



## 1. Resultados 18 quemas realizadas.

A continuación se presentan los resultados globales de las 18 quemas de ladrillo realizadas a lo largo del proyecto 234633 CONACYT SENER Fondo de Sustentabilidad Energética, para los tres tipos de horno, una tabla por tipo, tal que puedan ser comparados por el productor de ladrillo. Tres primeras quemas de ladrillo iniciales y tres optimizadas. Al final, el comparativo global entre hornos.

QUEMAS MK2		T máx	Promedio	Desviación Estándar, $\sigma$	Comparativo inicial y optimizado
6ta	Temperatura, °C	805	661.75	35.19	<b>Temperatura 658.64°C @ <math>\sigma = 60.95</math></b>  <b>Tiempo 1018.56 min @ <math>\sigma = 239.16</math></b>  <b>Calor 1.48 MJ/kg ladrillo</b>
	Tiempo a Tmax, min		1110.67	172.02	
5ta	Temperatura, °C	869.00	638.83	90.06	
	Tiempo a Tmax, min		1149.00	347.10	
4ta	Temperatura, °C	880.00	675.33	57.59	
	Tiempo a Tmax, min		896.83	198.36	
3ra	Temperatura, °C	990.00	728.67	51.22	<b>620.38°C @ <math>\sigma = 68.58</math></b>  <b>1092.28 min @ <math>\sigma = 141.54</math></b>  <b>1.78 MJ/kg</b>
	Tiempo a Tmax, min		1106.83	30.22	
2da	Temperatura, °C	912.00	610.67	57.60	
	Tiempo a Tmax, min		1014.50	117.81	
1ra	Temperatura, °C	872.00	630.08	97.22	
	Tiempo a Tmax, min		1155.50	276.34	

**Tabla 1.** Comparativo de resultados de las quemas en el horno MK2 (resumen).





HORNO MK2	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Tiempo de Alimentación (hr)	12.0	12.25	14.3	12.26	13.06	11.75
Combustible Total (kg)	1270.05	1358.11	1501.15	1492.25	1388.65	1342.27
Ladrillos Totales (pza)	5105	5097	4685	5758	5864	5756
Masa total de ladrillos (kg) (3.84kg/ladrillo)	19603.2	19572.48	17990.4	22110.72	21826.56	21103.04
Combustible por ladrillo (kg)	0.25	0.27	0.32	0.26	0.24	0.23
Calor total (kJ), ( $Q_c=18,810$ kJ/kg)	29,821.51	33,991.08	36,655.83	33,642.14	32,050.07	32,405.29
Calor total suministrado por kg de ladrillo (MJ/kg)	1.54	1.75	2.06	1.54	1.44	1.48
Temperatura Máx (°C)	872	912	990	880	872	805
Temperatura Max-min	277	377	505	481	445	457
Temperatura Máxima promedio	630.08	610.33	728.66	675.33	638.33	661.75
Tiempo promedio a la que ocurre la temperatura max	1160.67	1021.17	1117.1	896.83	1155.2	1010.67
Resistencia Max (Kg/cm <sup>2</sup> )	107.6	96.8 142.1*	102.37	99.18	101.4	149.7
Resistencia Max (Kg/cm <sup>2</sup> ) promedio (misma posición)	60.42	57.92	68.96	53.88	61.26	97.72
Ladrillos arriba de la norma (misma posición)	4/15	3/15	10/20	2/20	6/19	18/20
Porcentaje de ladrillos arriba de la norma (misma posición)	26.67	20	50	10	31.58	90
Porcentaje de ladrillos arriba de la norma (muestras totales)	28.5%	20%	56.67	16.67	27.27	88.46
Calor total suministrado (MJ/kg)	1.54	1.75	2.06	1.54	1.44	1.48
Calor potencial a suministrar (MJ/kg)	4.74	7.39	3.07	7.77	4.44	1.41
Combustible eq. (kg)	5370.52	8460.5	3206.28	9989.80	5619.72	1765.20

Tabla 2. Comparativo de resultados de las quemas en el horno MK2.





