

Aplicación de técnicas actuales a la evaluación de procesos de innovación en la minería del siglo XIX: Un caso de Estudio en Arqueología Industrial.

J. Luís Roca González

G.I. Electrónica Industrial y Médica EIMED, ETSII Universidad Politécnica de Cartagena. UPCT.
Muralla del Mar s/n Cartagena 30202. España. joaquin.roca@upct.es

Resumen

El presente trabajo plantea el reto de comprobar hasta que punto las decisiones basadas en evaluaciones prácticas desarrolladas por aquellos ingenieros, propietarios o directores de empresa durante las primeras fases de la revolución industrial española, podrían hoy ser valoradas como acertadas o no, haciendo uso de las herramientas que para ello proporcionan las actuales técnicas de control de calidad mediante estudio de gráficos de medias y rangos aplicados a las variables de un proceso industrial sujeto a una innovación concreta.

En particular, se ha seleccionado como innovación la que supuso la introducción de los hornos “de viento forzado” frente a los comúnmente descritos como “atmosféricos” o de tiro natural en la industria plumbífera de la sierra de Cartagena máximo exponente de este esplendor industrial. Concluyendo finalmente que la innovación del horno de “viento forzado” tuvo como significado una mejora en el rendimiento del proceso en los hornos del 15% y una mejora económica del 60%.

Palabras clave: Evaluación, Procesos de Innovación, Minería, Hornos de Viento Forzado, Hornos Atmosféricos, Grafico de Medias Rangos.

1. Introducción

Las tecnologías del control de calidad hacen su irrupción, en su forma moderna, a partir de la primera década del siglo XX. Con anterioridad y especialmente, al inicio de la revolución industrial, muchos ingenieros y propietarios de instalaciones industriales, desarrollaron empíricamente métodos propios basados en la observación de la práctica diaria.

Para ello sólo contaron con los razonamientos sobre ciertos aspectos estadísticos elementales y algunos algoritmos simples, directamente obtenidos de la experiencia y la práctica diaria. Con ellos intentaron (y en muchas ocasiones consiguieron) realizar difíciles evaluaciones comparativas entre el rendimiento de procesos industriales, las costumbres de trabajo y los ritmos de producción; para las distintas soluciones de la organización del trabajo que les era posible utilizar.

En este trabajo se plantea el inquietante reto de comprobar hasta que punto aquellas decisiones basadas en evaluaciones prácticas desarrolladas por aquellos ingenieros, propietarios o directores de empresa, podrían hoy ser valoradas como acertadas o no, haciendo uso de las herramientas que para ello proporcionan las actuales técnicas de control de calidad.

2. Base Documental Histórica

Con objeto de centrar el estudio en un instante álgido del desarrollo industrial, se seleccionó, como caso práctico, el de la pujante industria plumbífera de la Sierra de Cartagena, lo que ampliamente se justifica por la enorme importancia económica que alcanza el desarrollo de esta actividad a partir del primer tercio del siglo XIX. En este periodo histórico se produce una continua incorporación de nuevas técnicas, maquinaria y recursos propiciada por el auge

económico inicial de esta actividad. En particular, se ha seleccionado la innovación que supuso la introducción de los hornos “de viento forzado” frente a los comúnmente descritos como “atmosféricos” o de tiro natural.

Afortunadamente como fuente de datos de la época, se disponen de los recogidos por D. Federico de Botella y de Hornos, Ingeniero jefe de primera clase del cuerpo de minas, Caballero y Comendador de la Real y Distinguida Orden Española de Carlos III. e individuo de la sociedad geológica de Francia, en el libro “Descripción Geológica y Minera de las Provincias de Murcia Y Albacete”; (en la imprenta del colegio nacional de sordo-mudos y de ciegos. Madrid 1867, Tirada de 500 ejemplares, Gran Folio, cartoné, 243 páginas, multitud de Tricromías, grabados y tablas).

