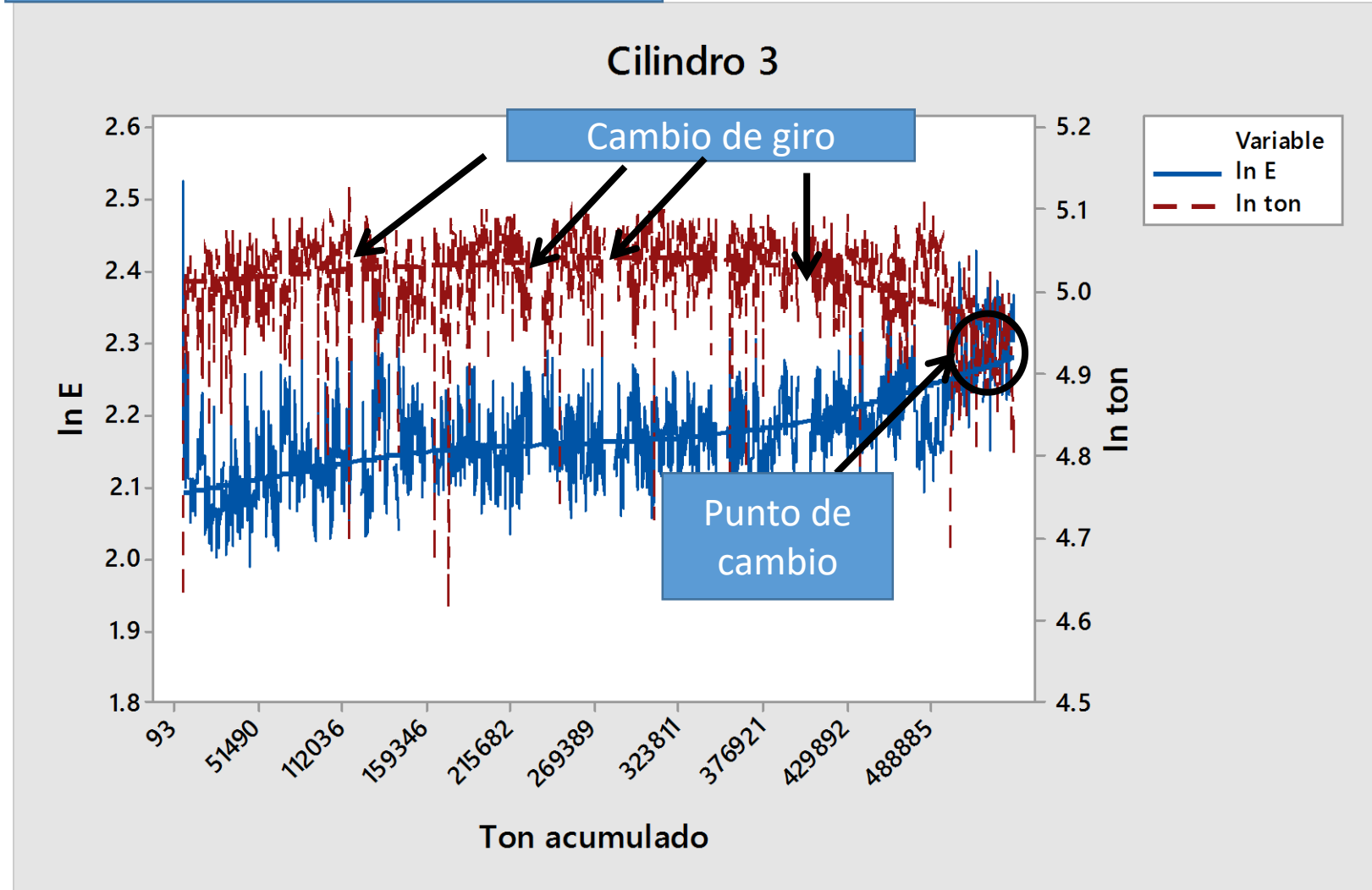


$E = \text{potencia/ton} = \text{Energía específica}$

Periodo:  
27/04/2013 al  
29/09/2013

Cilindro 4

Duración: 518,901  
ton/cilindro  
5 meses 2 días



$E = \text{potencia/ton} = \text{Energía específica}$

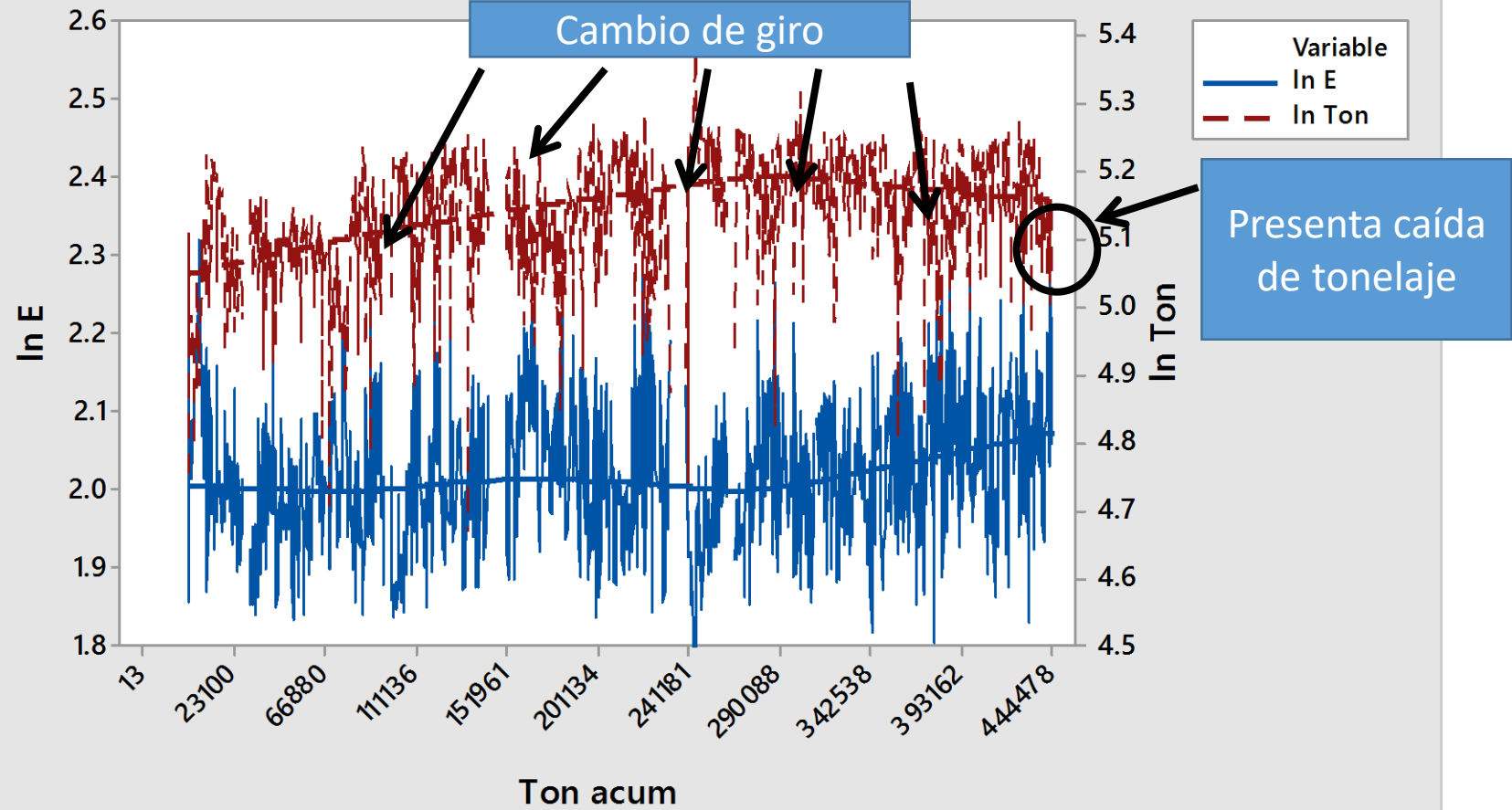
Nuevo diseño

Periodo:  
29/06/2015 al  
29/11/2015

Cilindro 10

Duración: 534,169  
ton/cilindro  
5 meses

Gráfica de series de tiempo de ln E, ln Ton



Periodo:  
30/11/2015 al  
18/04/2016

Cilindro 12

Duración: 562,283  