QUEMAS PAREDES FIJAS		T máx	Promedio	Desviación Estándar, $\sigma$	Comparativo inicial y optimizado
6ta	Temperatura, °C	1098	770.02	177.44	<b>Temperatura</b> <b>801.07°C @</b> $\sigma = 166.67$  <b>Tiempo</b> <b>1061.64 min @</b> $\sigma = 233.53$  <b>Calor</b> <b>2.23 MJ/kg ladrillo</b>
	Tiempo a Tmax, min	1906	1033.42	222.41	
5ta	Temperatura, °C	1147	827.81	163.82	
	Tiempo a Tmax, min	1802	1291.17	210.54	
4ta	Temperatura, °C	1123	805.37	158.76	
	Tiempo a Tmax, min	1862	860.33	267.63	
3ra	Temperatura, °C	1106	754.90	268.12	<b>Temperatura</b> <b>789.28°C @</b> $\sigma = 184.81$  <b>Tiempo</b> <b>837.33 min @</b> $\sigma = 169.18$  <b>Calor</b> <b>1.93 MJ/kg ladrillo</b>
	Tiempo a Tmax, min	1282	823.17	145.62	
2da	Temperatura, °C	1057	764.43	152.13	
	Tiempo a Tmax, min	1706	963.75	204.48	
1ra	Temperatura, °C	1140	848.52	134.48	
	Tiempo a Tmax, min	1274	725.08	157.14	

Tabla 3. Comparativo de resultados de las quemas en el horno de paredes fijas.





HORNO PAREDES FIJAS	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Tiempo de Alimentación (hr)	13	12.1	14.3	15	12.5	14.75
Combustible Total (kg)	5351.8	4879.4	5032.5	5,810.67	5,507.73	5,433.55
Ladrillos Totales (pza)	11,937	12,599	11,232	11,562	11,392	11,789
Masa total ladrillos (kg) (4.05kg/ladrillo)	48,344.85	51,025.92	45,489.6	46,826.1	46,137.6	47,745.45
Combustible por cada pieza de ladrillo (kg)	0.45	0.39	0.45	0.50	0.48	0.46
Calor total (kJ), (Q <sub>c</sub> =18,810 kJ/kg)	104,179.4	94,983.9	97,965.0	113,112.1	107,215.0	105,770.9
Calor suministrado por kg de ladrillo (MJ) est	2.15	1.91	2.15	2.42	2.32	2.22
Temperatura Máx (°C)	1140	1057	1106	1123	1147	1098
Tiempo a la que ocurre la temperatura max	1274	1706	1282	1862	1802	1906
Temperatura Max-min	641	394	337	389	527	447
Temperatura Máxima promedio	848.52	764.43	754.90	805.37	827.81	770.02
Tiempo promedio a la que ocurre la temperatura max	725.08	963.75	823.17	860.33	1291.17	1033.42
Resistencia Max puntual (Kg/cm <sup>2</sup> )	138.83		293.51	198.71	174.47	190.08
Resistencia Maxima (Kg/cm <sup>2</sup> ) promedio (misma posición)	106.86		184.89	126.77	105.81	130.1
Ladrillos arriba de la norma de resistencia (misma posición)	52/52 A 50/51 L		60	59	56	53
Porcentaje de ladrillos arriba de la norma de resistencia (misma posición)	100% A 98% L		100	100	100	100

**Tabla 4.** Comparativo de resultados de las quemas en el horno de paredes fijas.





HORNO TRADICIONAL DE CAMPAÑA		Máx	Promedio	Desviación Estándar, $\sigma$	Comparativo inicial y optimizado
6ta	Temperatura, °C	925	629.9	104.6	<b>Temperatura 623.83 °C @ <math>\sigma = 27.24</math></b>  <b>Tiempo 1239.4 min @ <math>\sigma = 332.54</math></b>  <b>Calor 1.22 MJ/kg</b>  <b>Comb/ladrillo 0.23 kg</b>
	Tiempo a Tmax, min	760	1129.2	302.8	
5ta	Temperatura, °C	824	648.07	92.2	
	Tiempo a Tmax, min	844	1322.3	392.3	
4ta	Temperatura, °C	852	593.6	148.5	
	Tiempo a Tmax, min	588	1266.6	302.48	
3ra	Temperatura, °C	906	723.44	131.06	<b>Temperatura 772.9°C @ <math>\sigma = 90.02</math></b>  <b>Tiempo 1163.7 min @ <math>\sigma = 257.84</math></b>  <b>Calor 1.32 MJ/kg</b>  <b>Comb/ladrillo 0.25 kg</b>
	Tiempo a Tmax, min	270	1284.92	338.65	
2da	Temperatura, °C	1079	806.0	83.84	
	Tiempo a Tmax, min	680	1132.04	255.31	
1ra	Temperatura, °C	891	789.48	55.15	
	Tiempo a Tmax, min	896	1074.17	179.56	