3. Descripción del proceso objeto de estudio.

Hacia la mitad del siglo XIX, el proceso de transformación de los minerales en *galápagos* (Lingotes) implicaba la utilización de Hornos de Fundición controlados por operarios con experiencia empírica que determinaban, no solo las *cargas* en cuanto a tamaño sino también los tiempos necesarios para cada proceso. En cualquier caso la innovación tecnológica en el proceso de fundición supuso un cambio en el tipo de Horno a utilizar. A continuación se presenta para este proceso la marcha de las operaciones requeridas.

3.1. Marcha de Proceso de Fundición.

Inicialmente la industria utilizó hornos atmosféricos que finalmente fueron sustituidos por la innovación de los de Viento Forzado, la mejora productiva por estos se debió a la posibilidad que ofrecían los de Viento Forzado de regular el aporte de oxígeno, según las necesidades de la fundición. En ambos casos para un horno nuevo o parado mucho tiempo se comienza por “caldearle” y utilizando dos quintales de leña cubiertos de coque hasta llegar a la boca del cargadero, se da fuego y se continúa con la carga normal de combustible alternándolas con escorias del gachero. La combustión continúa 16 horas hasta que comienza a salir la gacha (escorias que se obtienen de la fundición de este tipo).

En este momento con objeto de impedir que las escorias cierren el canal, se arrojan al interior cuatro o cinco quintales de plomo para recubrir el fondo del horno con una capa de metal fundido. Seguidamente se empieza a añadir escoria de reducción, después una pequeña cantidad de mineral grueso que se aumenta progresivamente hasta alcanzar hasta alcanzar, en unas 36 horas la carga nominal.

Los fundidores juzgan la marcha de la operación por el color del fuego en las toberas, éstas en los hornos de Viento Forzado se introducen lo más posible, dándoles la conveniente inclinación hacia el interior de la plaza (fondo).

A las 24 horas de puesto el fuego, los maestros introducen los espetones (Punchar) por el bigote y remueven el material del fondo con el objeto de desprender lo que pudiera haberse agarrado y facilitar así que el plomo se deposite en la pila de salida; operación que se repite cada 12 horas mientras dura la campaña.