ton/cilindro  
5 meses

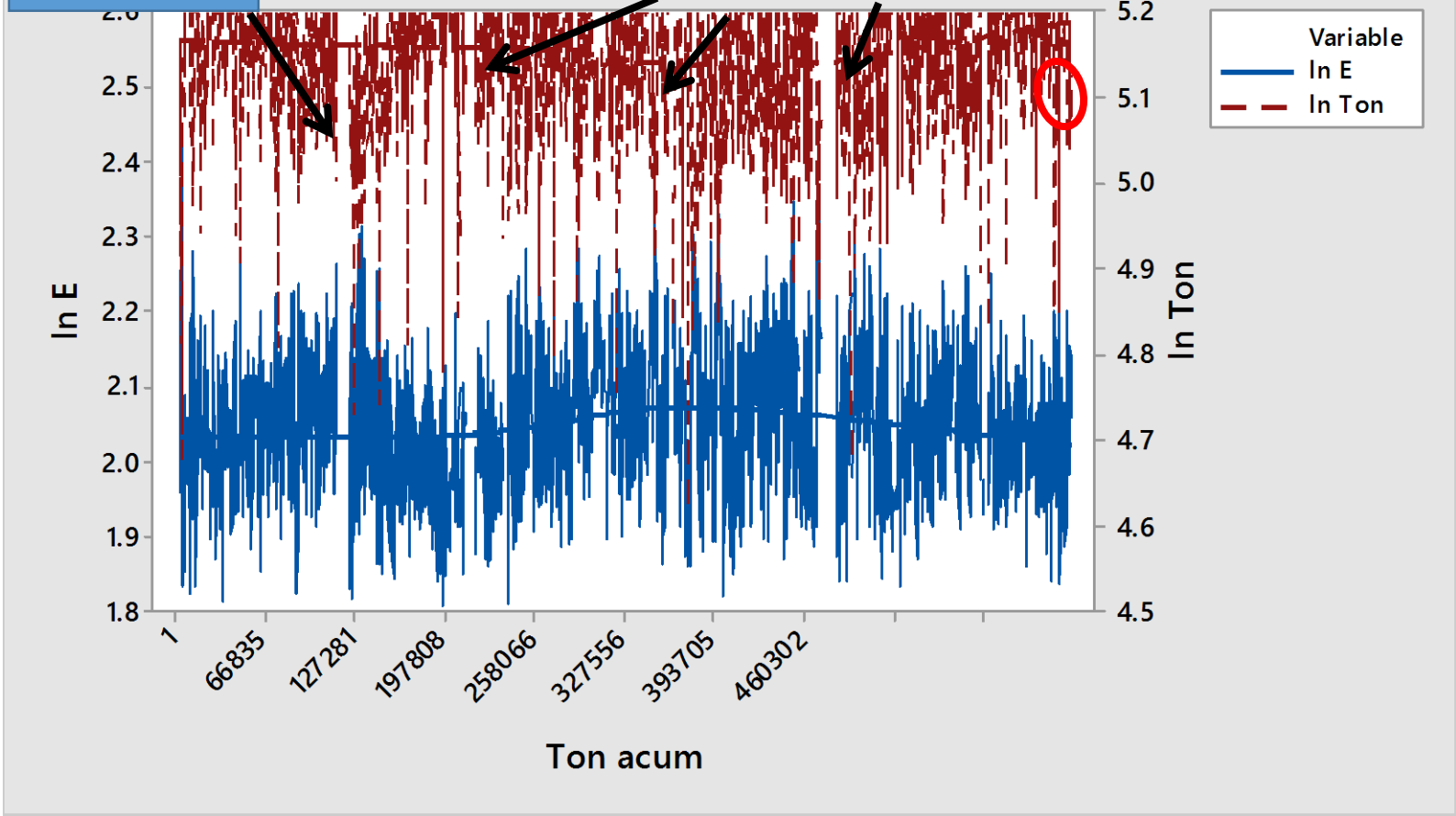
No se encuentra las  
líneas por lo cual el  
cambio fue correcto

$E = \text{potencia/ton} = \text{Energía específica}$

Cambio de  
giro

Gráfica de series de tiempo de In E, In Ton

Cambio de giro



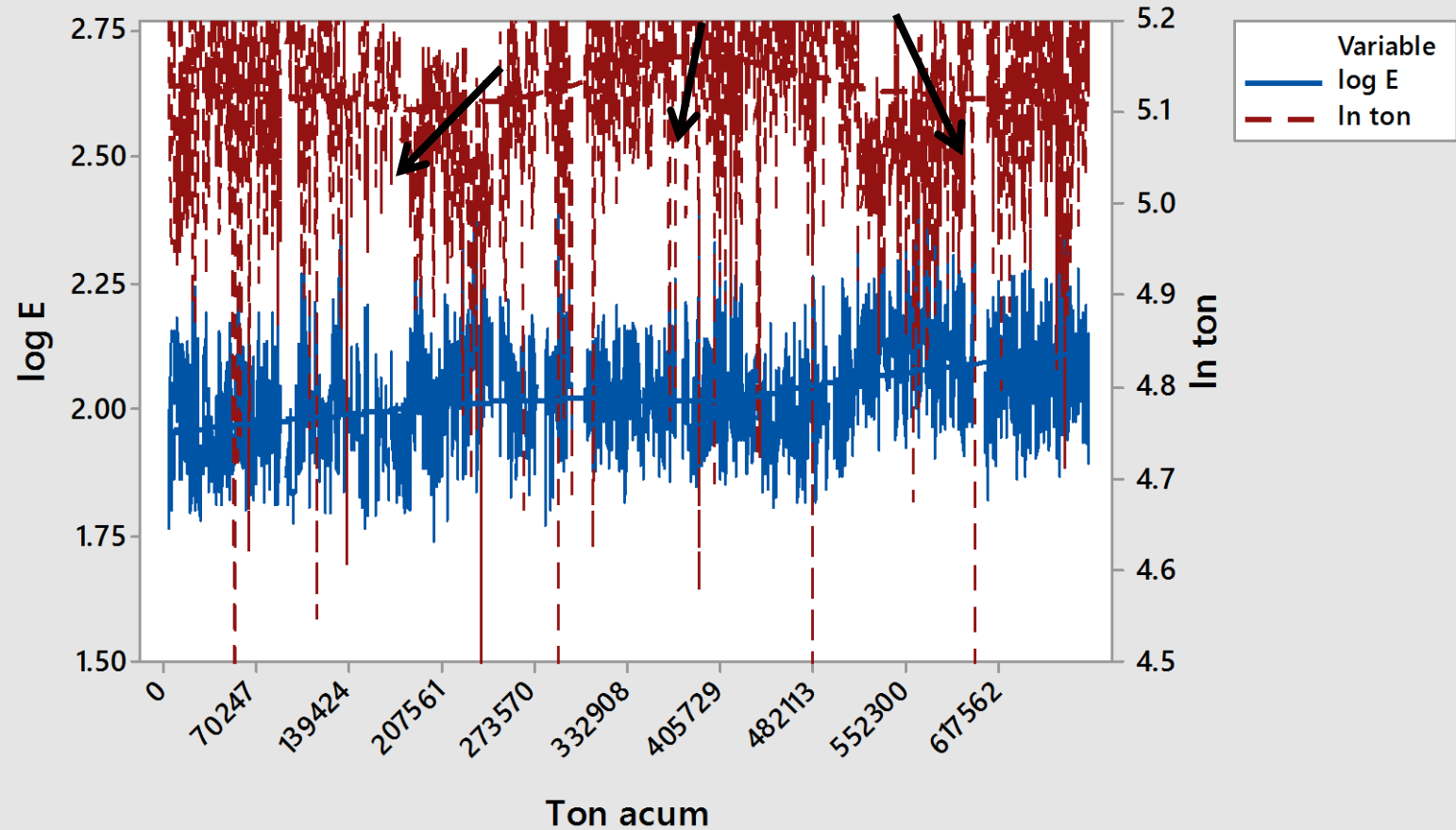
Periodo:  
19/04/2016 a  
01/11/2016

Cilindro 13

Las toneladas procesadas bajo esas condiciones es: 675,842 toneladas y aun no pierde eficiencia energética, sin embargo los blindajes sobrepasaron su vida util.