**Tabla 5.** Comparativo de resultados de las quemas en el horno tradicional de campaña (resumen)





HORNO TRADICIONAL DE CAMPAÑA	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Tiempo de Alimentación (hr)	14.9	14.5	18.25	14	13.5	12.75
Combustible Total (kg)	2109.5	2078.96	2175.58	2485.74	2607.9	2436.1
Ladrillos Totales (pza)	8454	8310	8602	10663	11002	10840
Masa total ladrillos (kg) (3.84kg/ladrillo)	32,463.36	31,910.40	33,031.68	40,945.92	41,790.72	41,625.60
Combustible por ladrillo (kg)	0.25	0.25	0.25	0.23	0.24	0.22
Calor total (kJ) est.	40917.61	40220.65	41633.93	51609.15	52792.96	52465.82
Calor total suministrado por kg de ladrillo (kcal) MJ	1.31	1.32	1.34	1.25	1.23	1.17
Temperatura Máx (°C)	891	1079	906	852	824	925
Temperatura Max-min	650	648	296	140	352	446
Temperatura Máxima promedio	796.17	812.8	731.96	593.6	648.07	629.9
Tiempo promedio a la que ocurre la temperatura max prom	1074.17	1132.04	1284.92	1266.6	1322.27	1129.23
Resistencia Max (Kg/cm <sup>2</sup> )	139.72	108.01L 142.15A	115.91	124	102.7	144.6
Resistencia Max tot (Kg/cm <sup>2</sup> ) promedio	65.54	67.67L 96.27	73.84	81.42	74.7	107.6
Ladrillos arriba de la norma (total)	19/56	21/56L 60/64A	46/73	68/90	63/90	90/90
Porcentaje de ladrillos arriba de la norma	33.9	37.5L 98.3A	63	75.6	70	100
Ladrillos arriba de la norma (misma pos)	14/47	18/46L 44/47A	25/38	44/57	41/57	100
Porcentaje de ladrillos arriba de la norma (misma pos)	29.2	39.3L 93.6A	66.7	77.5	71.9	100

Tabla 6. Comparativo de resultados de las quemas en el horno tradicional de campaña.





	HORNO DE CAMPAÑA MODIFICADO	HORNO PAREDES FIJAS	HORNO MK2
<b>Optimizado</b>	<p>Temperatura 623.83 °C @ <math>\sigma = 27.24</math></p> <p>Tiempo 1239.4 min @ <math>\sigma = 332.54</math></p> <p>Calor 1.22 MJ/kg</p>	<p>Temperatura 801.07°C @ <math>\sigma = 166.67</math></p> <p>Tiempo 1061.64 min @ <math>\sigma = 233.53</math></p> <p>Calor 2.23 MJ/kg ladrillo</p>	<p>Temperatura 658.64°C @ <math>\sigma = 60.95</math></p> <p>Tiempo 1018.56 min @ <math>\sigma = 239.16</math></p> <p>Calor 1.48 MJ/kg ladrillo</p>
<b>Inicial</b>	<p>Temperatura 772.9°C @ <math>\sigma = 90.02</math></p> <p>Tiempo 1163.7 min @ <math>\sigma = 257.84</math></p> <p>Calor 1.32 MJ/kg Ladrillo</p>	<p>Temperatura 789.28°C @ <math>\sigma = 184.81</math></p> <p>Tiempo 837.33 min @ <math>\sigma = 169.18</math></p> <p>Calor 1.93 MJ/kg ladrillo</p>	<p>Temperatura 620.38°C @ <math>\sigma = 68.58</math></p> <p>Tiempo 1092.28 min @ <math>\sigma = 141.54</math></p> <p>Calor 1.78 MJ/kg ladrillo</p>
<b>% Optimización Energética</b>	7.5	-15.5	16.8
<b>% Disminución Contaminación</b>	7.5	18	10

**Tabla 7.** Comparativo de resultados energéticos de los hornos de quemado de ladrillo