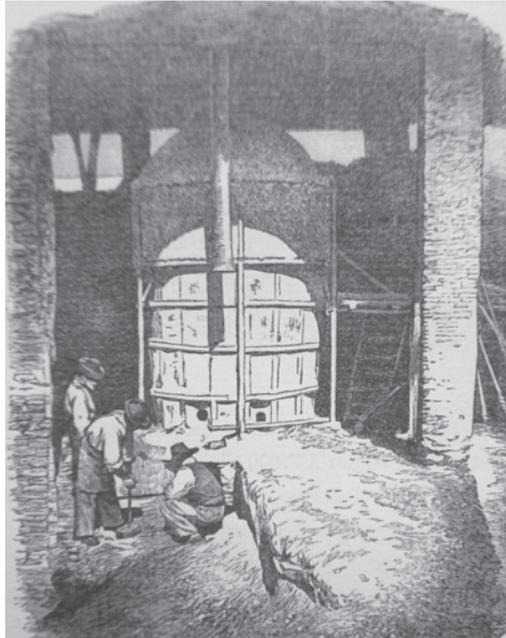


Figura 1. Horno Atmosférico: "Punchando" el Horno

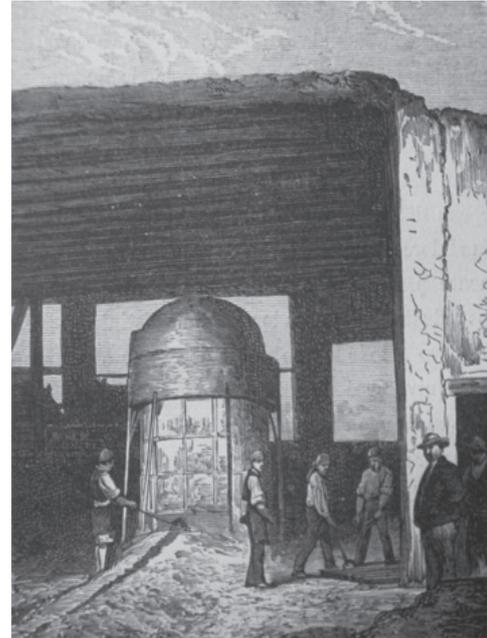


Figura 2. Horno de Viento forzado: Haciendo las barras

De 4 a 6 horas después el maestro y los sirvientes dan suelta al plomo reunido en la pila, destapando el canal y cuidando de no vaciarlo por completo, en las cuatro o cinco primeras fundiciones para que ni se enfríe el horno y se apelmace el horno. La primera extracción se ejecuta a las 36 horas de comenzar el proceso, las siguientes se hacen constantemente cada 24 horas. El plomo al salir llena el rebosadero. Las escorias, que a su vez escapan por el canal, sobrenadan la superficie. La adición de una capa de carbonilla evita la oxidación al contacto con el aire. Se cierra en tanto el canal de salida con un barro formado de láguena. El maestro fundidor limpia entonces el rebosador de las escorias que lo cubren y procede a hacer las barras o galápagos. Para ello se saca el plomo con un cazo, vertiéndolo en moldes de hierro, donde uno de los sirvientes se encargará de nivelarlos y limpiarlos usando una tablilla.

Afortunadamente contamos con los datos de producción meticulosamente recopilados sobre estos procesos históricos por el Ilustre Ingeniero D. Federico de Botella y Hornos. Que se incluyen en la figura 3 para el proceso de fundición para la comparación económica correspondiente a ambos tipos de Hornos.

4. Metodología empleada para el estudio del proceso.

Mediante el estudio de los gráficos de medias y rangos aplicados a cuatro variables fundamentales, (ley de la parva, carga del horno en quintales de mineral, coke consumido y plomo producido) recogidas a lo largo de cada jornada de producción durante tres meses del año 1860 (ver figura3), se obtuvieron los límites de control para cada una de éstas; estableciendo así los valores que finalmente sirvieron de comparación para homogenizar los resultados obtenidos.

Una vez determinados los límites que establecen el proceso bajo control, se desarrollaron formulas adecuadas para realizar la correcta evaluación del rendimiento del proceso en ambos tipos de hornos. Seguidamente, y con objeto de dotar al análisis de una interpretación económica, se agruparon los datos registrados en la base documental histórica según contabilidad de la época en relativos a los costes generales y a los costes específicos del proceso (todo ello para cada de ambos procedimientos de fundición).