$E = \text{potencia/ton} = \text{Energía específica}$

Cambio de giro Gráfica de series de tiempo de log E, ln ton

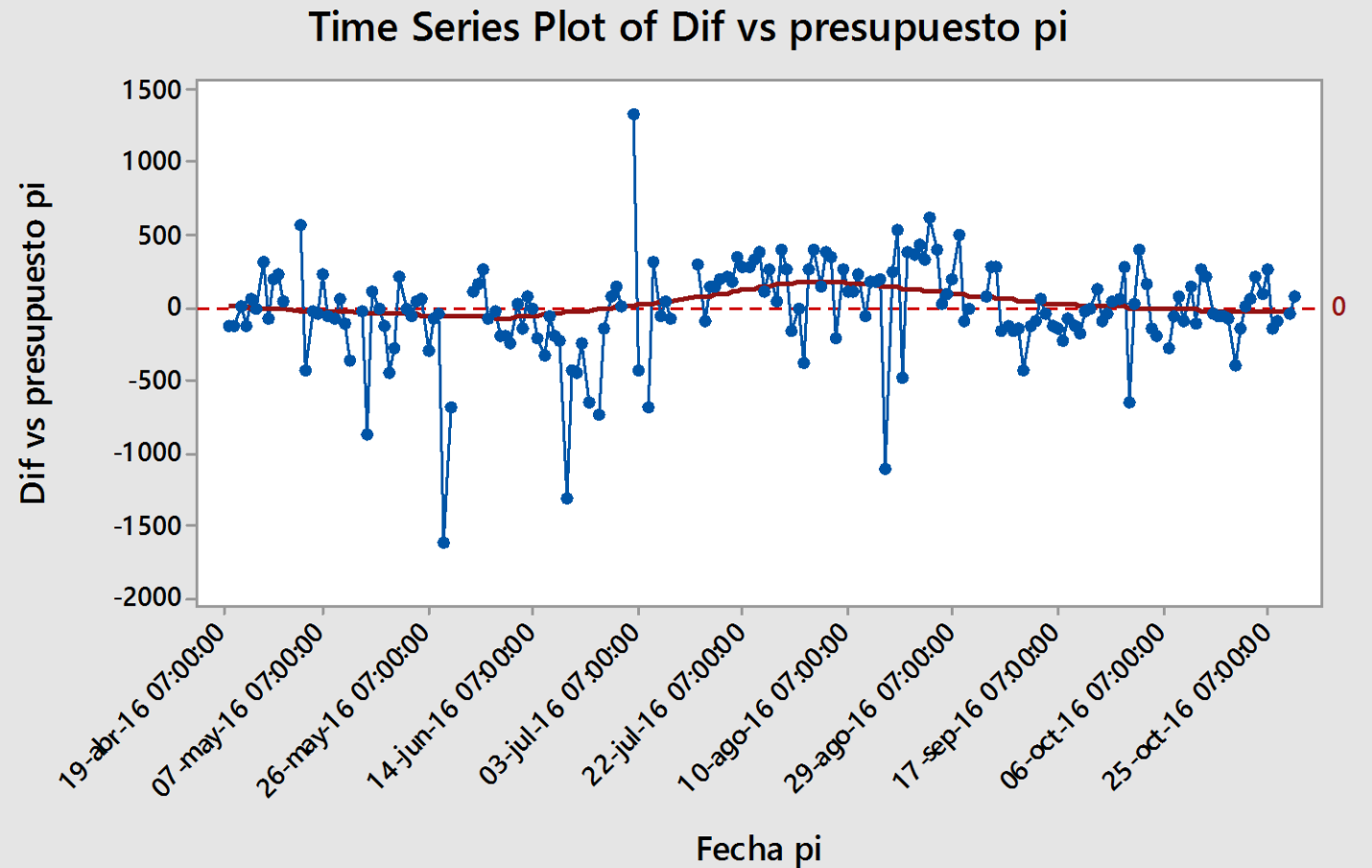




Periodo:  
19/04/2016 a  
01/11/2016

Cilindro 13

Las toneladas procesadas bajo esas condiciones es: 675,842 toneladas y aun no pierde eficiencia energética, es necesario seguir monitoreando para tomar la mejor decisión.



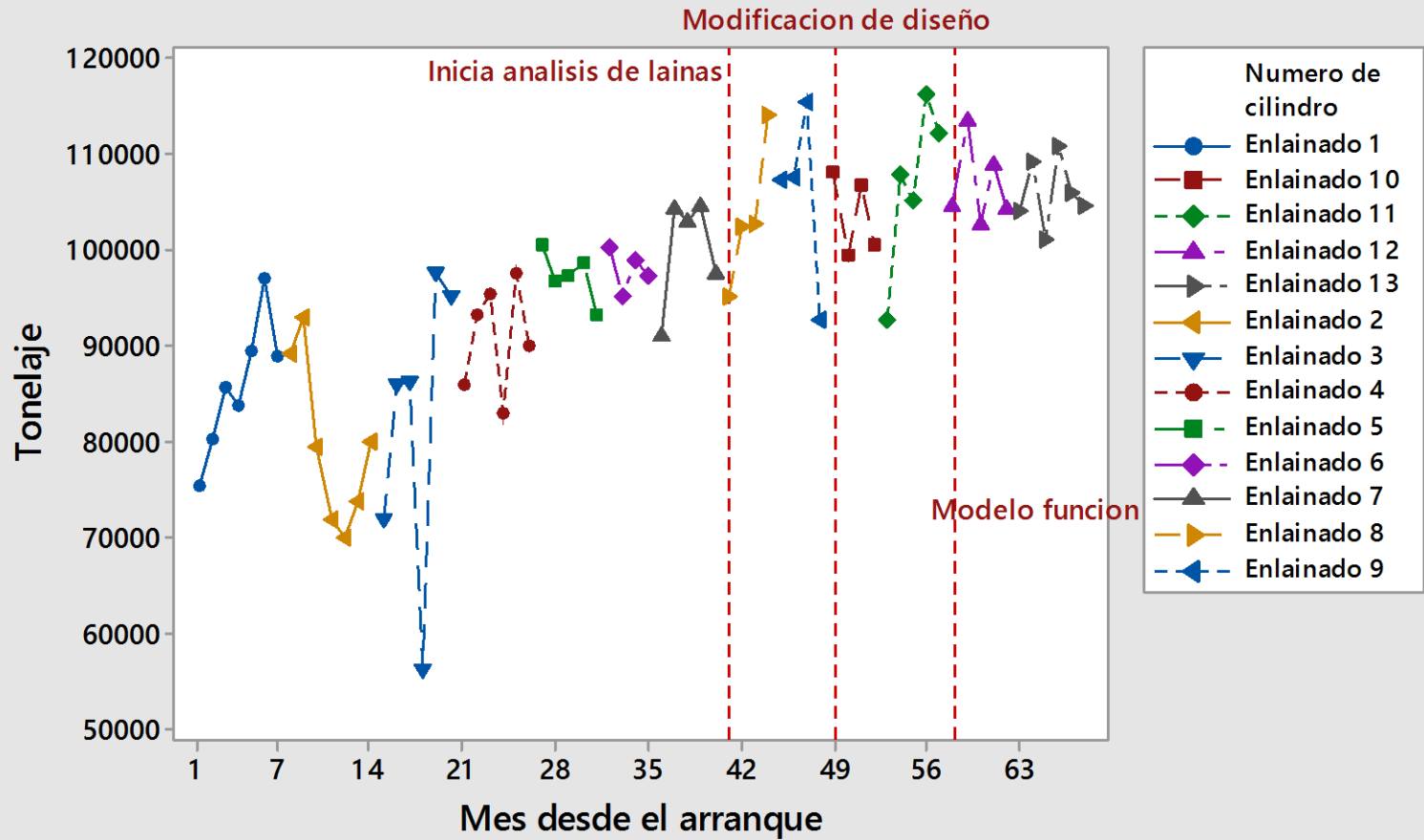
Enlainado Cilindro SAG				
MES	PI HUMEDAS		PI SECAS	
	TON	ACUM	TON	ACUM
MARZO 2011	79,280	79,280	75,316	75,316
ABRIL 2011	84,414	163,694	80,193	155,509
MAYO 2011	90,116	253,810	85,610	241,120
JUNIO 2011	88,225	342,035	83,814	324,933
JULIO 2011	94,325	436,360	89,609	414,542
AGOSTO 2011	102,209	538,569	97,099	511,641
SEPTIEMBRE 2011	93,702	632,271	89,017	600,658
<b>ENLAINADO 1</b>		<b>632,271</b>		<b>600,658</b>
OCTUBRE 2011	93,835	93,835	89,143	89,143
NOVIEMBRE 2011	97,815	191,650	92,924	182,067
DICIEMBRE 2011	83,752	275,402	79,565	261,632
ENERO 2012	75,611	351,012	71,830	333,462
FEBRERO 2012	73,656	424,668	69,973	403,435
MARZO 2012	77,560	502,228	73,682	477,116
ABRIL 2012	84,327	586,555	80,111	557,227
MAYO 2012	1755	588,310	1,667	558,894
<b>ENLAINADO 2</b>		<b>588,310</b>		<b>558,894</b>
MAYO 2012	73,821	73,821	70,130	70,130
JUNIO 2012	90,347	164,168	85,829	155,959
JULIO 2012	90,897	255,064	86,352	242,311
AGOSTO 2012	59,135	314,200	56,178	298,490
SEPTIEMBRE 2012	102,706	416,906	97,571	396,060
OCTUBRE 2012	100,178	517,084	95,169	491,229
NOVIEMBRE 2012	30,347	547,430	28,829	520,059
<b>ENLAINADO 3</b>		<b>547,430</b>		<b>520,059</b>
NOVIEMBRE 2012	60,212	60,212	57,201	57,201
DICIEMBRE 2012	98,089	158,300	93,184	150,385
ENERO 2013	100,591	258,891	95,561	245,946
FEBRERO 2013	87,216	346,107	82,856	328,802
MARZO 2013	102,663	448,771	97,530	426,332
ABRIL 2013	86,637	535,407	82,305	508,637
<b>ENLAINADO 4</b>		<b>535,407</b>		<b>508,637</b>