Hornos Atmosféricos												Hornos Viento Forzado													
Día del mes	1º MES				2º MES				3º MES				Día del mes	1º MES				2º MES				3º MES			
	Ley de la Parua	Carga del Horno	Coke Consumido	Primo Producción	Ley de la Parua	Carga del Horno	Coke Consumido	Primo Producción	Ley de la Parua	Carga del Horno	Coke Consumido	Primo Producción		Ley de la Parua	Carga del Horno	Coke Consumido	Primo Producción	Ley de la Parua	Carga del Horno	Coke Consumido	Primo Producción				
0	%	qts	qts	qts	%	qts	qts	qts	%	qts	qts	qts	0	%	qts	qts	qts	%	qts	qts	qts				
1	14	150	30	13,99	14	150	30	12,82	14	140	28	13,31	1	10	250	52	24	10	250	54	21	12,5	320	75	27,1
2	12	130	25	10,39	12	140	25	10,56	13	140	28	13,14	2	10,25	245	54	20,5	10	250	52	20	12,5	312	67	29,15
3	14	150	28	12,30	14	150	30	12,92	14	160	27	14,39	3	11	270	58	23	10,5	220	48	18	12,5	315	78	28,7
4	14	150	30	11,49	14	150	30	12,77	12	139	25	11,95	4	11	200	65	26	10,5	300	57	25	11,5	318	69	27,49
5	14	120	28	10,84	13	140	26	11,75	12	139	25	11,73	5	10,5	270	54	22,5	10,5	200	52	21	11,5	310	73	28,1
6	15	160	32	14,12	15	150	30	13,78	15	140	28	13,03	6	11,25	270	59	25	10	280	58	23	12,5	315	70	28,2
7	16	150	30	15,07	14	140	30	12,00	15	140	26	13,14	7	11	280	58	26	10	290	57	25	12,5	310	85	29,15
8	14	150	30	12,95	12	135	25	10,43	12	135	24	10,48	8	11,5	280	58	28	10	275	55	23	13	320	71	29,3
9	14	150	32	14,22	13	130	28	11,55	14	140	28	13,05	9	11,5	280	66	27,5	11	295	64	24	12,5	324	74	30,1
10	14	150	30	13,05	12	135	26	10,44	16	140	28	14,13	10	11,5	215	50	10	10	210	44	17	12,5	320	78	29,5
11	14	150	32	13,99	13	140	26	11,50	14	135	25	13,18	11	10,5	295	52	25	10,5	305	58	26	12,5	318	67	28,2
12	14	150	28	11,74	13	140	28	11,82	13	135	24	12,94	12	10,5	300	54	28	10,5	260	56	23	12,5	309	65	27,7
13	13	140	28	11,87	11	130	27	9,21	15	140	26	14,24	13	11,25	310	57	26	11	240	49	21	12	310	68	27,1
14	13	140	30	11,6	11	140	30	11,72	15	140	28	14,87	14	11,25	275	54	25,5	11	245	48	22	13	315	75	28,15
15	14	150	30	11,91	11	140	29	11,50	14	130	25	13,98	15	11	285	58	24	11	290	49	28	12,5	310	72	27,1
16	14	150	32	11,79	11	135	26	10,84	13	136	24	12,51	16	11	240	54	19,5	10,5	265	58	23	12,5	310	72	28,5
17	14	150	30	12,87	12	135	26	10,22	12	140	23	10,52	17	11	220	52	29	10	295	66	23	12,5	318	77	28,15
18	14	150	32	11,94	12	135	25	10,48	13	140	24	12,58	18	11	305	55	26	9	320	47	26	10	317	68	28,43
19	14	150	30	13,24	12	130	25	10,34	13	135	23	11,81	19	12	250	49	22,5	9,5	245	49	18	12,5	314	70	29,15
20	14	150	30	12,72	12	135	25	10,50	12	135	23	10,58	20	12	225	58	22,25	10,5	265	55	20	12,5	318	59	29,3
21	14	150	30	12,73	12	140	30	11,86	12	138	23	10,58	21	12	295	52	29	11	280	58	24	13	320	74	29,15
22	14	150	32	13	13	138	28	11,83	12	138	23	10,33	22	11,5	290	54	27,5	11	230	60	23	13	318	58	27,5
23	13	140	28	11,04	13	130	26	11,81	11	140	23	10,55	23	11,5	285	54	26,5	10	285	65	24	12,5	314	68	28,1
24	14	150	30	12,75	12	130	26	10,15	11	138	22	9,32	24	11,5	285	53	28	10	270	58	21	12,5	315	87	28,7
25	13	150	30	11,85	12	130	28	10,13	13	138	22	9,14	25	11,5	270	58	26,75	10,5	290	54	28	12,5	320	77	29,15
26	15	160	32	14,18	11	130	25	9,25	15	139	23	10,28	26	10	295	51	23	10,5	230	48	22	12,5	320	70	29,1
27	14	150	30	13,03	11	130	25	9,09	14	139	23	9,48	27	10	305	57	30,25	11	245	47	21	12,5	315	69	27,9
28	16	150	32	15,72	12	135	28	10,55	12	142	24	10,49	28	10,5	310	64	26	11	290	52	27	12,5	318	70	28,1
29	16	160	32	15,48	11	130	24	9,08	12	145	24	10,83	29	10,5	280	58	24	9	295	64	27	12,5	318	70	29,15
30	14	150	28	12,77	12	135	30	11,58	13	150	25	11,56	30	11	295	54	26	9	300	63	27	12,5	320	89	29,5
31	14	150	30	12,75	14	150	35	13,23	12	145	24	10,55	31	11	290	59	29,5	9,5	225	54	19	12,5	314	72	28,5

Figura 3. Datos originales de ambos tipos de Hornos. (Botella, 1860)

4.1. Obtención de los límites de Control del proceso

Los límites de control se obtuvieron aplicando las ecuaciones de la tabla adjunta:

Tabla 3. Límites de Control para los gráficos de medias y rangos.

Grafico De Medias	$LSXMed = X_{med} + A2 \cdot R_{med} \quad (1)$	$LIXMed = X_{med} - A2 \cdot R_{med} \quad (2)$
Grafico De Rangos	$LSR = D4 \cdot R_{med} \quad (3)$	$LIR = D3 \cdot R_{med} \quad (4)$

Siendo:

X_{med} = El promedio del valor medio de las muestras para todas las observaciones.

R_{med} = El promedio del Rango de las muestras (la diferencia entre valor máx. y mín.) para todas las observaciones.

Los valores característicos que dependen del tamaño de la muestra, en este caso es n=3 son: A2=1,02; D3=0; D4= 2,574; $d_2=1,693$

Los límites de tolerancia natural del proceso se calculan de la forma siguientes: Límite superior LSTN = $X_{med} + 2 \cdot \sigma$ (5); Límite Inferior como LITN = $X_{med} - 2 \cdot \sigma$ (6); siendo La desviación típica $\sigma = \bar{R} / d_2$ (7). A partir de los dato de la figura3 s se extrajeron los resúmenes de las medias diarias para cada tipo de horno (ver tabla1 y 2)

Tabla 1. Resumen de las medias diarias. H. Atmosféricos.

Ley de Parva	Carga del Horno	Coke Consumido	Plomo Producido	Ley de Parva	Carga del Horno	Coke Consumido	Plomo Producido
%	qts	Qts	qts	%	qts	qts	qts
14,00	146,67	28,67	13,21	12,67	141,67	26,33	11,20
12,33	136,67	25,33	11,36	13,00	141,67	27,00	11,67
14,00	153,33	28,33	13,20	13,00	138,33	26,00	11,73
13,33	146,33	28,33	12,07	12,67	140,00	26,00	11,32
13,00	133,00	26,33	11,37	12,67	142,67	27,67	11,65
15,00	150,00	29,33	13,64	13,00	142,00	27,67	11,72
15,00	143,33	28,67	13,40	12,33	136,67	26,33	11,13
12,67	140,00	26,33	11,28	12,33	139,33	26,00	10,74
13,67	140,00	28,67	12,94	12,67	139,33	26,67	10,37
14,00	141,67	27,33	12,54	13,67	143,00	26,67	11,24
13,67	141,67	27,67	12,91	13,00	139,67	26,00	10,51
13,33	141,67	26,67	12,10	13,33	142,33	28,00	12,26
13,00	136,67	27,00	11,77	13,00	145,00	26,67	11,73
13,00	140,00	28,67	12,73	13,00	145,00	27,67	11,97
13,00	140,00	28,00	12,46	13,33	148,33	29,67	12,177
12,67	140,33	27,33	11,65				

Tabla 2. Resumen de las medias diarias. H. Viento Forzado.

Ley de Parva	Carga l Horno	Coke Consumido	Plomo Producido	Ley de Parva	Carga l Horno	Coke Consumido	Plomo Producido
%	qts	Qts	qts	%	qts	qts	qts
10,83	273,33	60,33	24,03	11,17	277,67	65,00	26,72
10,92	269,00	57,67	23,22	10,00	314,00	56,67	26,81
11,33	268,33	60,00	23,57	11,33	269,67	56,00	22,88
11,00	302,67	64,00	26,16	11,67	269,33	57,33	23,85
10,83	280,00	59,67	23,87	12,00	298,33	61,33	27,38
11,25	288,67	62,33	25,40	11,83	279,33	59,33	26,00
11,17	293,33	59,33	26,72	11,33	294,67	62,33	26,20
11,50	291,67	61,33	26,77	11,33	290,00	58,67	25,90
11,67	299,67	68,00	27,20	11,50	293,33	62,33	27,30
11,33	248,33	56,67	21,83	11,00	281,67	56,33	24,70
11,17	306,00	59,00	26,40	11,17	288,33	57,67	26,38
11,17	289,67	58,33	26,23	11,33	302,67	62,00	27,03
11,42	286,67	58,00	24,70	10,67	297,67	64,00	26,38
11,75	278,33	59,00	25,22	10,83	305,00	62,00	27,50
11,50	295,00	60,00	25,70	11,00	276,33	61,67	25,333
11,33	271,67	61,33	23,67				