ABRIL 2013	7,796	7,796	7,796	7,796
MAYO 2013	105,804	113,600	100,514	108,310
JUNIO 2013	101,860	215,460	96,767	205,077
JULIO 2013	102,456	317,916	97,333	302,410
AGOSTO 2013	103,967	421,883	98,769	401,179
SEPTIEMBRE 2013	97,018	518,901	92,167	493,346
<b>ENLAINADO 5</b>		<b>518,901</b>		<b>493,346</b>
SEPTIEMBRE 2013	1,273	1,273	1,209	1,209
OCTUBRE 2013	105,673	106,946	100,389	101,599
NOVIEMBRE 2013	100,307	207,253	95,291	196,890
DICIEMBRE 2013	104,286	311,539	99,072	295,962
ENERO 2014	102,375	413,913	97,256	393,218
<b>ENLAINADO 6</b>		<b>413,913</b>		<b>393,218</b>
FEBRERO 2014	95,834	95,834	91,043	91,043
MARZO 2014	109,917	205,751	104,421	195,464
ABRIL 2014	108,522	314,273	103,096	298,560
MAYO 2014	110,273	424,547	104,760	403,319
JUNIO 2014	102,666	527,213	97,533	500,852
<b>ENLAINADO 7</b>		<b>527,213</b>		<b>500,852</b>
JULIO 2014	100,148	100,148	95,140	95,140
AGOSTO 2014	107,849	207,996	102,456	197,597
SEPTIEMBRE 2014	108,299	316,295	102,884	300,481
OCTUBRE 2014	120,108	436,404	114,103	414,583
<b>ENLAINADO 8</b>		<b>436,404</b>		<b>414,583</b>

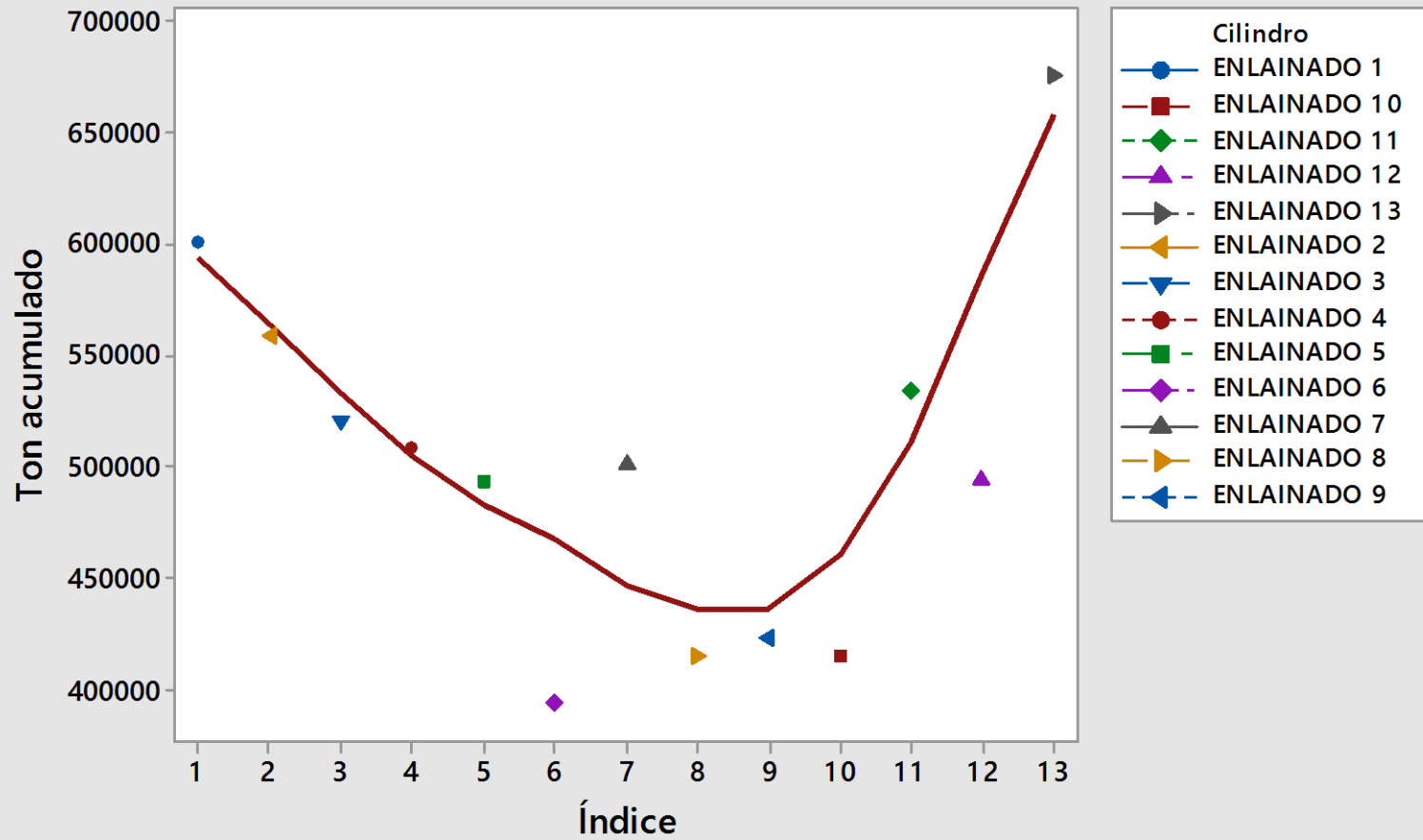
Nuevo diseño y comienza aplicación de función de perdida