4.2. Formulas desarrolladas

Para poder calcular los rendimientos reales de ambos tipos de hornos fue preciso tener en cuenta la dificultad de realizar un directo balance en peso, pues las distintas cargas de mineral generalmente presentaban diferente ley, lo que hizo necesario introducir la ley o riqueza de la parva en los cálculos del rendimiento real del proceso.

Para ello se desarrollaron las siguientes ecuaciones:

$$\zeta = \frac{Qts \text{ Plomo Producido}}{Ley \text{ de Parva (\%)} \cdot \frac{1}{100} \cdot Qts \text{ Carga}} \cdot 100 \quad (8)$$

$$\eta_R = \eta_{Horno.} \cdot \eta_{Horno \text{ Refino}} \cdot 100 \quad (9)$$

Donde el η_R representa el rendimiento total después del proceso de refino.

Los resultados obtenidos de este análisis quedan presentados en la tabla 3 y 4 para ambos tipos de hornos.

Tabla 3. Limites de Control para los gráficos de medias y rangos H. Atmosférico.

		Ley de Parva	Carga Horno	Coke Consumido	Plomo Producido	Rendimiento
GRAF Medias	Xmed	<u>13,20</u>	141,82	27,32	11,94	63,83
	Rmed	2,19	15,16	6,00	2,71	8,00
	LSx	15,45	157,33	33,46	14,71	72,02
	Llx	10,96	126,31	21,18	9,17	55,65
GRAF RANG	LSR	5,65	39,03	15,44	6,97	20,60
	LIR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOLERANCIAS NATURALES	LSTN	15,80	159,73	34,41	15,14	73,28
	LITN	10,61	123,91	20,23	8,74	54,38
	TOLE	5,18	35,82	14,18	6,40	18,91

Tabla 4. Limites de Control para los gráficos de medias y rangos H. Viento Forzado.

		Ley de Parva	Carga Horno	Coke Consumido	Plomo Producido	Rendimiento
GRAF Medias	Xmed	<u>11,24</u>	286,46	60,25	25,42	79,02
	Rmed	2,23	57,06	17,94	6,18	13,93
	LSx	13,51	344,84	78,60	31,74	93,27
	Llx	8,96	288,09	41,90	19,10	64,77
GRAF RANG	LSR	5,73	146,88	46,17	15,91	35,85
	LIR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOLERANCIAS NATURALES	LSTN	13,87	353,87	81,44	32,72	95,47
	LITN	8,61	219,05	39,06	18,12	62,57
	TOLE	5,26	134,82	42,38	14,60	32,91

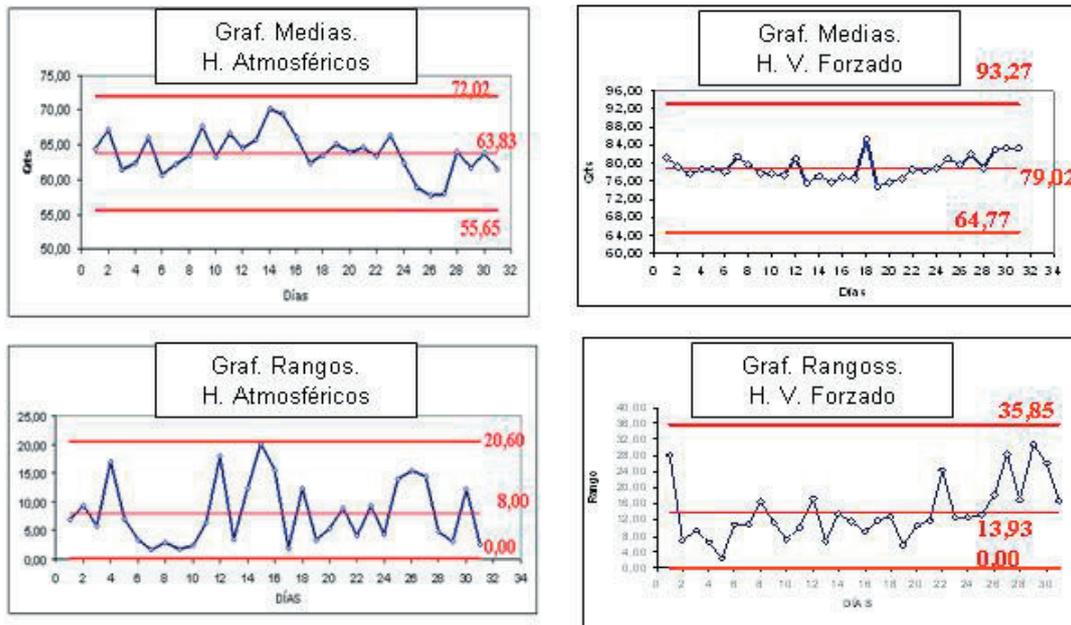


Figura 5. Resultados de rendimiento para cada tipo de Horno.

5. Resultados

Aplicando la ecuación (8) a los datos de productos y consumos para cada tipo de Horno (Tablas 1 y 2), se pueden obtener para cada producción el rendimiento de cada Horno. A continuación en figura 5 se recogen estos valores junto con sus valores medios obtenidos a partir de la mediana.

Una vez expuestos estos resultados se procede en el punto 6 del trabajo a contrastar los resultados que en forma de comparativa económica, obtuviera en su día el Ilustrísimo Ingeniero Don Federico de Botella y Hornos y que en este trabajo quedan reflejados en la Tabla 8.

Tabla 5. Valores de los minerales en ambos tipos de Hornos (Botella).

HORNOS ATMOSFÉRICOS		HORNOS DE VIENTO FORZADO	
VALOR DE LOS MINERALES		VALOR DE LOS MINERALES	
Para obtener 100 qts de plomo se calculan 1.200 qts de mineral de segunda que contiene:		Para obtener 100 qts de plomo se calculan 1.200 qts de mineral de segunda que contiene:	
120qts de plomo a 70 rs/qt	8.400	120qts de plomo a 70 rs/qt	8.400
300 onz. De plata a 23rs/onoz	6.900	300 onz. De plata a 23rs/onoz	6.900
Suma	15.300	Suma	15.300

Tabla 6. Deduciones para ambos tipos de Hornos (Botella).

DEDUCCIONES H.AT.		DEDUCCIONES H.VF	
Por el 5% Perdidas en plomo 20qts a 70rs/qt	1.400	Por el 5% Perdidas en plomo 20qts a 70rs/qt	1.400
Por 0.05 plata en quintal de mineral, 60 onzas a 23rsv c.u.	1.380	Por 0.05 plata en quintal de mineral, 60 onzas a 23rsv c.u.	1.380
Por 0.025 perdidas en Plata en mineral, 30 onzas a 23rs c.u.	690	Por 0.025 perdidas en Plata en mineral, 30 onzas a 23rs c.u.	690
Por el transporte hasta la fábrica a un real el quintal	1.200	Por el transporte hasta la fábrica a un real el quintal	1.200
Por 6 reales, gastos de beneficio en quintal de mineral	7.200	Por 6 reales, gastos de beneficio en quintal de mineral	7.200
Suma	11.870	Suma	11.870
TOTAL (Valor que percibe el minero)	3.430 rsv	TOTAL (Valor que percibe el minero)	3.430 rs

Tabla 7. Gastos del Fundidor en ambos tipos de Hornos (Botella).