NOVIEMBRE 2014	113,087	113,087	107,433	107,433
DICIEMBRE 2014	113,222	226,309	107,560	214,993
ENERO 2015	121,721	348,030	115,635	330,628
FEBRERO 2015	97,574	445,604	92,696	423,324
ENLAINADO 9		445,604		423,324
MARZO 2015	113,749	113,749	108,061	108,061
ABRIL 2015	104,702	218,451	99,467	207,528
MAYO 2015	112,386	330,837	106,767	314,295
JUNIO 2015	105,778	436,615	100,489	414,784
ENLAINADO 10		436,615		414,784
JULIO 2015	97,522	97,522	92,646	92,646
AGOSTO 2015	113,463	210,984	107,789	200,435
SEPTIEMBRE 2015	110,804	321,788	105,264	305,699
OCTUBRE 2015	122,397	444,185	116,277	421,976
NOVIEMBRE 2015	118,098	562,283	112,193	534,169
ENLAINADO 11		562,283		534,169
DICIEMBRE 2015	110,121	110,121	104,615	104,615
ENERO 2016	119,634	229,755	113,652	218,267
FEBRERO 2016	108,235	337,990	102,823	321,091
MARZO 2016	114,602	452,592	108,872	429,963
ABRIL 2016	67,789	520,382	64,400	494,362
ENLAINADO 12		520,382		494,362
ABRIL 2016	42,031	42,031	39,929	39,929
MAYO 2016	109,690	151,720	104,205	144,134
JUNIO 2016	114,888	266,608	109,143	253,278
JULIO 2016	106,381	372,989	101,062	354,339
AGOSTO 2016	116,673	489,662	110,839	465,179
SEPTIEMBRE 2016	111,576	601,238	105,998	571,176
OCTUBRE 2016	110,174	711,413	104,666	675,842
ENLAINADO 13		711,413		675,842

## Gráfica de series de tiempo de Tonelaje



### Gráfica de series de tiempo de Ton acumulado





---

# Prueba de hipótesis de comportamiento de lanas



# Prueba de Igualdad de varianzas

## Prueba de varianzas iguales: Tonelaje vs. Numero de cilindro

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales  
Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente  
Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

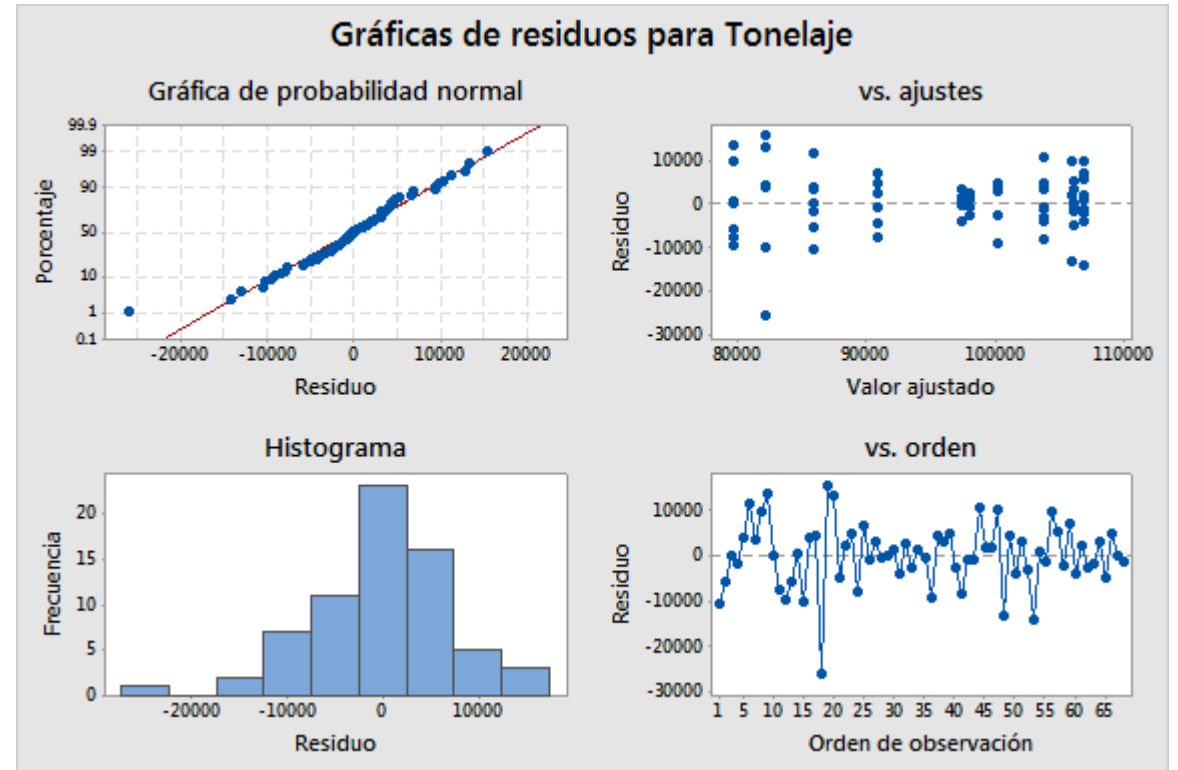
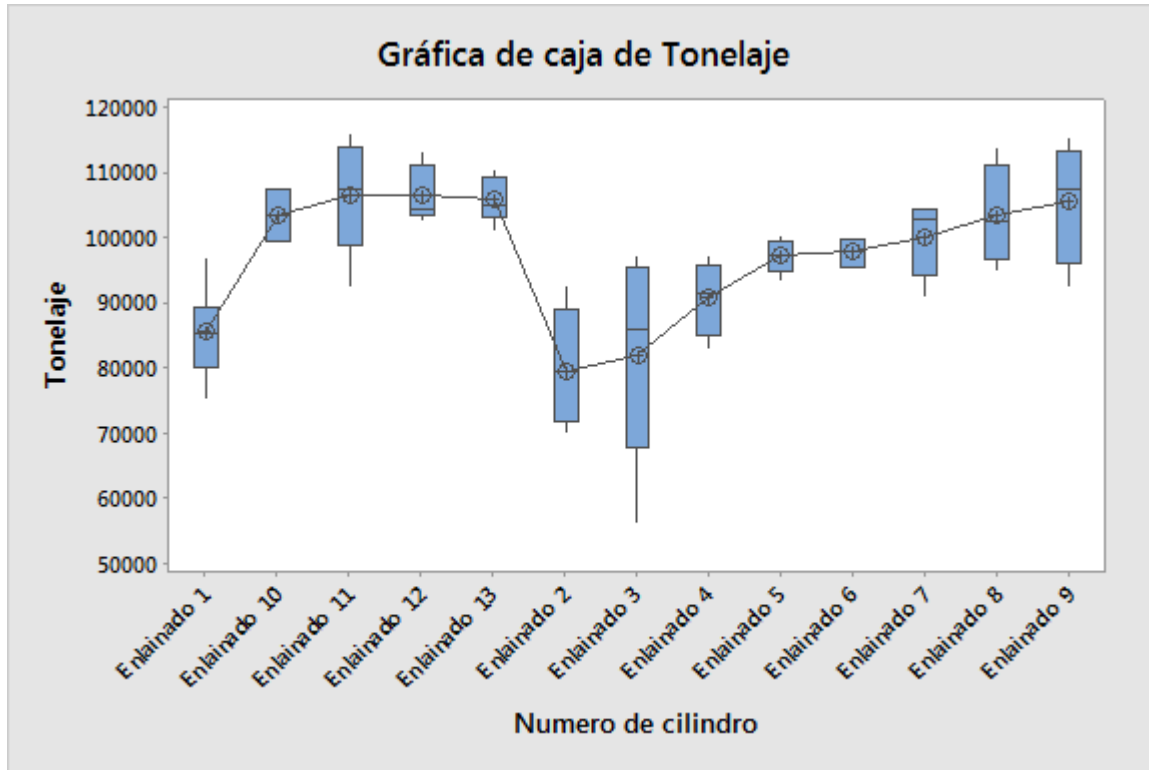
Numero de cilindro	N	Desv.Est.	IC
Enlainado 1	7	7045.7	(2416.94, 34986)
Enlainado 10	4	4345.7	( 520.54, 130801)
Enlainado 11	5	8980.3	(1249.78, 152948)
Enlainado 12	5	4413.7	( 757.49, 60957)
Enlainado 13	6	3540.8	( 950.17, 25461)
Enlainado 2	7	8726.8	(2831.49, 45814)
Enlainado 3	6	15621.7	(2509.66, 187632)
Enlainado 4	6	5656.2	(1731.82, 35646)
Enlainado 5	5	2652.9	( 401.96, 41499)
Enlainado 6	4	2217.2	( 124.46, 142399)
Enlainado 7	5	5872.9	( 996.47, 82042)
Enlainado 8	4	7824.8	( 265.98, 829925)
Enlainado 9	4	9560.6	( 311.56, 1057705)

Nivel de confianza individual = 99.6154%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.558
Levene	1.22	0.296

Como el valor de  $p > 0.05$  no se rechaza la hipótesis nula; de tal manera que se concluye que las varianzas si son iguales



# Análisis de varianza para medias poblacionales

## Resultados para: Prueba de hipótesis

### ANOVA unidireccional: Tonelaje vs. Numero de cilindro

\* NOTA \* No es posible dibujar la gráfica de intervalo para el procedimiento de Fisher. Las gráficas de intervalo para las comparaciones son ilegibles con más de 45 intervalos.

#### Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Numero de cilindro	13	Enlainado 1, Enlainado 10, Enlainado 11, Enlainado 12, Enlainado 13, Enlainado 2, Enlainado 3, Enlainado 4, Enlainado 5, Enlainado 6, Enlainado 7, Enlainado 8, Enlainado 9

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Numero de cilindro	12	6661210048	555100837	9.27	0.000
Error	55	3293560567	59882919		
Total	67	9954770615			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
7738.41	66.91%	59.70%	50.46%

#### Medias

Numero de cilindro	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Enlainado 1	7	85808	7046	(79947, 91670)
Enlainado 10	4	103696	4346	(95942, 111450)
Enlainado 11	5	106834	8980	(99898, 113769)
Enlainado 12	5	106858	4414	(99923, 113794)
Enlainado 13	6	105985	3541	(99654, 112317)
Enlainado 2	7	79604	8727	(73742, 85465)
Enlainado 3	6	82149	15622	(75818, 88481)
Enlainado 4	6	90877	5656	(84546, 97208)
Enlainado 5	5	97352	2653	(90416, 104287)
Enlainado 6	4	98002	2217	(90248, 105756)
Enlainado 7	5	100170	5873	(93235, 107106)

Como el valor de  $p < 0.05$  se rechaza la hipótesis nula; de tal manera que se concluye que las medias de las toneladas molidas en cada enlainado si son diferentes

# Análisis de comparación en parejas de Fisher

Después del análisis de varianza (ANOVA) se determina que existe una diferencia significativa entre los diferentes enlainados, y por medio de la comparación de Fisher se determinó que los blindajes que presentan mejor desempeño son las agrupaciones con la letra «A», concluyendo que las modificaciones fueron contundentes ya que la duración del blindaje fue la más alta desde el comienzo de la operación y como se demuestra en esta prueba no perdió eficiencia de manera significativa en comparación de todos los enlainados anteriores gracias a la aplicación de la función de pérdida.

## Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Numero de cilindro	N	Media	Agrupación
Enlainado 12	5	106858	A
Enlainado 11	5	106834	A
Enlainado 13	6	105985	A
Enlainado 9	4	105831	A
Enlainado 10	4	103696	A
Enlainado 8	4	103646	A
Enlainado 7	5	100170	A B
Enlainado 6	4	98002	A B
Enlainado 5	5	97352	A B
Enlainado 4	6	90877	B C
Enlainado 1	7	85808	C D
Enlainado 3	6	82149	C D
Enlainado 2	7	79604	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



# Conclusión del fabricante



## Comentarios

**Cilindro:** Durante este paro de mantenimiento se relizo el cambio de este sector del molino, estas piezas fueron instaladas desde el pasado 19 de Abril 2016, a este primero de Noviembre el cilindro cumplió 196 días de haberse instalado (6.53 meses) para un tonelaje procesado de 691,013 toneladas secas, comentar que el objetivo de esta segunda revisión del diseño del cilindro se ofreció una duración de 6 meses. Al ser esta la primera prueba será importante probar 2 o 3 cilindros mas para evaluar su comportamiento y obtener resultados mas concretos.

Periodo:  
30/11/2015 al  
18/04/2016

Cilindro 13

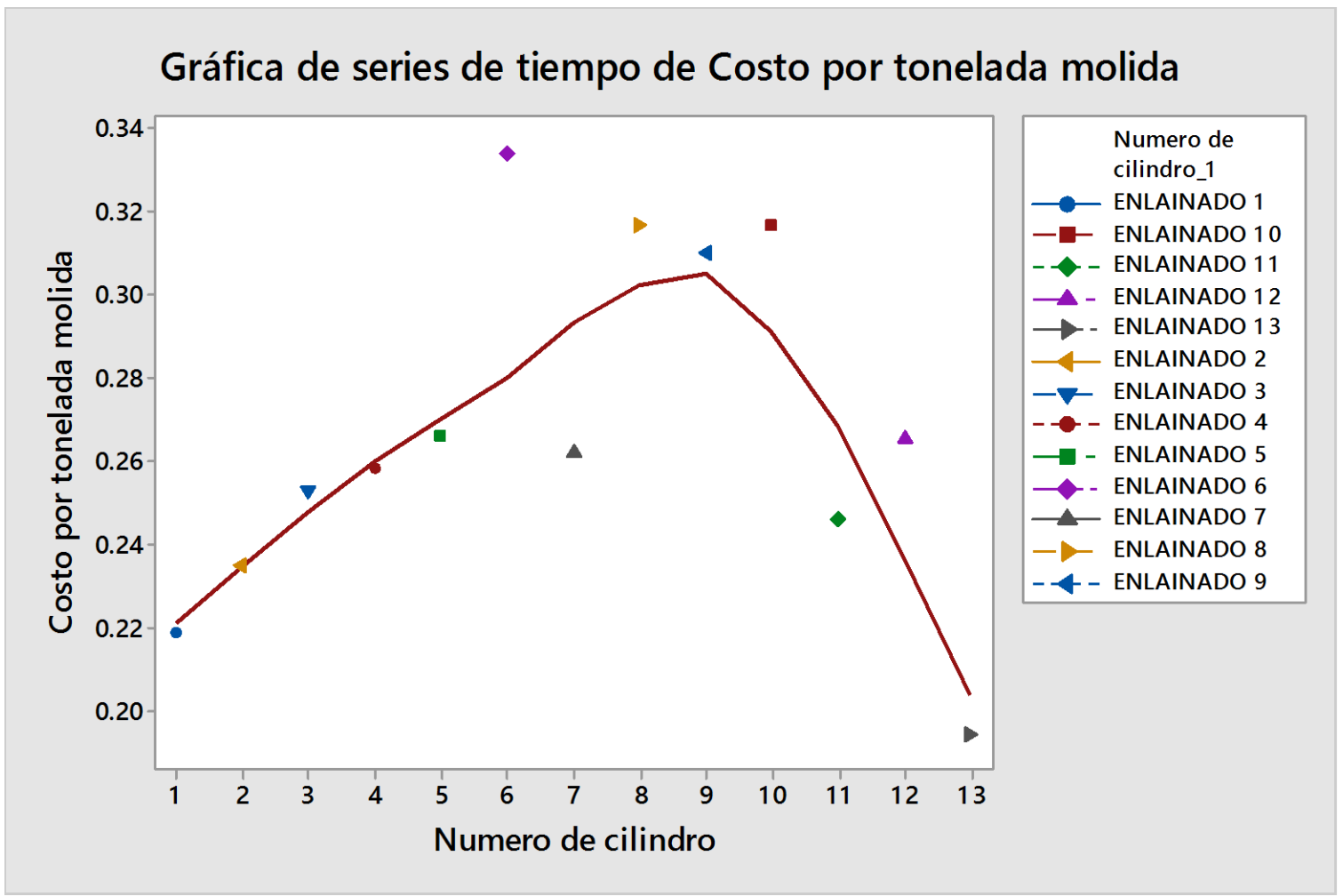
Aumento en el costo del  
cilindro de 7,500 dlls

## Rendimiento cilindro retirado 19-abr-2016 al 1-nov-2016

Costo del blindaje: \$ 131,335.20 Dólares.  
Tonelaje molido: 691,013 Secas.

$$\text{Costo x Tonelada Molida} = \frac{\text{Costo blindaje}}{\text{Tonelaje molido}}$$
$$\frac{\$ 131,335.20}{691,013} = \boxed{\$0.1901 \text{ USD/TON}}$$

### Gráfica de series de tiempo de Costo por tonelada molida



## Blindajes y acero

Gastado Septiembre	\$10,805,436
Presupuesto 2016	<u>\$19,816,677</u>
<b>Diferencia:</b>	<b>9,011,241</b>