GASTOS DEL FUNDIDOR H.AT.		GASTOS DEL FUNDIDOR H.V.F.	
Para obtener 100quintales de plomo se necesitan en razón de las pérdidas 1.344,24 qts de mineral		Para obtener 100quintales de plomo se necesitan en razón de las pérdidas 1.272 qts de mineral	
Coste de los 1.344,24 a 2,858 r/qt	3.841,83	Coste de 1.272 a 2,858 r/qt	3.635,37
Transportes a 0.625 rsv/qt	840,15	Transportes a 0.625 rsv/qt	795
Preparación mecánica a 1.25 r/qt	1.680,3	Preparación mecánica 1.25 r/qt	1.590
Gastos especiales y generales de fundición a 4,4493 r/qt	6.039,67	Gastos especiales y generales de fundición a 4,407 r/qt	5.605,7
Suma TOTAL GASTOS DEL FUNDIDOR	12.041,95	Suma TOTAL GASTOS DEL FUNDIDOR	11.626,07

Tabla 8. Productos y Beneficio obtenido en ambos tipos de Hornos (Botella).

PRODUCTOS OBTENIDOS H.AT.		PRODUCTOS OBTENIDOS H.V.F.	
100 qt de plomo a 70 rsv/qt	7.000	100 qt de plomo a 70 rsv/q	7.000
336,06 onzas de plata de las q se deducen 75 onzas por desplatación y perdidas, quedan 261,06 a 23rs/ c. u.	6.004,38	318 onzas de plata de las q se deducen 75 onzas por desplatación y perdidas, quedan 243 a 23rs/ c. u.	5.589
SUMA	13.004,38	SUMA	12.589
BENEFICIO LÍQUIDO por 100 qq. De PLOMO EN LINGOTES.....	602,43 rs	BENEFICIO LÍQUIDO por 100 qq. De PLOMO EN LINGOTES.....	962,93 rs.
...			

6. Conclusiones

De los resultados anteriormente expuestos se desprende tal y como muestra el gráfico 1 que en el mejor rendimiento técnico, entendido éste como el correspondiente al proceso que más produce a la vez que menos consume, y que viene expresado mediante la fórmula (8) desarrollada en el punto 4.2, corresponde al proceso que emplea el Horno de Viento Forzado alcanzando un valor del 79.02%, valor superior en un 15,19% al del Horno Atmosférico que conlleva un rendimiento del 63,83%.

Con respecto al ahorro que ésta innovación supuso, y recurriendo a los desgloses económicos de la referencia documental de D. Federico de Botella y Hornos, desglosados en las tablas 5,6,7 y 8. se desprende cómo por cada 100qt se plomo en lingotes el beneficio de emplear Hornos de Viento forzado suponía un incremento de 360,5 rs lo que implica un incremento del 59,84%.

Por tanto unificando ambos resultados en una sola sentencia se justifica casi siglo y medio después que

- La innovación del horno de “viento forzado” significó una mejora en el rendimiento del proceso de obtención de plomo del 15%; lo que a su vez implicó una mejora económica del 60%.

Y por verse afectado de forma directa el proceso de refinado donde para un rendimiento del horno de refinado del 92,3% y aplicando la ecuación (9) se puede afirmar que:

- El proceso de refinado de la plata tenía un rendimiento del 72,93% (“ventilación forzada”) frente a sólo el 58,91% que se venía obteniendo mediante el tradicional horno “atmosférico”.

Referencias

De Botella y Hornos, F. (1867). Descripción Geológica y Minera de las Provincias de Murcia y Albacete. Madrid. Imprenta del colegio nacional de sordo-mudos y ciegos. 243 pp.

Besterfield, D.H. (1995). Control de Calidad. 4º edición. Prentice Hall Hispanoamérica, Mexico.

Juran, J.M.; Gryna, F.M. (1993). Manual de Control de Calidad, 4º edición (2 vols.) McGraw-Hill Iberoamericana, Madrid.