### Cambios próximos a efectuarse:

Planta 1 Diciembre 2106 Gasto aproximado: 2,800,000 pesos

### Ahorro

<b>Presupuesto por ejercer:</b>	<b>9,011,241</b>
Gasto próximo blindaje cilindro:	2,800,000
Gasto próximo parrillas descarga	900,000
Otros	<u>500,000</u>

Ahorro en blindajes 2016 4,811,241 pesos

## Unidades de pesos

Ahorro acumulado Octubre 2016

**-\$ 3,428,091 pesos**

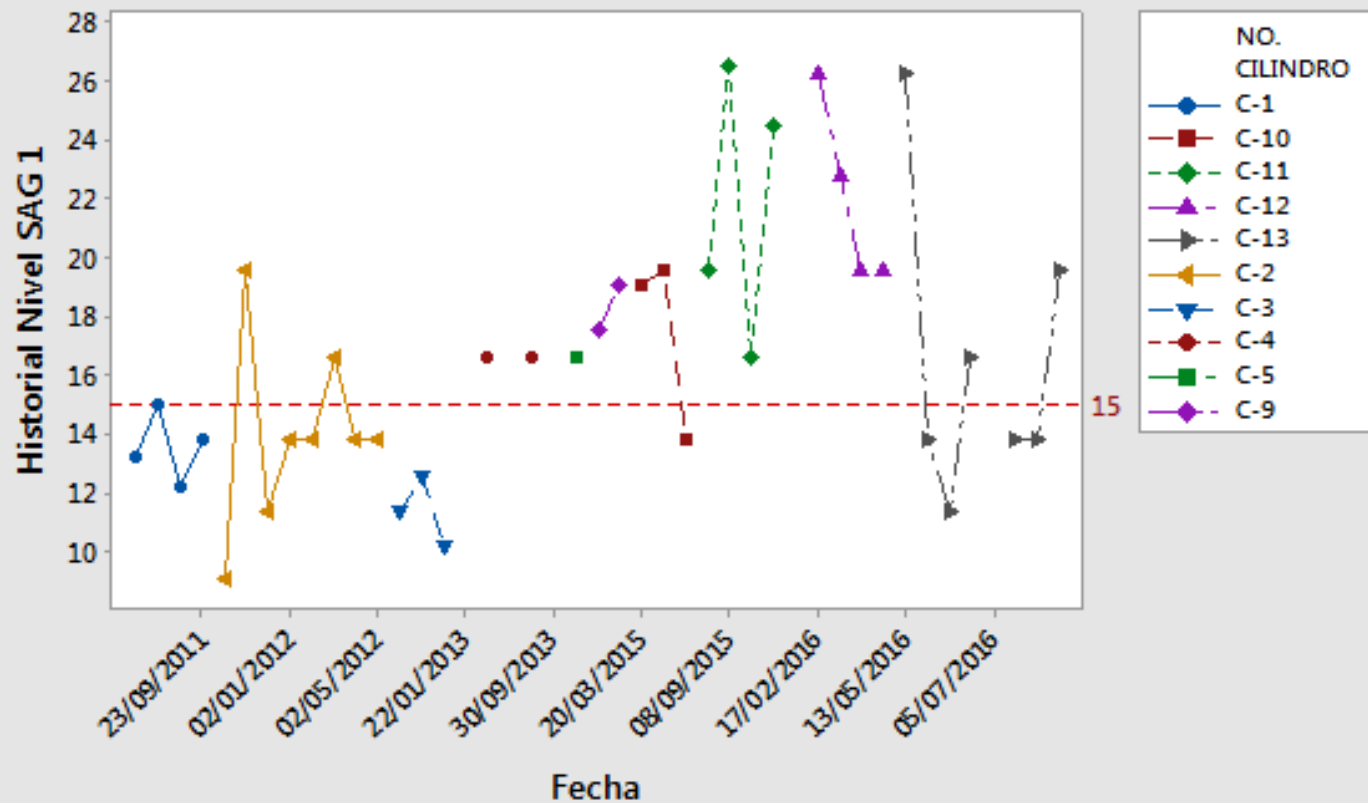
El ahorro se logra al alargar la vida útil del blindaje del cilindro del molino SAG reforzando el diseño presentado en trabajo conjunto con proveedor, mantenimiento planta y operación planta, se tiene una duración de 6 meses en este blindaje sin perder la capacidad de molienda, duración anterior (4 meses)

---

# Prueba de hipótesis de igualdad de niveles de bola



### Gráfica de series de tiempo de Historial Nivel SAG 1



Fecha	Historial Nivel SAG 1
06/07/2011	13.2
20/07/2011	15
03/08/2011	12.2
23/09/2011	13.79
03/11/2011	9.08
30/11/2011	19.55
14/12/2011	11.3
02/01/2012	13.79
08/02/2012	13.79
08/03/2012	16.55
10/04/2012	13.79
02/05/2012	13.79
02/07/2012	11.3
04/10/2012	12.52
12/11/2012	10.16
22/01/2013	
28/02/2013	16.55
29/07/2013	
31/08/2013	16.55
30/09/2013	
31/01/2014	16.55
29/01/2015	17.5
27/02/2016	19
20/03/2015	19
30/04/2015	19.55
26/06/2015	13.79
16/08/2015	19.55
08/09/2015	26.5
30/10/2015	16.55
30/11/2015	24.49
02/02/2016	
17/02/2016	26.25
01/03/2016	22.79
01/04/2016	19.55
18/04/2016	19.55
13/05/2016	26.25
31/05/2016	13.79
25/06/2016	11.3
04/07/2016	16.55
05/07/2016	
01/09/2016	13.79
01/10/2016	13.79
01/11/2016	19.55

PorVar1	Media1
C-1	13.5475
C-2	13.955
C-3	11.3266667
C-4	16.55
C-5	16.55
C-9	18.25
C-10	17.4466667
C-11	21.7725
C-12	22.035
C-13	16.4314286

# Prueba de Igualdad de varianzas

## Prueba de varianzas iguales: Historial Nivel SAG 1 vs. NO. CILINDRO

### Método

Hipótesis nula            Todas las varianzas son iguales  
Hipótesis alterna        Por lo menos una varianza es diferente  
Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

### Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

NO. CILINDRO	N	Desv.Est.	IC
C-1	4	1.16977	(0.10244, 41)
C-10	3	3.17868	(0.00013, 780963)
C-11	4	4.54416	(0.63960, 99)
C-12	4	3.19827	(0.33248, 94)
C-13	7	5.05646	(0.89066, 47)
C-2	8	3.13873	(1.23164, 12)
C-3	3	1.18023	(0.00005, 289967)

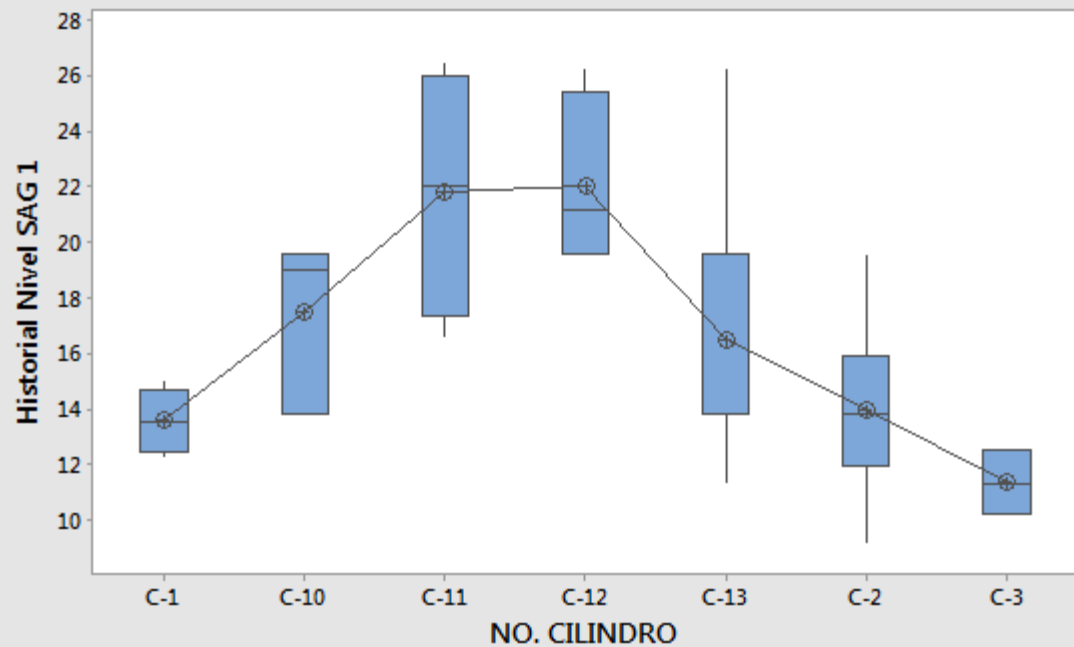
Nivel de confianza individual = 99.2857%

### Pruebas

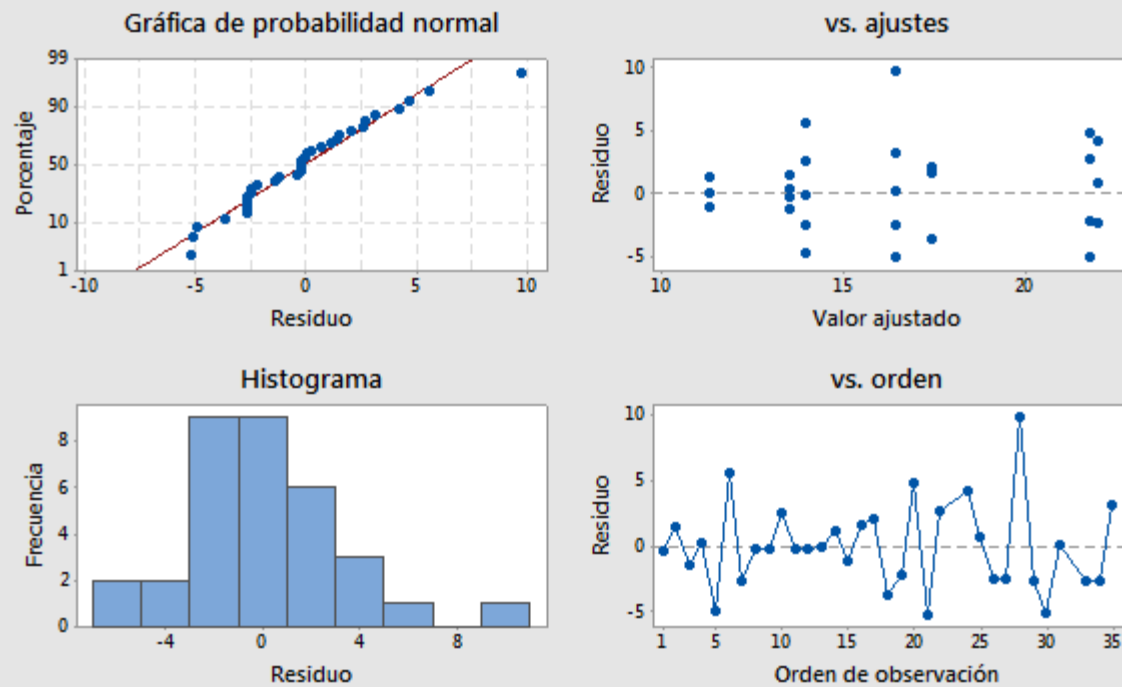
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.184
Levene	0.72	0.637

Como el valor de  $p > 0.05$  no se rechaza la hipótesis nula; de tal manera que se concluye que las varianzas si son iguales

### Gráfica de caja de Historial Nivel SAG 1



### Gráficas de residuos para Historial Nivel SAG 1



# Análisis de varianza para medias poblacionales para consumo de bola por cilindro

Como el valor de  $p < 0.05$  se rechaza la hipótesis nula; de tal manera que se concluye que las medias del consumo de bola en cada enlainado si son diferentes

## ANOVA unidireccional: Historial Nivel SAG 1 vs. NO. CILINDRO

### Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente  
Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$   
Filas no utilizadas 2

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

### Información del factor

Factor Niveles Valores  
NO. CILINDRO 7 C-1, C-10, C-11, C-12, C-13, C-2, C-3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
NO. CILINDRO	6	403.3	67.22	5.11	0.001
Error	26	342.1	13.16		
Total	32	745.4			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.62737	54.11%	43.51%	29.89%

### Medias

NO. CILINDRO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
C-1	4	13.547	1.170	(9.819, 17.276)
C-10	3	17.45	3.18	(13.14, 21.75)
C-11	4	21.77	4.54	(18.04, 25.50)
C-12	4	22.04	3.20	(18.31, 25.76)
C-13	7	16.43	5.06	(13.61, 19.25)
C-2	8	13.95	3.14	(11.32, 16.59)
C-3	3	11.327	1.180	(7.022, 15.631)

Desv.Est. agrupada = 3.62737

# Análisis de comparación en parejas de Fisher para consumo de bola/cilindro

Después del análisis de varianza (ANOVA) se determina que existe una diferencia significativa entre los diferentes enlainados y su consumo de bola en el molino SAG, y por medio de la comparación de Fisher se determinó que los blindajes que presentan menor nivel de bola son las agrupaciones con la letra «C», concluyendo que el nivel de bola de acero fue considerando para el cilindro 13 de tipo C.

## Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

NO. CILINDRO	N	Media	Agrupación
C-12	4	22.04	A
C-11	4	21.77	A
C-10	3	17.45	A B
C-13	7	16.43	B C
C-2	8	13.95	B C
C-1	4	13.547	B C
C-3	3	11.327	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



## Beneficios



### Tangibles

- Disminución de consumo de acero
- Aumento en el rendimiento de cilindro/tonelada molida
- Disminución de consumo eléctrico por tonelada molida
- Disminución de paros por cambio de blindaje



### Intangibles

- Mayor conocimiento del Proceso
- Mayor Control del Proceso
- Desarrollo Profesional
- Menor riesgo al disminuir la exposición por este mantenimiento

---

# Controlar



# Sugerencias

- Realizar cambio de giro cada 180,000 toneladas, para disminuir las perdidas por acondicionamiento de los levantadores.
- Delimitar el periodo de prueba solamente a 6 meses de operación por cilindro para no poner en riesgo la seguridad del equipo.
- Realizar reproducción de la metodología de análisis de cambio de lanas por la función de pérdida de Taguchi y la ecuación de Hogg y Fuerstenau en otras unidades de negocio.

# Conclusiones

- Después del análisis de varianza (ANOVA) se determina que existe una diferencia significativa entre los diferentes enlainados y sus niveles de bola, y por medio de la comparación de Fisher se determino que los blindajes que presentan mejor desempeño son las agrupaciones con la letra «A» para el tonelaje/cilindro y «C» para los que menos nivel de bola utilizaron, concluyendo que las modificaciones fueron contundentes ya que la duración del blindaje fue la mas alta desde el comienzo de la operación y como se demuestra en esta prueba no perdió eficiencia en toneladas molidas/ mes en comparación de todos los enlainados anteriores sin tener que aumentar los niveles de bola gracias a la aplicación de la función de perdida.

# Bibliografía

Valderrama, J. (1998). Información Tecnológica. Información Tecnológica, 9, 10.

Desconocido. (s/f). Conminucion. 2016, de Universidad de Antioquia  
Sitio web:

<http://ingenieria.udea.edu.co/cim2005/mineralurgia/conminucion.pdf>

Usman Husni. (s/f). MEASURING THE EFFICIENCY OF THE TUMBLING MILL AS A FUNCTION OF LIFTER CONFIGURATIONS AND OPERATING PARAMETERS. colorado USA: Department of Metallurgical and Materials Engineering.

Evans, J. (2008). Administracion y control de la calidad. DF, Mexico: Cengage learning.



# Bibliografía

- Colina M. (s/f) Universidad [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red\\_tam\\_solidos\\_resumen\\_y\\_calculo.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_resumen_y_calculo.pdf)
- Marchese A. (2004) Consumo de Energía en Operaciones de Conminución de Minerales. Revista Minera #322 Lima, Perú extraído de: <http://app.tecsup.edu.pe/webuds/web/publicacion/publicacion2/detalle01.htm>